

# WERK STADT ZÜRICH CH

**Umbau Gebäude A**  
Etappe 2, Teil Lager



RE-USE  
BETON  
FUNDAMENTE

# INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	5
1. AUSGANGSLAGE	6
1.1 Das Areal „Werkstadt Zürich“	
1.2 Die Akteurinnen	
1.3 Das Umbauprojekt in Kürze	
2. DIE PLANUNG	10
2.1 Vorgeschichte	
2.2 Neue Zielsetzung	
2.3 Statisches Modell	
3. DIE BESCHAFFUNG	14
3.1 Suche und Logistik	
4. DIE UMSETZUNG	16
4.1 Aufbereitung	
4.2 Vorbereitung des Einbauortes	
4.3 Einbringen der Blöcke	
4.4 Blöcke verbinden	
4.5 Anschlüsse	
4.6 Ortbeton Fundamente	
5. TREIBHAUSGASBILANZ	28
6. KOSTEN	30
7. ABLAUF	32
8. FAZIT	36
8.1 Blöcke verbinden	
8.2 Anschlüsse	
9. ANHANG	40
9.1 Ausführungspläne Architektur	
9.2 Schalungspläne Bauingenieur	
9.3 Statisches 3D-Modell Bauingenieur	
9.4 Beschrieb Bauingenieur	

## IMPRESSUM

Version	Stand 08.11.2023
Objekt	Areal Werkstadt Zürich, 8048 Zürich Gebäude A Teil «Lager», Hohlstrasse 402, 8048 Zürich
Auftraggeberin, Grundeigentümerin	SBB Immobilien AG, Vulkanplatz 11, 8048 Zürich Gabriele Bühler
Generalplaner & Architektur & Redaktion	Baubüro in situ AG, Hohlstrasse 400, 8048 Zürich Eric Honegger, Gesamtprojektleitung Kevin Demierre, Projektleitung Adrian Baumberger, Bauleitung Andreas Haug, Beratung
Bauingenieur	Flückiger + Bosshard AG, Räfelstrasse 32, 8045 Zürich Mario Knaus, Projektleitung Planung Christian Della Tommasa, Projektleitung Ausführung
Baumeister	BWT Bau AG, Ueberlandstrasse 437, 8051 Zürich Rolf Zahner, Bauführung
CO2-Bilanzierung	Zirkular GmbH, Dornacherstrasse 192, 4053 Basel Charlotte Bofinger, Berechnungen
Fotos	Martin Zeller, baubüro in situ, Flückiger + Bosshard, BWT Titelseite: ©Martin Zeller

Danke an das Structural Xploration Lab der EPFL für das Teilen ihrer Erfahrung im Lauf des Entwicklungsprozesses.

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Werkstadt Areal der SBB befindet sich in einer soziokulturellen und baulichen Transformation: die früheren Reparaturhallen der SBB werden zu vielfältig nutzbaren Gewerberäumen umgebaut und neuen Formen von urbaner Produktion zugänglich gemacht. Die architektonischen Interventionen folgen dabei den Prinzipien des kleinstmöglichen Eingriffs in den Bestand sowie des möglichst schonenden Umgangs mit Ressourcen, bezogen auf alle Lebensphasen der Bauwerke. Dabei bildet die Wiederverwendung von Bauteilen einen Schwerpunkt. Der Einsatz von Betonblöcken aus einer rückgebauten Decke als Fundamente beim Umbau der Halle A zeigt dabei ein besonders ambitioniertes und pionierhaftes Beispiel. Diese im Frühling 2022 ausgeführte Konstruktion sowie die begleitenden Planungsprozesse werden in dieser Dokumentation ausführlich beschrieben und analysiert.



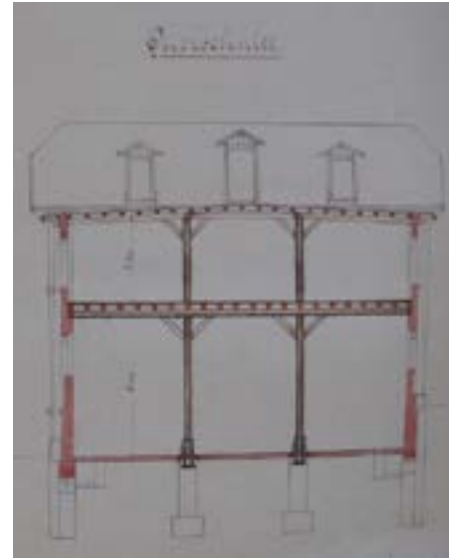


### 1.3 DAS UMBAUPROJEKT IN KÜRZE

Das Umbau- und Sanierungsprojekt umfasst die energetische Sanierung der Gebäudehülle, die Vergrößerung von bestehenden Fenstern, die Erstellung von neuen Öffnungen und den Einbau eines statisch eigenständigen Zwischengeschosses in Holzbauweise.

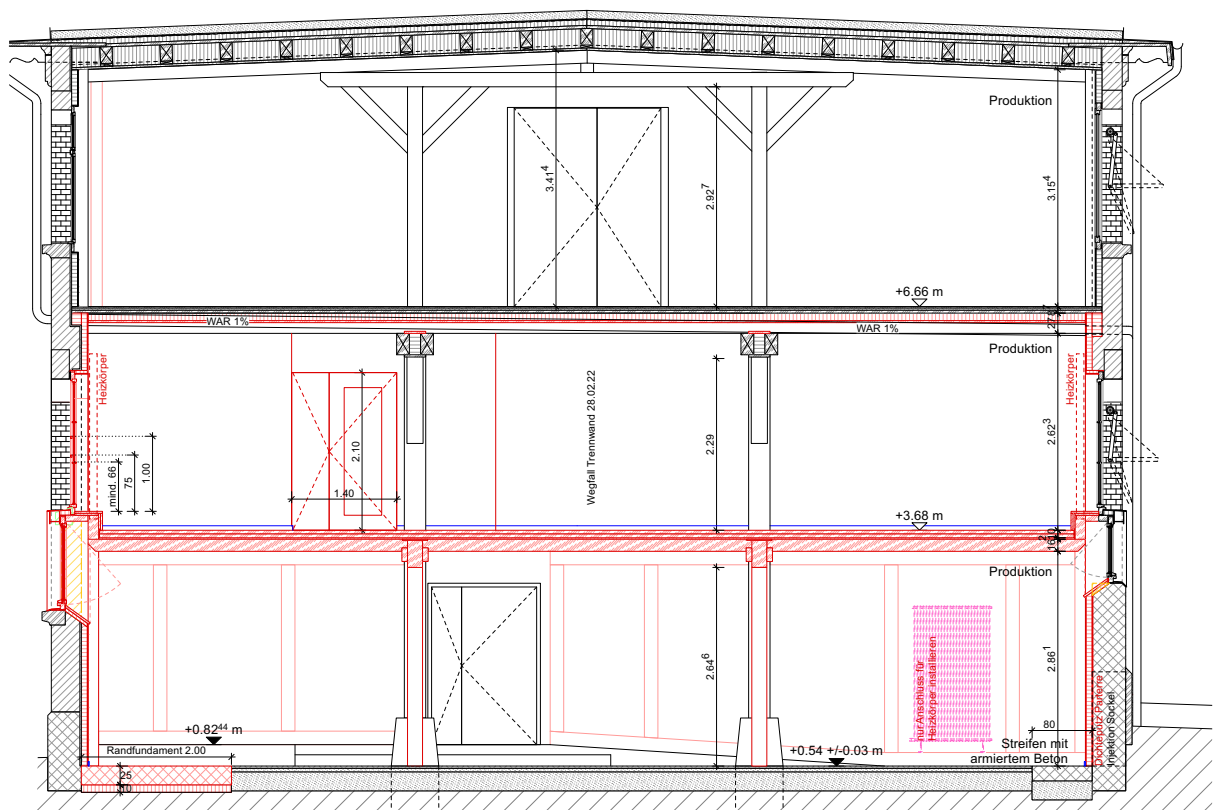
Die umgebauten Räumlichkeiten werden zur Vermietung als Produktionsflächen für kleine bis mittelgrosse Gewerbebetriebe zur Verfügung stehen.

Die denkmalgeschützte Bausubstanz wurde zu hundert Prozent erhalten. Die neue Zwischendecke kommt auf lineare Tragwände entlang der Fassaden des Erdgeschosses sowie auf zwei Stützenreihen in der Raummitte zu stehen. Während die Wandelemente an den Fassaden direkt auf der zu Teilen ertüchtigten bestehenden Bodenplatte stehen, benötigten die Stützen neue Punktfundamente.



Querschnitt, Historischer Plan  
(©Archiv SBB)

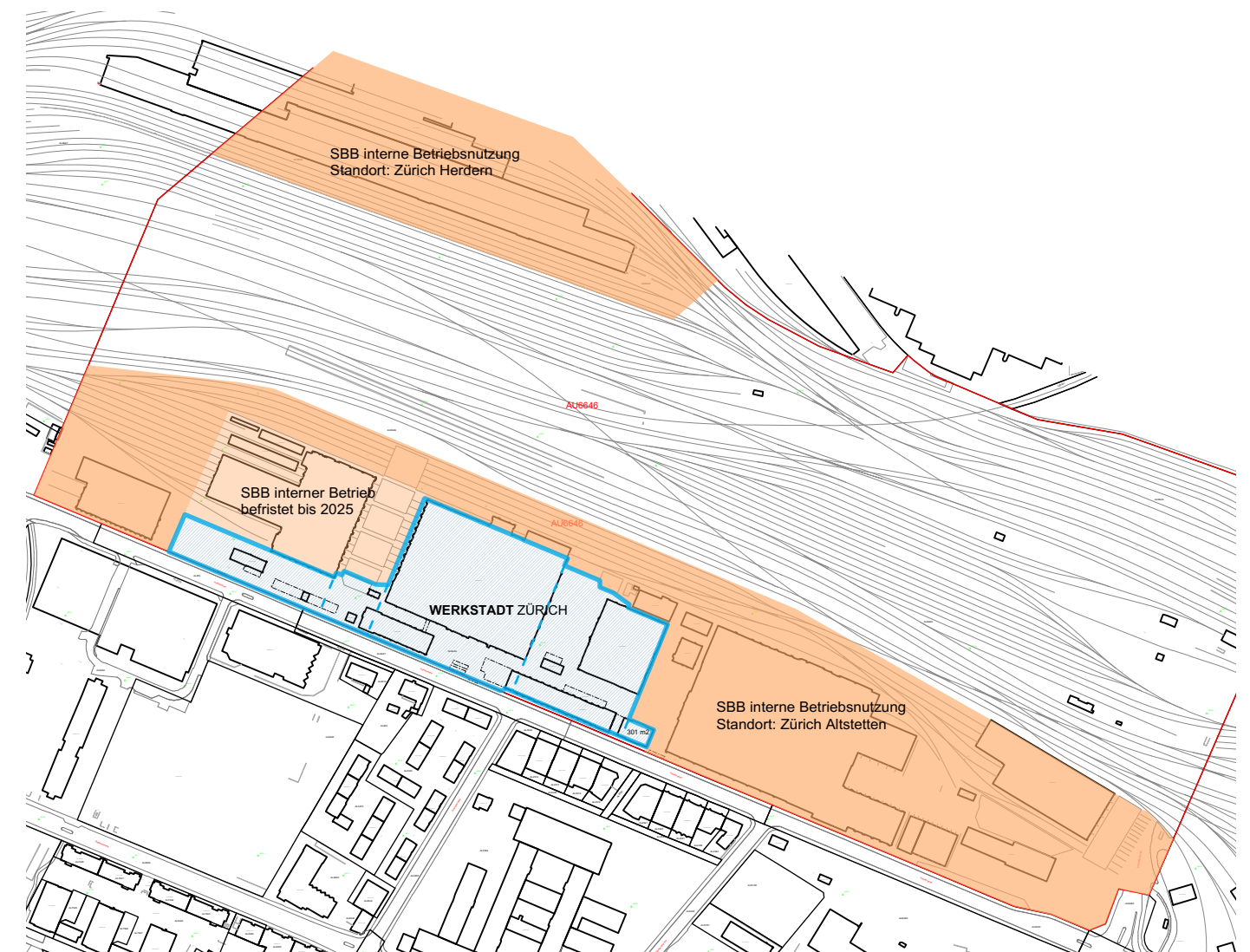
Querschnitt Stand Ausführungsplanung, Mai 2022 (©baubüro in situ)



### KENNDATEN

Objekt	Werkstadt Zürich (ehemalige SBB Hauptwerkstätte) Gebäude A
Adresse	Hohlstrasse 402 (Teil Lager)
Parzellen-Nr.	AU6646
Eigentümerin	SBB Immobilien AG
Bauzone	Industrie- und Gewerbezone IG 1
Massgebende Grundstücksfläche	27'870 m <sup>2</sup>
Kreis/Quartier	Kreis 4 / Aussersihl-Zürich
Geschossfläche Umbauperimeter	ca. 640 m <sup>2</sup>
Gebäudehöhe	13.5 m (Teil Verwaltung)

Katasterplan mit massgebender Grundstücksfläche (©baubüro in situ)



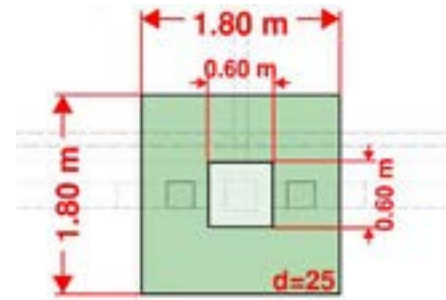
# 2. DIE PLANUNG

## 2.1 VORGESCHICHTE

Die neuen Fundamente, die jeweils ein Paar von schrägen Holzstützen für das neue Zwischengeschoss tragen und sich an die bestehenden Fundamente der Hallenstützen anschmiegen, wurden am Anfang der Projektierungsphase in Ortbeton geplant. Dabei sollte eine Betonrezeptur mit wiederverwendetem Zuschlagsmaterial (Produkt Holcim Evopact) und CO<sub>2</sub>-optimiertem Zement (Typ Holcim Susteno 3R) verwendet werden.

Gemäss Nutzungsvereinbarung muss die neue Tragstruktur eine Nutzlast von 10kN/m<sup>2</sup> tragen, was in einer schrägen Punktlast von 100kN pro neuer Holzstütze resultiert (charakteristisches Niveau).

Die berechneten monolithischen Abmessungen betragen 180x180x25cm mit einer 60x60cm grossen Öffnung um bestehende Natursteinsockel, auf denen bestehende Stützen stehen.



Skizze Fundament - Stand Bauprojekt ©Flückiger Bosshard

## 2.2 NEUE ZIELSETZUNG

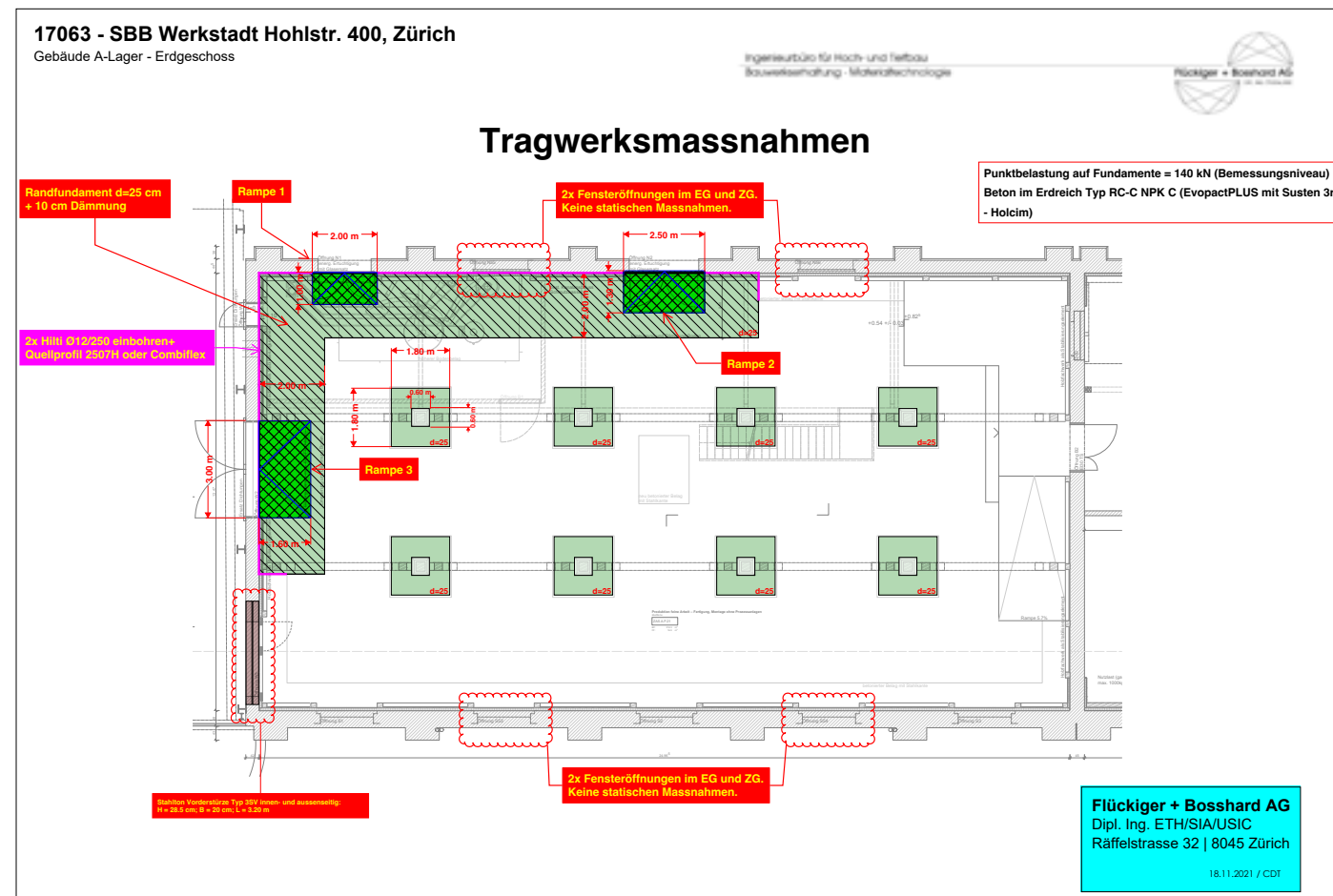
Der Einsatz von ökologischen Betonsorten hat eine grosso modo ähnliche (und somit schlechte) CO<sub>2</sub>-Bilanz wie jener von konventionellem Beton. Es wird zwar ein Teil der benötigten Ressourcen (Kies) durch den Einsatz von rezyklierten Zuschlagsmaterialien eingespart und die gewählte optimierte Zementrezeptur ermöglicht laut Aussage des Herstellers die beste CO<sub>2</sub>-Bilanz bei Zement auf dem Schweizer Markt. Leider bedeutet dies «nur» eine Verbesserung von rund 20%, im Vergleich zum sehr CO<sub>2</sub> intensiven Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL<sup>1</sup>. Neben der Zementherstellung kommt ein bedeutsamer Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Beton von den Armierungseisen.

<sup>1</sup> Quelle: [https://www.holcimpartner.ch/api/holcimpartner/files/holcim\\_zement\\_broschuere\\_de\\_susteno\\_3r.pdf?fileId=1ea3-2e26-ec4a4401-8111-0242ac110002&timestamp=2020-01-09T13:17:49.060Z&storageContext=direct&filename=Holcim\\_Zement\\_Broschuere\\_DE\\_Susteno\\_3R.pdf](https://www.holcimpartner.ch/api/holcimpartner/files/holcim_zement_broschuere_de_susteno_3r.pdf?fileId=1ea3-2e26-ec4a4401-8111-0242ac110002&timestamp=2020-01-09T13:17:49.060Z&storageContext=direct&filename=Holcim_Zement_Broschuere_DE_Susteno_3R.pdf) (Seite besucht am 09.06.22)

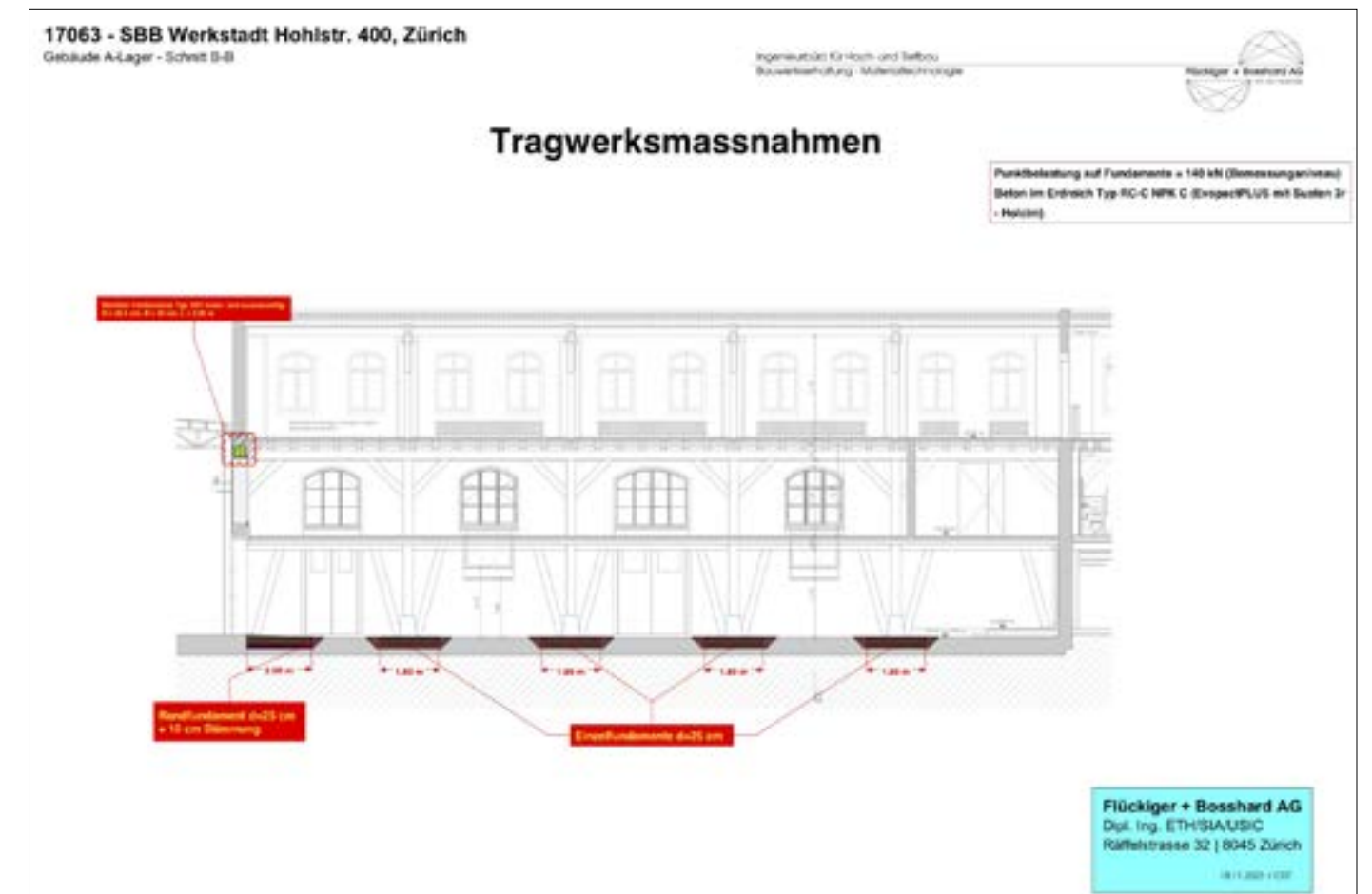
Die Materialoptimierung im Bauwesen ist wichtig und notwendig. Sie allein hat aber zu wenig Wirkung. Besser ist es, wenn gar kein neues Material benötigt wird. Man kann dazu entweder auf das Bauteil verzichten (bei diesem Projekt zum Beispiel an den Fassadeninnenseiten: dank linearer Lastabtragung wurde zum grössten Teil kein neues Fundament benötigt), oder man bedient sich eines Bauteils, welches vorhanden ist und zur Verfügung steht.

Aus diesen Überlegungen entstand während der Ausschreibungsphase die Idee, Betonblöcke aus Abbruchbaustellen als Fundationen zu verwenden. Da die Mach- und Verfügbarkeit noch nicht sicher waren, wurden sowohl Re-Use Fundamente (Hauptvariante) als auch Ortbetonfundamente in der Ausschreibung abgefragt.

Tragwerkmassnahmen Stand Ausschreibung - Grundriss Erdgeschoss/Parterre ©Flückiger Bosshard



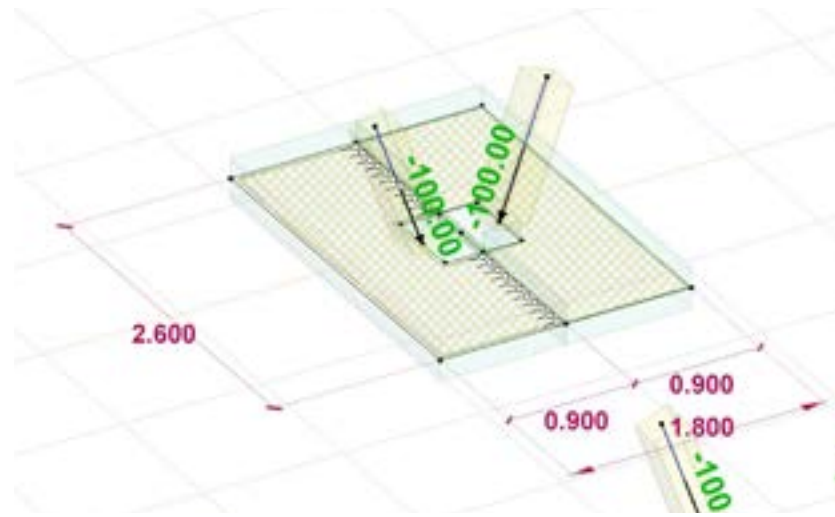
Tragwerkmassnahmen Stand Ausschreibung - Längsschnitt B-B ©Flückiger Bosshard



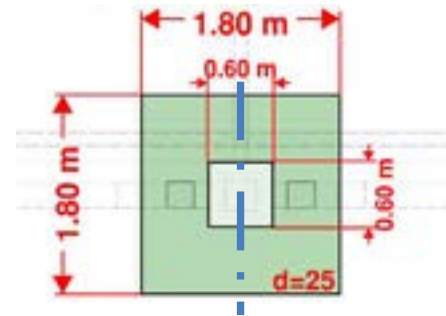


## 2.3 STATISCHES MODELL

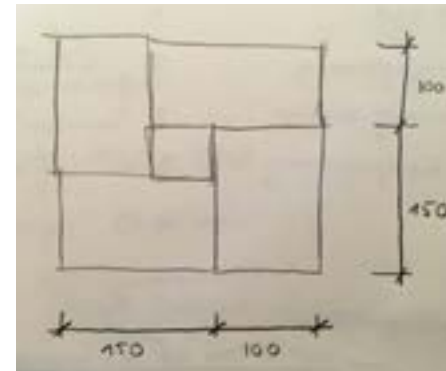
Die bestehenden zentralen Stützen mit ihren Natursteinsockeln bedingten eine Zweiteiligkeit der angegliederten Fundamente für die neuen Schrägstützen. Als Erstes wurde eine Variante mit zwei Fundamentblöcken und knirscher Kontaktfuge getestet. Weiter stand



Variante des geteilten Fundaments mit knirscher Fuge (©Flückiger Bosshard)

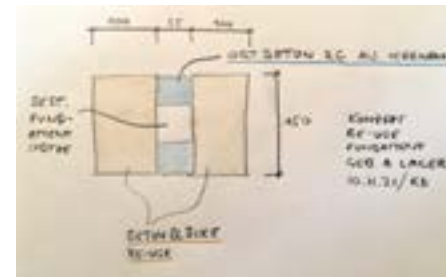


Skizze Unterteilung des Fundaments



Variante «Windmühle», um Einschnitte in die Betonblöcke zu vermeiden

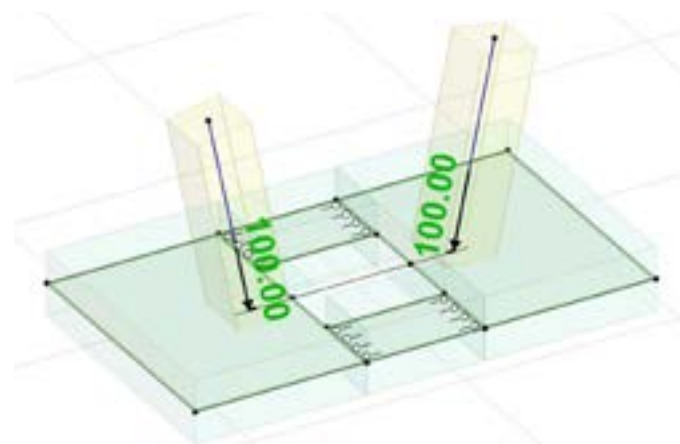
eine windmühlenartige Anordnung von vier Blöcken zur Diskussion. Schlussendlich fiel die Wahl auf die Setzung von zwei lateralen Blöcken, welche in Achsrichtung der Horizontalkräfte der schrägen Stützen kraftschlüssig verbunden sind. Diese Verbindung erfolgt durch Verguss der Zwischenräume mit Recyclingbeton Typ RC-C (NPK C – EvopactPLUS mit rezykliertem Zementanteil) und dank eingeklebten Anschlusseisen Hilti HIT RE500. Dies resultierte in den Dimensionen der zwei Betonblöcke von je 150x100x30cm, der vergossenen Fugen von 55x50x25cm und einer Gesamtabmessung von 255x150x25-30cm.



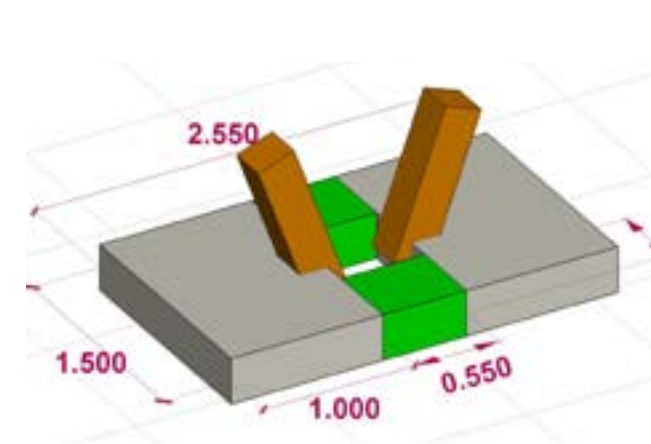
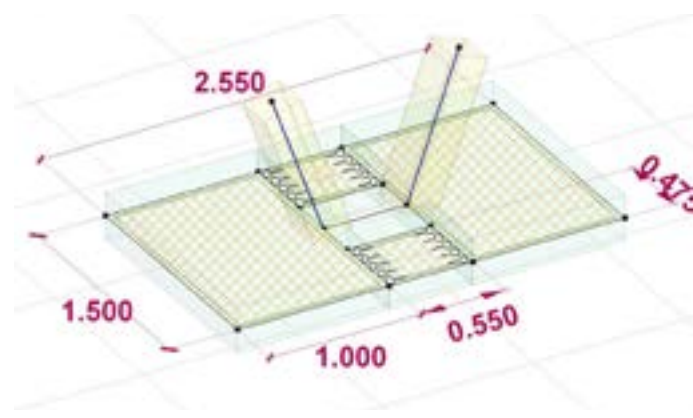
Variante «Verbindungstücke»

Um die Suche nach geeigneten Betonteilen zu erleichtern, wurden einige Varianten berechnet und die Parameter eingegrenzt: Betonqualität, Grösse, Dicke, Bewehrungsgehalt & Bewehrungsüberdeckung.

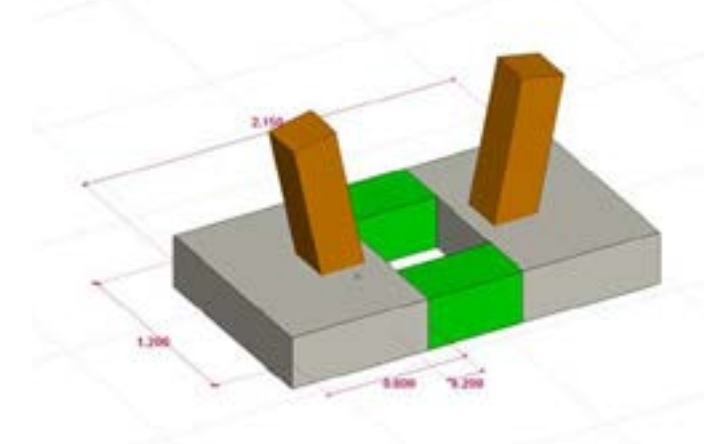
Durch die Verschiebung der schrägen Holzstützen um ca. 20cm aus der Mitte, konnten letztlich die Abmessungen der Fundamente auf 215x120x25-30cm reduziert werden.



Krafteinwirkung und Variante des Fundaments mit bewehrten Verbindungsstücken in Ortbeton (©Flückiger Bosshard)



Optimierung durch Verschiebung der Holzstützen (©Flückiger Bosshard)





# 3. DIE BESCHAFFUNG

## 3.1 SUCHE UND LOGISTIK

Der Bauingenieur definierte folgende technische Voraussetzungen, welche die Blöcke erfüllen müssten.

- Minimale Dimensionen: 120 cm x 80 cm x 30 cm (L x B x H)
- Mindestbewehrung: Ø12/150 mm für alle vier Lagen
- Betonüberdeckungen unten: mind. 35 mm (erdberührte Seite)
- Betonüberdeckungen oben: mind. 30 mm

Diese Eigenschaften bedeuten hohe Ansprüche.

Die Betonüberdeckung der Armierung, welche auf relative junge Bauten hinweist und die Elementdicke von 30 cm, sind Kriterien, die das Spektrum von möglichen Blöcken stark eingeschränkt haben.

Für die Beschaffung der Betonblöcke oblag schwergewichtig dem Bauemister, der BWT Bau AG, welche in der Zwischenzeit den Zuschlag für das Projekt erhalten hatte. BWT lancierte die Such über alle Baustellen beider Filialen der Firma. Auch planungsseitig wurde intensiv gesucht: das Baubüro in situ kontaktierte dafür eine Vielzahl an Partnern (baubüro in situ Basel, Zirkular, SXL-Lab EPFL) sowie an Beton-Bearbeitungsfirmen.



Einblick in die Abbruchbaustelle (©BWT)

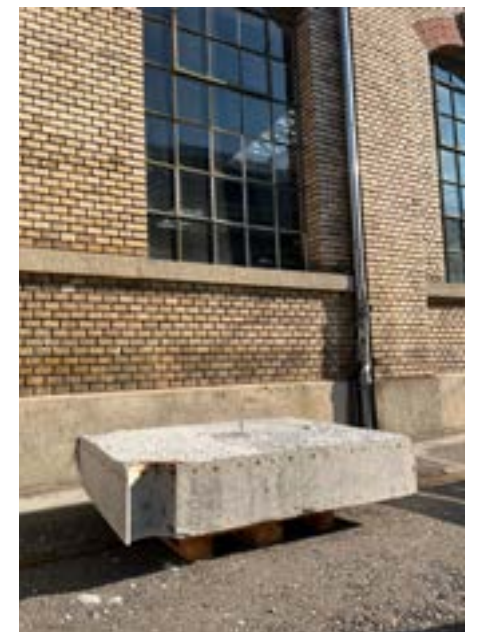
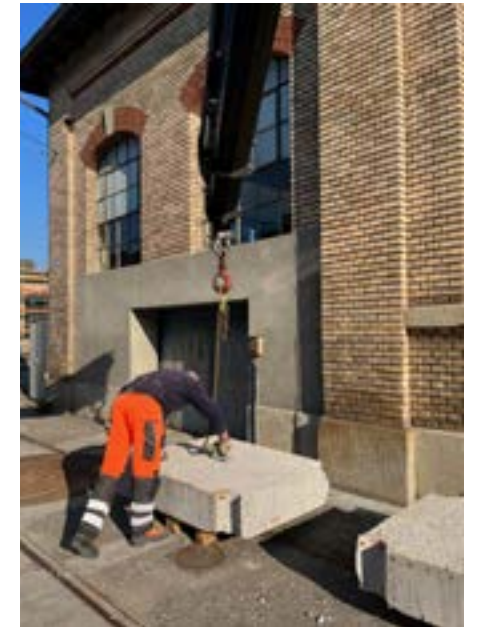
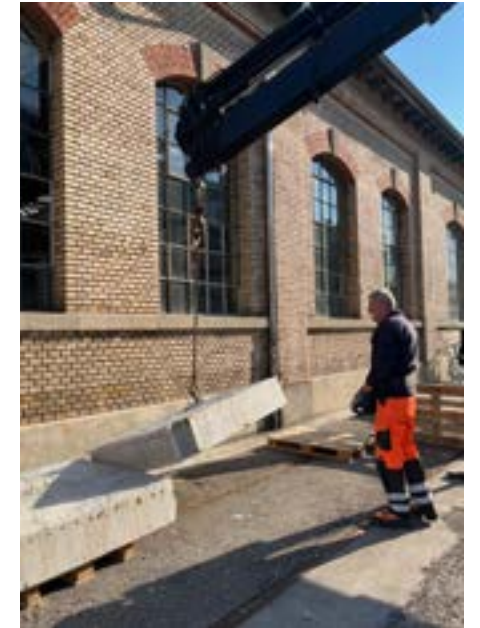


Schlussendlich fand BWT fünf grosse Blöcke, welche die technischen Anforderungen erfüllten. Von den Beton-Bearbeitungsfirmen war trotz Interesse keine einzige Rückmeldung gekommen. Aus den fünf grossen Blöcken konnten zehn Blöcke passender Grösse geschnitten werden. Zwei weitere Blöcke kamen am während der Ausführungsarbeiten schlussendlich noch dazu, von der gleichen Baustelle.

Die Elemente wurden aus einer Decke herausgeschnitten, um einen Lichthof zu bilden. Das Spender-Gebäude befindet sich in unmittelbarer Nähe des Bahnhofs Winterthur (Rudolfstrasse / Konradstrasse). Es stammt aus den 1980er Jahren. Die Blöcke wurden mittels einer Diamantblatt-Säge geschnitten und mit einem Oberdrehkran auf dem Bauplatz gestapelt. Später wurden die Blöcke mit dem gleichen Kran auf den Lastwagen geladen und zum Werkstadt Areal gebracht.

Es entstand beim Abbruch kaum ein Mehraufwand. Der einzige Mehraufwand kam aus der Zwischenlagerung der Blöcke. Hätten wir die Blöcke entsorgt, wären sie direkt in einer Mulde gelandet.

Anlieferung (©baubüro in situ)





# 4. DIE UMSETZUNG

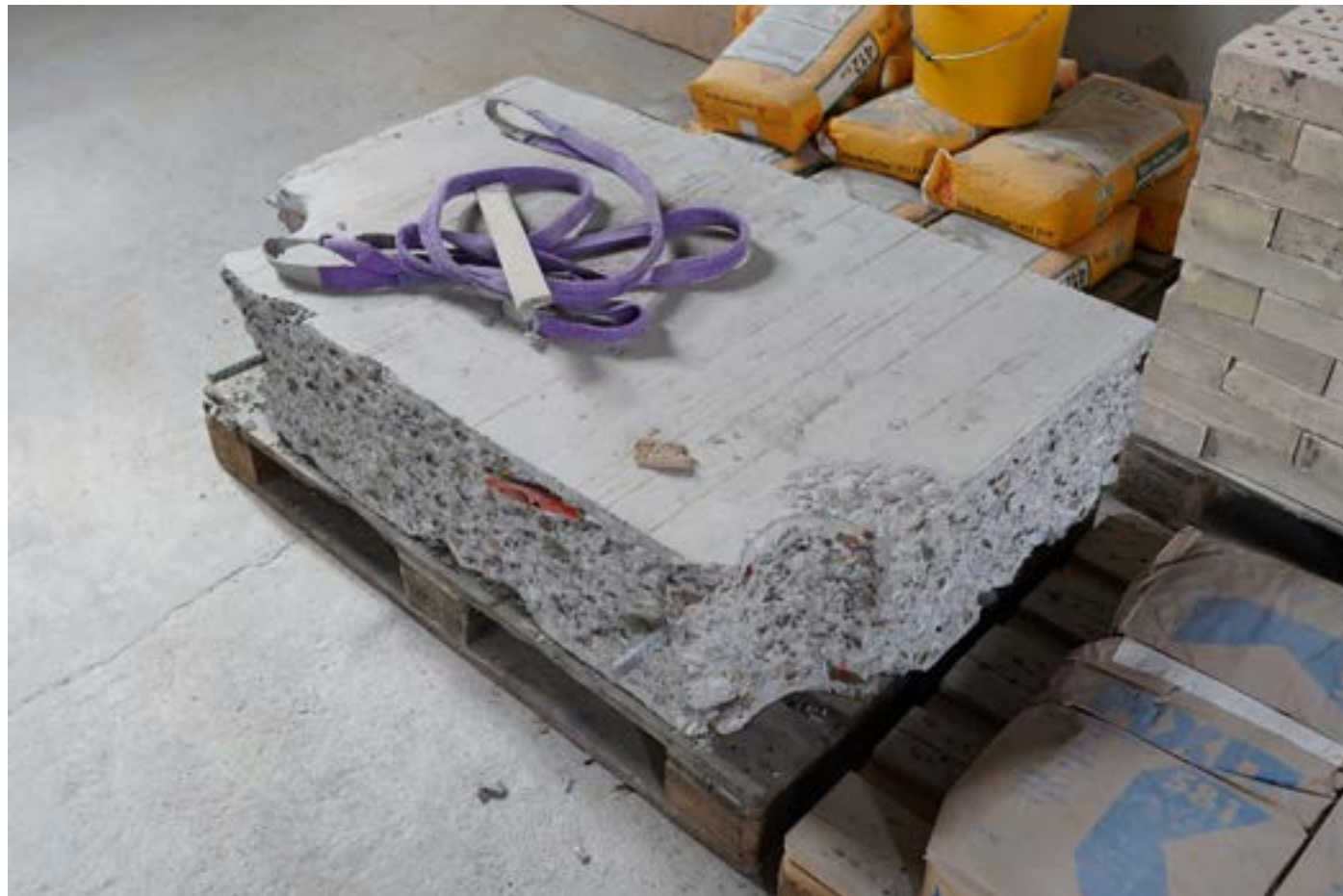
## 4.1 AUFBEREITUNG

Die Blöcke wurden direkt vom Baumeister auf das Werkstadt Areal geliefert und auf dem Baustelleninstallationsplatz zwischengelagert. Sie wurden zwecks Bearbeitungsmöglichkeit nebeneinander positioniert. Die grossen Blöcke wurden zuerst mittels Diamantblatt-Säge in zwei Hälften geschnitten (Aufwand ca. 1 Std./Schnitt).

Eine spezielle Herausforderung bot die Gewährleistung des Korrosionsschutzes der Armierungseisen. Um diese nicht einzeln freilegen und mit Schutzmörtel überdecken zu müssen, wurden die glatten Schnittkanten der Blöcke mittels Spitzhammer aufgeraut um so eine gute Haftung mit dem sie später ummantelnden Vergussbeton zu erreichen. Dieser stellte dann die Eisenüberdeckung von mindestens 35mm sicher. Angrenzend an die als neue Sichtfläche der Blöcke bestimmten Seite (die frühere Deckenuntersicht) wurden drei Zentimeter ab Kante glatt belassen, damit diese nicht ausbrach. Bei den Seitenflächen der Blöcke, welche an die bestehenden Granitsockel anzuliegen kamen, mussten indes die Eisen zurückgeschnitten und eine Mörtelschicht (Monotop 910) aufgetragen werden, da dort für die Sicherstellung einer soliden Betonüberdeckung zu wenig Zwischenraum vorhanden war. (Aufwand ca. 1,5 Std/Block)

Die Löcher für die neuen, die Blöcke verbindenden Armierungseisen, wurden ebenfalls vorab gebohrt.

Zwischenlagerung auf dem Baustelleninstallationsplatz und Aufbereitung (©Martin Zeller und baubüro in situ)





## 4.2 VORBEREITUNG DES EINBAUORTES

Um die Betonblöcke genau platzieren und ausrichten zu können, wurde eine Verbreiterung von rundum ca. 15 cm der Aushubgrube vorgesehen. Deren Sohle wurde mit Magerbeton überdeckt und mit einer Ausgleichsschicht aus Sand zusätzlich eingeebnet. Die Magerbetonsohle als Untergrund, bringt zusätzlich eine statische Verbesserung der Bodenpressung.

Erstellung der Öffnung in der bestehenden Bodenplatte und Erstellung der Sohle (©baubüro in situ, Flückiger Bosshard, Martin Zeller)  
Nächste Doppelseite (©Martin Zeller)









## 4.3 EINBRINGEN DER BLÖCKE

Die Blöcke wurden mittels eines grossen Staplers vom Installationsplatz ins Gebäude transportiert. Bei diesem Manöver mussten die Blöcke noch gewendet werden, damit die glatte Oberfläche nach oben schaut. Die Fundamente werden nämlich bündig zur umliegenden Bodenplatte versetzt und sichtbar gelassen. Die genaue Positionierung erforderte von den ausführenden Arbeitern infolge der engen Platzverhältnisse sowie der rauhen Blockunterseiten einiges Geschick. Die Höhenunterschiede, welche sich durch den teils leicht schrägen Bestandsboden ergaben, konnten durch das vertikale Einmitten des Blockes und durch die 15 cm breite Ummantelung gut aufgenommen werden. Inmitten der sehr heterogenen und abgenutzten Bodenplatte, fallen die kleinen entstandenen Unebenheiten kaum auf. (Zeitaufwand pro Block 2 Std. mit 2-3 Bauarbeitern)

Versetzen der Blöcke (©Martin Zeller)





## 4.4 BLÖCKE VERBINDEN

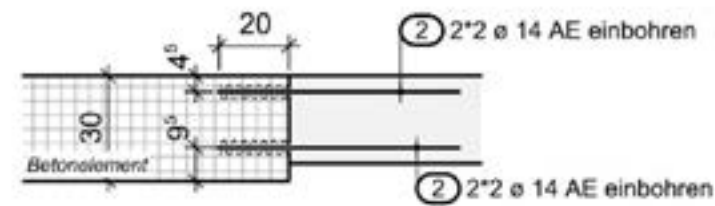
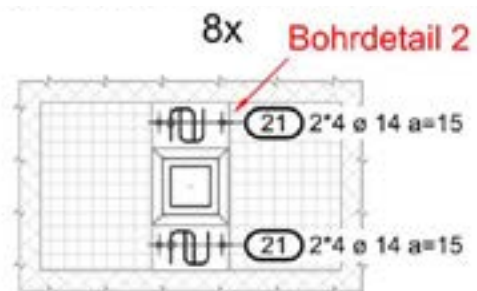
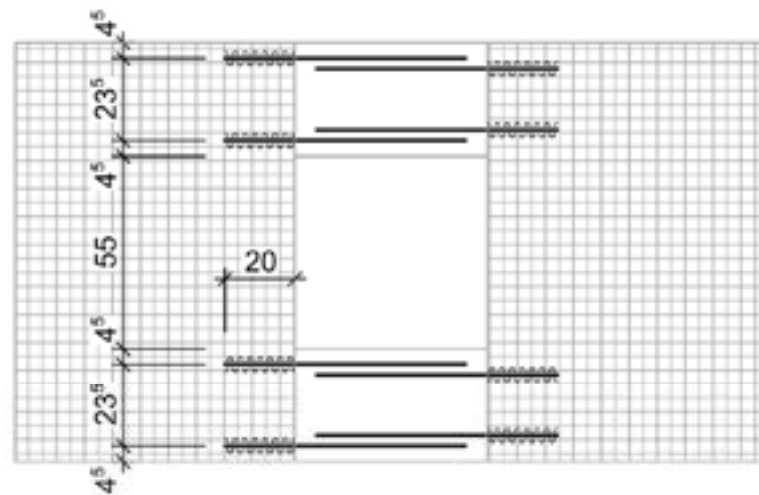
Die Verbindung der Blockpaare überträgt beachtliche Horizontalkräfte der schrägen Stützen. Sobald beide Blöcke in der Grube richtig lagen, wurden die Eisen für die Verbindung mittels 2K-Mörtel in die Vorbohrungen versetzt und miteinander verbunden. Die gesamte Grube, und somit sowohl die armierten Verbindungsstücke als auch der Ummantelungsbereich von rund 15 cm, wurden schlussendlich ausbetoniert. Verwendet wurde dabei die Betonrezeptur C30/37 RC-C mit Cem 2 B-M.



Verbinden der Armierungseisen  
(©Flückiger Bosshard)



Armierungsdetails  
(©Flückiger Bosshard)



AE ø 14, in Betonelement einbohren,  
mit Hilti Hit RE500  
Bohrlochdurchmesser  $d_0 = 18\text{mm}$   
Bohrtiefe  $h_1 = 20\text{cm}$





## 4.5 ANSCHLÜSSE

Der Anschluss der Ummantelung an die Bodenplatte wurde weder mit einer Fuge, noch mit einer kraftschlüssigen Verbindung erstellt. Eine kraftschlüssige Verbindung wäre an Stellen, wo der bauzeitliche Betonboden nur wenige misst, technisch auch gar nicht möglich gewesen. Die Bildung einer Fuge hätte einen zu starken Fokus auf diese neuen Elemente gestellt, wo wir uns lieber die Kontinuität wünschen.

Der Zustand des bestehenden Bodens, mit seinen zahlreichen Rissen, Flickstellen und eingelassenen Metallteilen ist sehr heterogen und geprägt von der Geschichte des Gebäudes. Die neuen Blöcke fügen sich als weitere Teile in dieses Patchwork ein.

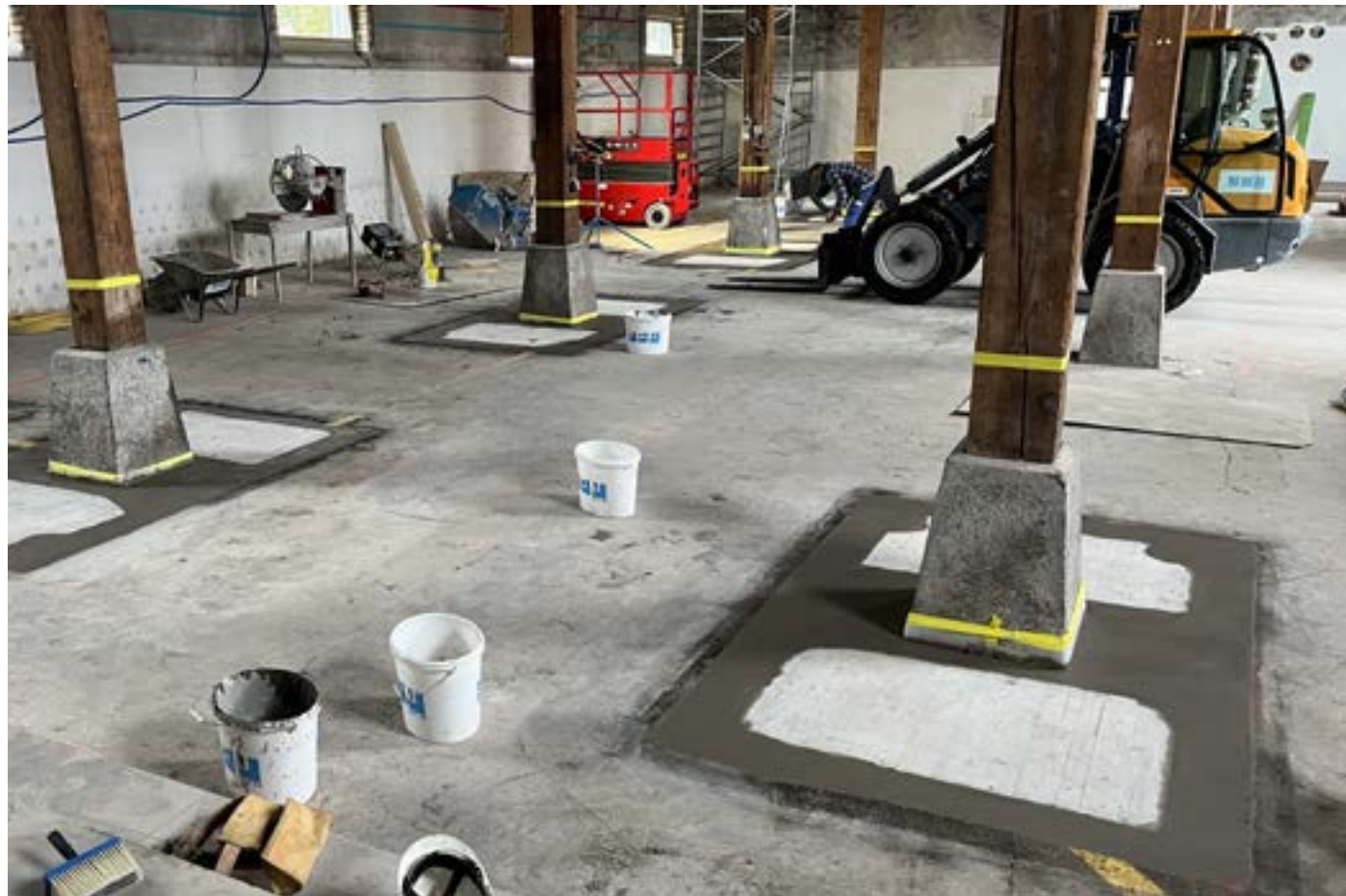
Eine mögliche Rissbildung im Bereich der Ummantelung wurde in Hinblick auf die vorhandene Patina zusammen mit der Bauherrschaft als unproblematisch betrachtet.

Zu den Granitsockeln hin wurde eine von Unterlagsböden bekannte Schattenfuge ausgebildet.



Ausbildung Schattenfuge (©baubüro in situ)

Re-use Fundamente nach dem Einbetonieren (©baubüro in situ)



## 4.6 ORTBETON FUNDAMENTE

Da wir aufgrund der hohen Anforderungen und Spezifität nicht rechtzeitig genug Betonblöcke finden konnten, wurden vier verbleibende Stützenfundamente in Ortbeton ausgeführt. Diese ermöglichen somit im Patchwork des Erdgeschossbodens ein Nebeneinander von Re-Use und konventionellen Fundamenten. Die Erstellung letzterer erfolgte gemäss üblichem Baustandard. Verwendet wurde ebenfalls die Rezeptur C30/37 RC-C mit Zem 2 B-M



Abnahme Armierung Ortbetonfundament (©baubüro in situ)

Fertiges Ortbetonfundament (© Martin Zeller)





# 5. TREIBHAUSGASBILANZ

Durch das Nebeneinander von Re-use- und Ortbetonfundamenten ist ein präziser Vergleich der verbrauchten Baustoffmengen möglich, sowie die Bilanzierung der in der jeweiligen Konstruktion enthaltenen Treibhausgasemissionen. Dabei wurde bei den

Beim Vergleich der effektiv verbauten Mengen an Baumaterialien sticht bei den Re-use Fundamente die Einsparung an Armierungsstahl heraus. Die Armierung in den wiederverwendeten Blöcken erhält einen zweiten Lebenszyklus und wird nur mit den Verbindungsseisen ergänzt. Die Eisenmenge beträgt weniger als die Hälfte als beim konventionellen Fundamenttyp. Auch die verbrauchte Betonmenge ist geringer - die grössere Abmessung der Re-use Fundamente und insbesondere das benötigte Ummantelungsvolumen bewirken indes, dass die Differenz nicht sehr gross und kleiner als erwartet ausfällt. Aus dem gleichen Grund ist die Magerbetonmenge bei den Re-use Fundamenten sogar etwas höher.

Aufgrund der hohen CO2-Intensität von Armierungsstahl resultieren diese Mengen in einer beachtlichen Einsparung von 18% an grauen Treibhausgasemissionen. Nach Abzug aller durch die zusätzlichen Transporte und die Aufbereitung angefallenen Emissionen, beträgt die Einsparung noch immer 11%, bzw. 24kg CO2-eq pro Doppelfundament.

## MATERIALVERBRAUCH (alle Tabellen pro Doppelfundament)

	Re-use Fundament	Ortbetonfundament
Stahl (Armierungseisen)	21 kg	48 kg
Beton (RC 30/37 XC4 XF1)	1334 kg	1449 kg
Magerbeton (RC, Schichtdicke ca. 7cm)	580 kg	387 kg
Sand	70 kg	50 kg
Klebmörtel Hilti Hit RE 500	1.5 kg	-
Mörtel Armierungsschutz (3cm Schicht)	2 kg	-

## EMISSIONEN ERSTELLUNG (in CO2 -eq)

	Re-use Fundament	Ortbetonfundament
Armierungseisen	32.1 kg	73.0 kg
Beton <sup>1)</sup>	135.2 kg	146.8 kg
Magerbeton	35.6 kg	23.8 kg
Sand	1.1 kg	0.8 kg
Klebmörtel	2.4 kg	-
Armierungsschutzmörtel	0.9 kg	-
total	207.2 kg	244.3 kg

1) Betonsorte beider Varianten: C30/37 RCC mit CEMII-BM. 50% RC Anteile, davon 45% Betongranulat

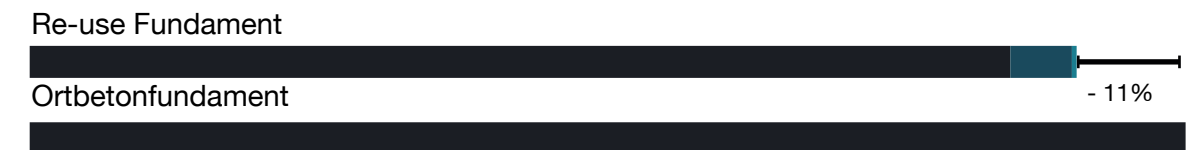


## GESAMTBILANZ (in CO2 -eq)

	Re-use Fundament	Ortbetonfundament
Neumaterial	207.2 kg	244.3 kg
Transport zum Aufbereitungsort	12.7 kg	-
Aufbereitung	0.4 kg	-
(Übernommene Graue Energie)	(202.9 kg)	-
total	220.3 kg	244.3 kg

Anmerkungen:

- Demontage wird nicht eingerechnet, sondern zählt zum Umbau vom Spendergebäude
- Energie auf der Baustelle vernachlässigt gem. SIA2032



# 6. KOSTEN

Nachkalkulation, jeweils pro Einzelfundament

## RE-USE FUNDAMENTE: STAND AUSSCHREIBUNG

RE-USE FUNDAMENTE	Menge	Einheitspreis exkl. MwSt.	Preis exkl. MwSt.
Anschlussbewehrung 14mm inkl. Bohrungen	Stk. 160	CHF 17.95	CHF 2872.00
Bearbeitung Schnittkante (Haft + Rostschutz)	Stk. 16	CHF 186.00	CHF 2976.00
Beschaffung, Lieferung und Versetzen der Blöcke	Stk. 16	CHF 880.00	CHF 14080.00
	Summe für 16 Fundamente		CHF 19928.00
	Summe pro Fundament		<b>CHF 1245.50</b>

Beide Fundamenttypen, fertiggestellt (©Martin Zeller)



## RE-USE FUNDAMENTE: STAND SCHLUSSABRECHNUNG

RE-USE FUNDAMENTE	Menge	Einheitspreis exkl. MwSt.	Preis exkl. MwSt.
Anschlussbewehrung 12mm inkl. Bohrungen	Stk. 112	CHF 12.50	CHF 1400.00
Bewehrungen	kg 132	CHF 2.80	CHF 369.60
Betonieren 01.04.22 (10 Fundamente)	m3 4.5	CHF 284.95	CHF 1282.30
Betonieren 26.04.22 (2 Fundamente)	m3 0.9	CHF 284.95	CHF 256.45
Arbeitsfugenvorbereitung, Taloschieren	m2 27.75	CHF 3.50	CHF 97.15
Bearbeitung Schnittkante (Haft + Rostschutz)	Stk. 12	CHF 186	CHF 2232
Beschaffung, Lieferung und Versetzen der Blöcke	Stk. 12	CHF 880.00	CHF 10560.00
	Zwischensumme		CHF 16197.50
Zusätzlicher Regieaufwand: Taloschieren			CHF 528.00
Zusätzlicher Regieaufwand: Stellstreifen anbringen			CHF 744.80
	Summe für 12 Fundamente		CHF 17470.30
	Summe pro Fundament		<b>CHF 1455.85</b>

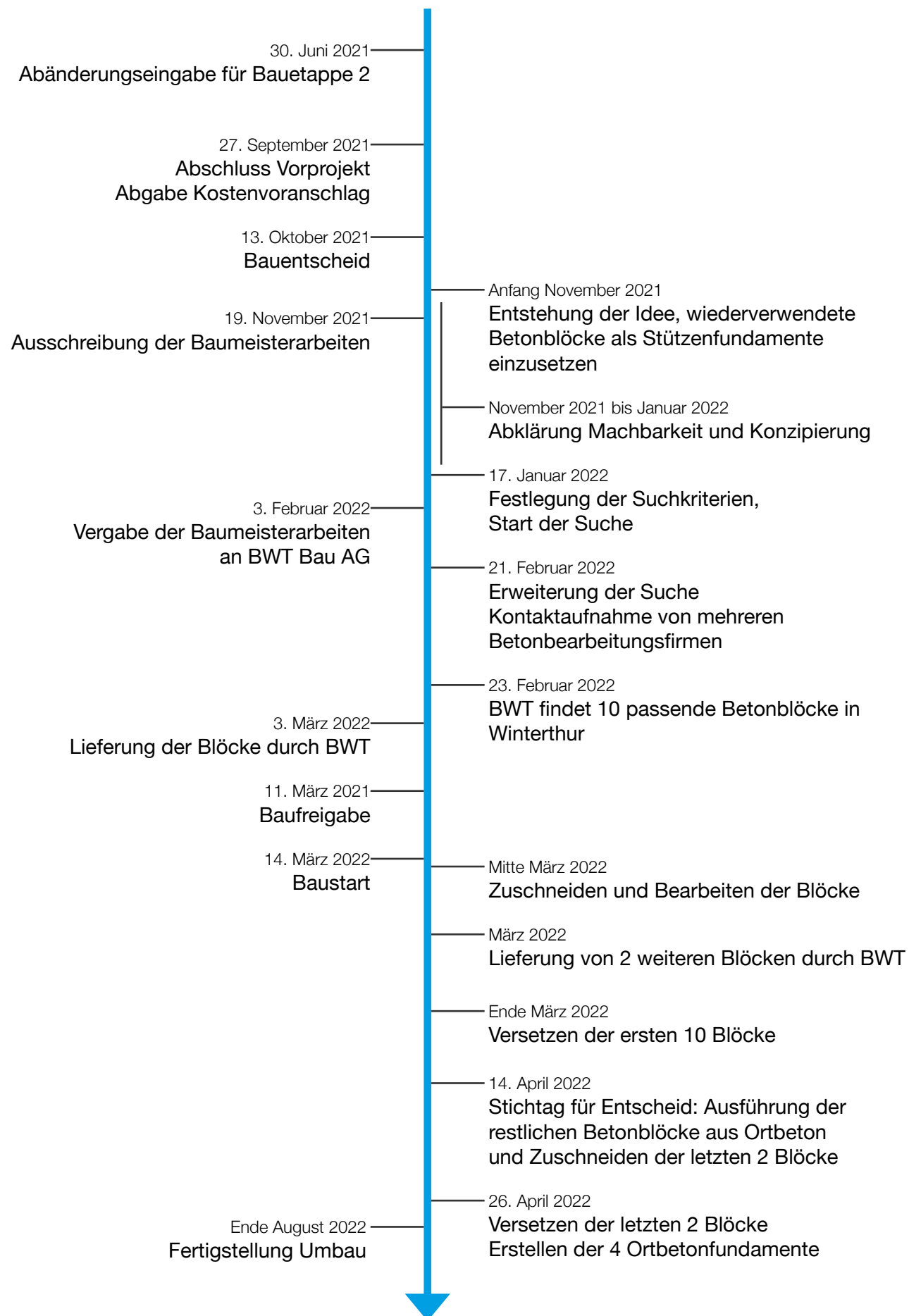
## ORTBETONFUNDAMENTE: STAND SCHLUSSABRECHNUNG

ORTBETONFUNDAMENTE	Menge	Einheitspreis exkl. MwSt.	Preis exkl. MwSt.
Bewehrung BG1	kg 47	CHF 2.80	132 CHF
Bewehrung BGS	kg 153	CHF 3.36	514 CHF
Betonieren 26.04.22 (4 Ortbetonfundamente)	m3 2.1	CHF 284.95	CHF 854.85
Arbeitsfugenvorbereitung, Taloschieren	m2 7.00	CHF 3.50	CHF 24.50
	Summe für 4 Fundamente		CHF 1148.15
	Summe pro Fundament		<b>CHF 287.05</b>

Kosten für Installationen und Vorbereitungsarbeiten wurden nicht berücksichtigt, ebenso wie der Planungsaufwand.



# 7. ABLAUF



Baustellenimpression (©Martin Zeller)









## 8. FAZIT

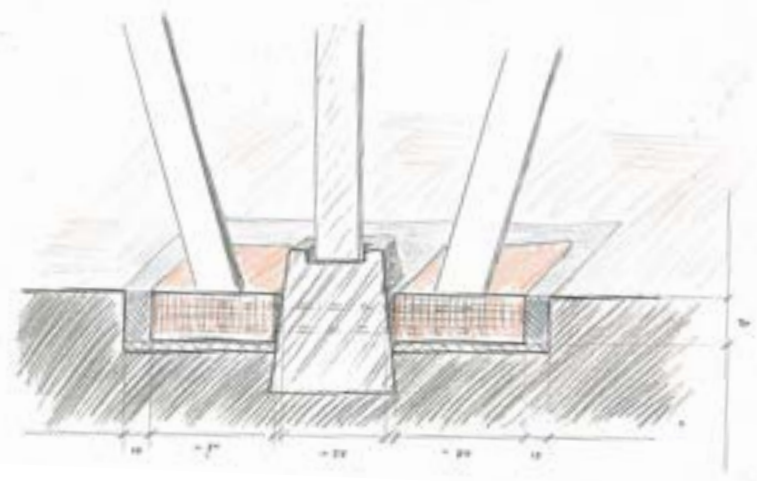
Im Rahmen dieses Pilotprojekts wurde einen Weg aufgezeigt, um Verschnittstücke von abzubrechenden Betondecken als Fundamente in einer statisch komplexen Konstellation einzusetzen, wobei alle gängigen Normen erfüllt werden. Im Kontext des industriellen Bestandes integrieren sich die Blöcke mühelos in den bestehenden Boden und dessen durch vorangegangene Nutzungen und bauliche Interventionen entstandene Patina.

Im Vergleich zu den konventionell (jedoch mit ökologischer Betonrezeptur) erstellten Ortbetonfundamente wurden während der Erstellung rund 18% an Treibhausgasemissionen eingespart, bei grosszügiger Einrechnung aller zusätzlichen Aufwände von Transport bis Aufbereitung immernoch deren 11%.

Dem Erfolg ist gegenüberzustellen, dass erstens das Einsparungspotenzial an Emissionen bei der Betonwiederverwendung damit als noch lange nicht ausgeschöpft erscheint, und dass zweitens die rückgerechneten Aufwände für die breite Anwendung (noch) zu hoch sind. Während für das herkömmliche Betonieren die Vorgänge der Planung, Logistik und Ausführung eingespielt und optimiert sind, haben sie im Fall der Wiederverwertung noch Pioniercharakter und es besteht Lernbedarf seitens aller Beteiligten. Wir hoffen, dass das hier vorgestellte Projekt in diesem Sinne einen Beitrag geleistet hat und für den weiteren Weg hin zu einer zirkulären und ressourcenschonenden Bauwirtschaft Erkenntnisse bereitstellt. In den abschliessenden Betrachtungen werden diese deshalb rekapituliert und einem hypothetischen Best-Case Szenario gegenübergestellt.

Angesichts der schweizweiten Resonanz, welche dieses Pionierprojekt schon seit der Ideenstehung ausgelöst hat, scheinen uns die zwar gewichtigen, aber eingegrenzten Kosten, eine lohnende Investition gewesen zu sein. Die Realisation war innerhalb des projektierten ökonomischen Rahmens möglich.

Von Seite aller Akteure war zur erfolgreichen Umsetzung ein Extra an Mut und Effort notwendig. Ihnen allen gilt entsprechend an dieser Stelle ein grosses Dankeschön - insbesondere der Auftraggeberin SBB Immobilien Development AG, den Ingenieuren von Flückiger + Bosshard AG und der Bauunternehmung BWT Bau AG.



Re-use Fundament, fertiggestellt (©baubüro in situ)



## 8.1 ERKENNTNISSE

Der von den beteiligten Akteuren gemeinsam beschrittene Weg von der Konzeption bis zur Fertigstellung der Fundamente war ein Learning by Doing. Die rückblickende Betrachtung der einzelnen Schritte sowie der in dieser Dokumentation präsentierten Resultate ermöglicht Erkenntnisse und zeigt Optimierungspotenzial für mögliche Folgeprojekte.

### A - UNTERGRUND

Sowohl bei den Re-use als auch bei den Ortbeton Fundamenten wurde eine konventionelle Magerbetonsohle als Untergrund erstellt. Infolge des grösseren Fussabdrucks und der grösseren Grube der Re-use Fundamente, wurde mehr Magerbeton benötigt, was die Ersparnisse in der Treibhausgasbilanz schmälert. Stattdessen 17% der grauen Treibhausgasmenge der Re-use Fundamente gehen auf den Magerbeton zurück. Es ist zu erwägen, die Sohle z.B. mit gestampftem RC Kies auszuführen.

### B - VERSETZEN DER BLÖCKE

Das Einbringen der Blöcke, mit vorab eingebohrten Verbindungseisen und unter den beim Umbau limitierten Platzverhältnissen, war eine Herausforderung für die Ausführenden. Die mit dem Baumeister vereinbarte Ummantelungsschicht von 15cm war unter den gegebenen Voraussetzungen berechtigt, vergrösserte jedoch die Aushub- und Materialmengen. Zukünftig zu prüfen sind das Drehen der Blöcke bereits beim Ausbau auf der Spenderbaustelle (zukünftige Sichtseite nach oben) und das Einbohren einer Halterung in die Oberseite, um Bagger- oder Kranbefestigungen in den Stirnseiten zu vermeiden, und so den Ummantelungsraum zu reduzieren. Die entsprechende Planung der Logistik und Ausführung benötigt genügend Vorlaufzeit.

### C - MARGEN

Der Umgang mit wiederverwendetem Material birgt planerische und letzten Endes rechtliche Unsicherheiten, was sich teils in Überdimensionierungen niederschlägt. Weiter ist im Zuge einer umfassenden Nachhaltigkeitsbetrachtung zu erwägen, ob bei Bauteileigenschaften, die zur Gewährleistung statische Sicherheit nicht unabdingbar sind, durch Verkleinerung von Sicherheitsmargen ein kalkuliertes Risiko seitens Planung und Bauherrschaft eingegangen werden kann. So ist z.B. der grosse Ummantelungsbereich der Blöcke auch der sicheren Überdeckung der geschnittenen Armierungseisen geschuldet, welche zudem weitere baulich aufwändige Massnahmen bedingte. Die Inkaufnahme des Restrisikos von Abplatzungen bei einer entsprechenden Reduktion böte Optionen, Material und graue Emissionen einzusparen. Dies würde des Weiteren die Verfügbarkeit passender Bauteile erhöhen. Um die nötigen Prozesse dahingehend zu gestalten, ist genügend Planungszeit vorzusehen.

### D - ENTWURF

Die Positionierung und die Schräge der neuen Holzstützen verursachen eine einseitige Belastung der neuen Fundamente.

Deren Aufnahme ist mit den wiederverwendeten Quadern aufwändiger abzufangen als mit neuen Fundamenten (deren Armierung darauf abgestimmt werden kann), was ein Hauptfaktor für deren Überdimensionierung war. Der Tragwerksentwurf war zum Zeitpunkt der Entscheidung zu Gunsten von Re-use Fundamenten schon fortgeschritten und folgt deshalb schwerkrieglich räumlichen und funktionalen Überlegungen. Auch im Tragswerksentwurf an sich könnte also bei frühzeitiger Voplanung auf die Eigenheiten der wiederverwendeten Fundamente noch vertiefter eingegangen werden.

## 8.2 BEST-CASE SZENARIO

Ein Best-Case Szenario widerspiegelt diese Erkenntnisse und entsprechende zusätzliche Einsparmöglichkeiten an Baumaterialien und grauen Emissionen auf. Berücksichtigt wurden folgende Modifikationen:

- Ersetzung von Magerbeton durch RC-Schotter
- Verringerung des Ummantelungsbereichs der Blöcke auf 5cm
- Leicht optimierte Abmessung der Blöcke

Im besten Fall wäre so eine Treibhausgaseinsparung von 49% gegenüber dem verbauten Ortbetonfundamenten möglich.

	Best-case Szenario	Re-use Fundament	Ortbetonfundament
Armierungseisen	32.1 kg	32.1 kg	73.0 kg
Beton <sup>1)</sup>	63.5 kg	135.2 kg	146.8 kg
Magerbeton	-	35.6 kg	23.8 kg
RC-Schotter	7.9 kg		
Sand	1.1 kg	1.1 kg	0.8 kg
Klebmörtel	2.2 kg	2.4 kg	-
Armierungsschutzmörtel	0.9 kg	0.9 kg	-
Transport und Aufbereitung	13.1 kg	13.1 kg	
total	120.8 kg	220.3 kg	244.3 kg

1) Betonsorte beider Varianten: C30/37 RCC mit CEMII-BM. 50% RC Anteile, davon 45% Betongranulat





# 9. ANHANG

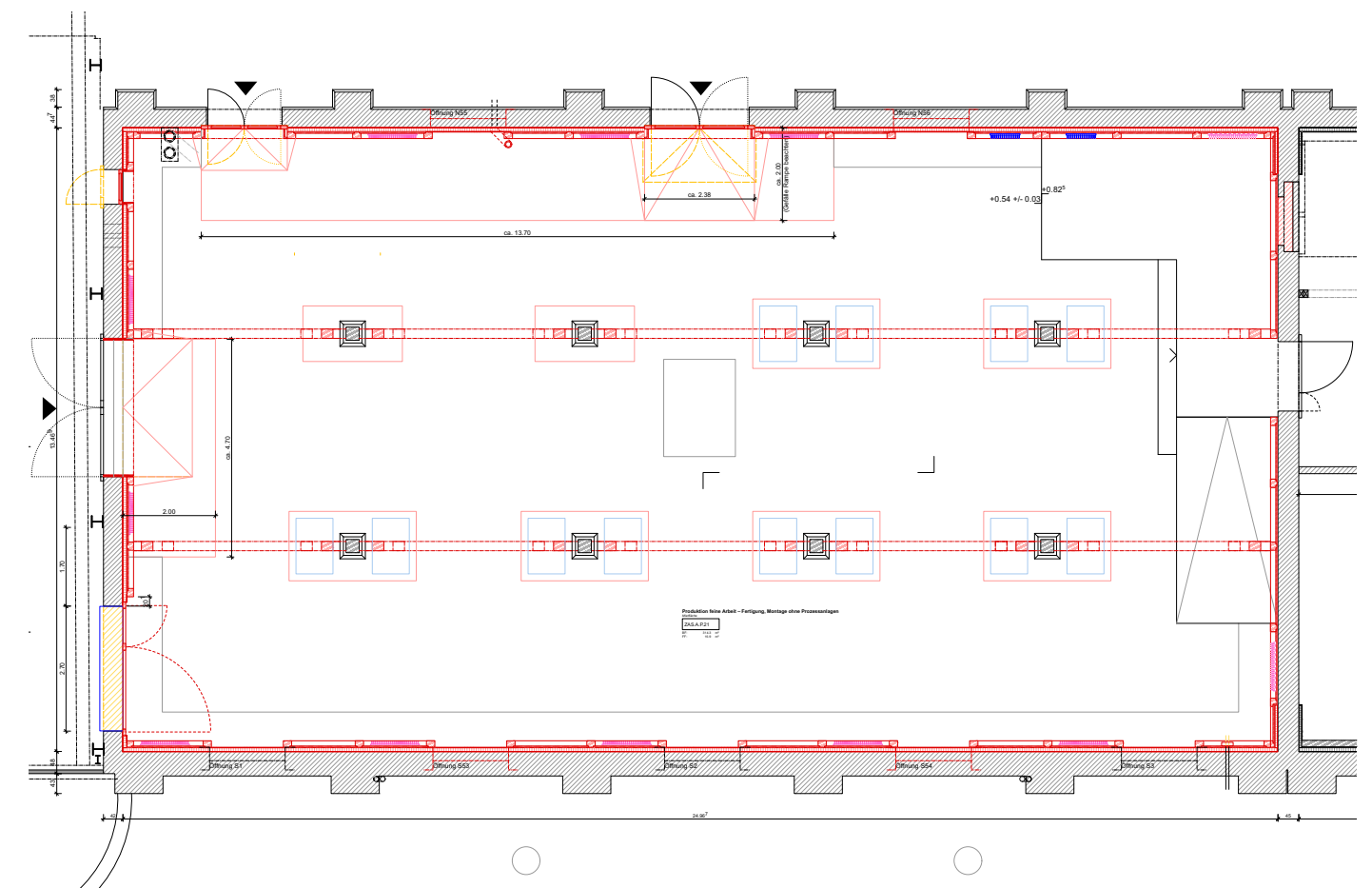
## 9.1 REVISIONSPLÄNE ARCHITEKTUR

(alle Pläne Architektur ©baubüro in situ)

Längsschnitt B-B - Stand Revision

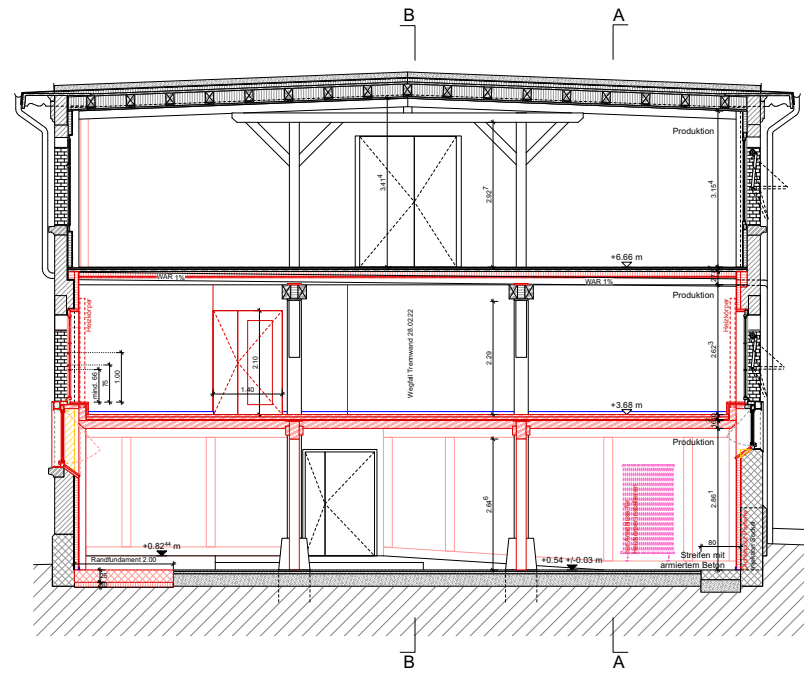


Grundriss Erdgeschoss/Parterre - Stand Revision

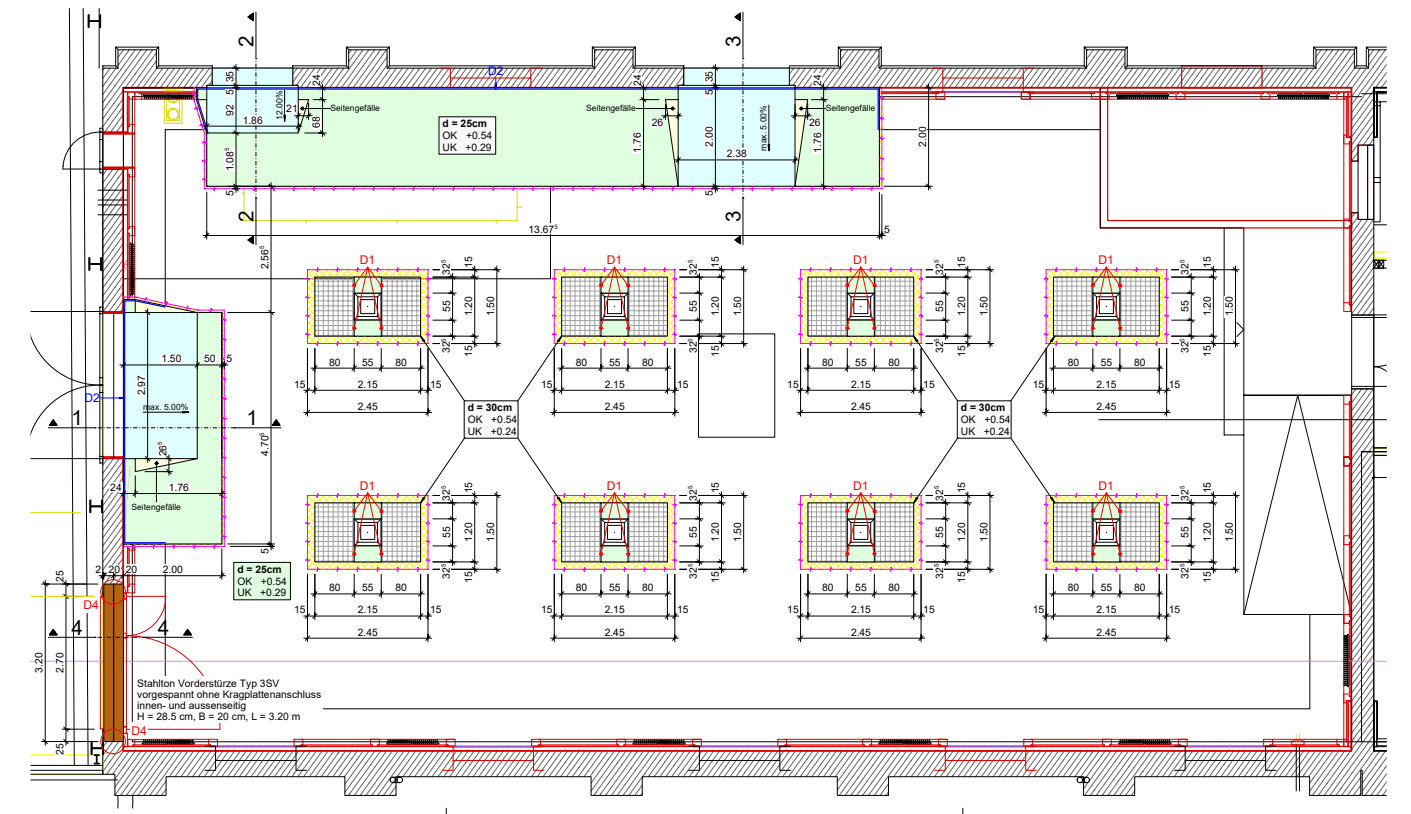


## 9.2 SCHALUNGSPLÄNE BAUINGENIEUR

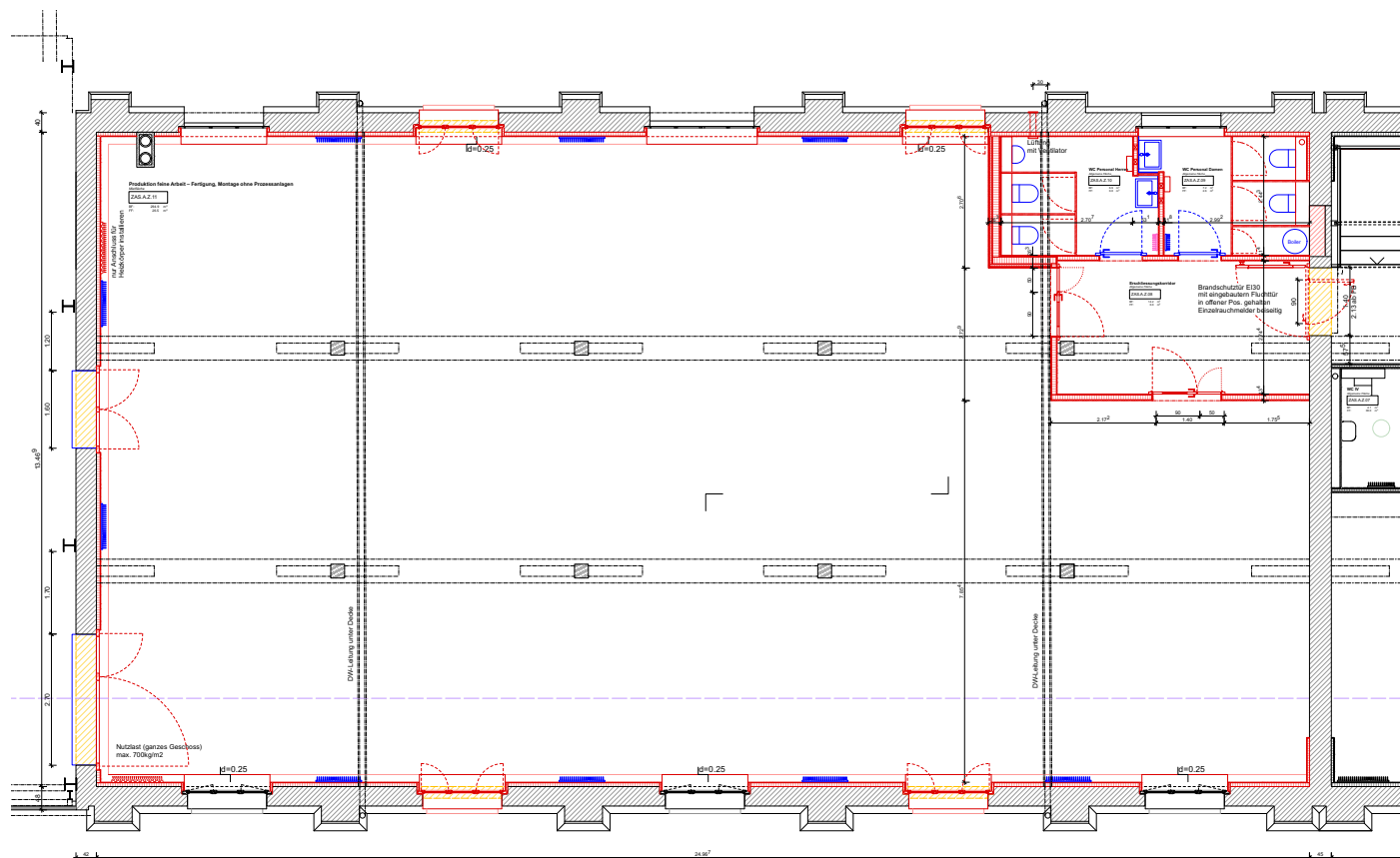
Querschnitt G-G - Stand Revision



Grundriss Erdgeschoss/Parterre - Stand Ausführung (©Flückiger Bosshard)



Grundriss Zwischengeschoss - Stand Revision









## 1 Ausgangslage

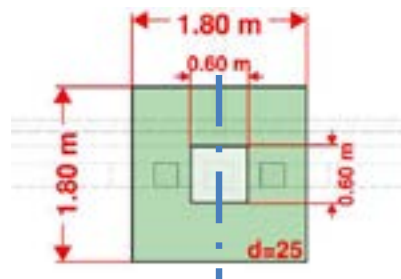
Ziel dieses Projektes war, möglichst ressourcenschonende Umbauarbeiten zu realisieren. In der Projektierungsphase basierte die ursprüngliche Idee für neue Fundamente, die jeweils ein Paar schräger Holzstützen für das neue Zwischengeschoss aus Holz tragen, auf einer Betonrezeptur aus wiederverwendetem Zuschlagsmaterial. Im Fachjargon: Recyclingbeton.

Gemäss Nutzungsvereinbarung müssen die neuen Betonblöcke eine Nutzlast von 10kN/m<sup>2</sup> tragen, die schräge Punktlast pro Holzstütze beträgt 100kN (charakteristisches Niveau).

Die berechneten monolithischen Abmessungen betragen 180x180x25cm mit einer 60x60cm grossen Öffnung um bestehende Natursteinsockel, auf denen bestehende Stützen stehen.



Die Verwendung von Recyclingbeton war jedoch noch zu wenig ressourcenschonend und es entstand die Idee, aus Abbrüchen stammende Betonplatten als Ganzes wiederzuverwenden. Im Fachjargon: Re-use. Wegen der zentralen bestehenden Stütze, waren 1-teilige Fundamentplatten nicht möglich und es wurden als Erstes 2-teilige mit knirscher Kontaktfuge gesucht, auf denen jeweils eine neue Schrägstütze steht.



Um die Suche nach geeigneten Betonteilen zu erleichtern, wurden einige Varianten berechnet und die Parameter eingegrenzt: Betonqualität, Grösse, Dicke, Bewehrungsgehalt, Bewehrungsüberdeckung.

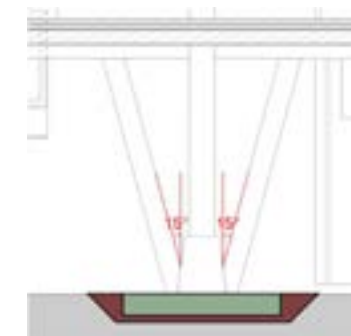
Insbesondere der Bewehrungsüberdeckung wurde grosse Aufmerksamkeit geschenkt, handelt es sich ja hier um erdberührte Bauteile mit fertiger Oberfläche:

- Mindestbewehrung von Ø12/150mm für alle vier Lagen.
- Betonüberdeckungen: mind. 35mm bei der erdberührten Seite und mind. 30mm an der oberen Seite.



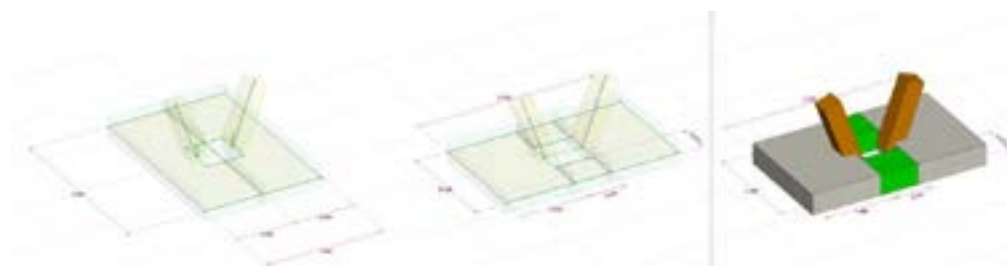
## 2 Entwicklung und Ausführung

1. Die Fundamente stehen auf einer künstlichen Auffüllung mit geringen zulässigen Bodenpressungen, welche – neben den geometrischen Anforderungen – die Fundamentabmessungen bestimmen.
2. Die neuen Holzstützen sind in der Vertikalen um etwa 15 Grad geneigt und am inneren Rand der Fundamente gelagert. Dies drückt zwar horizontal die beiden Hälften zusammen, verursacht aber andererseits lokal hohe Bodenpressungen und ein 'Einknicken' der Fundamenthälften.



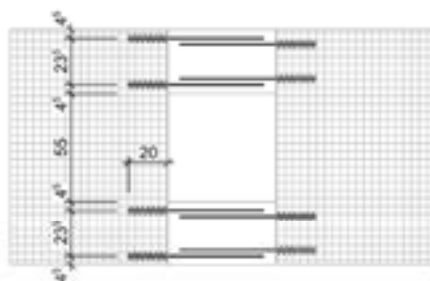


3. Aus obigen Gründen, zum Ausgleich von Toleranzen und um ein Ausschneiden des mittigen Natursteinsockels aus den rechteckigen Betonplatten zu vermeiden, wurde eine breite, bewehrte mit Beton vergossene Verbindung der Betonblöcke gewählt und das Prinzip der knirschen Kontaktfuge verworfen.

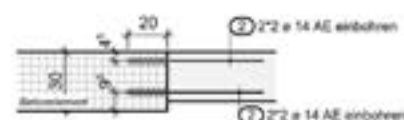
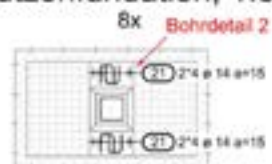


Die Verbindung zwischen den beiden Blöcke erfolgt dabei mit eingeklebten Anschlussseisen Hilti HIT RE500 und Verguss mit Recyclingbeton Typ RC-C, NPK C – EvopactPLUS mit rezyklierten Zementanteil. Dies hat es ermöglicht, von zwei Betonblöcken von je 150x100x30cm auszugehen, die durch eine vergossene Fuge von 55x50x25cm verbunden sind. Gesamtabmessung 255x150x25-30cm.

Detail 2, 1:20  
Verbindung Betonelement-Fundament

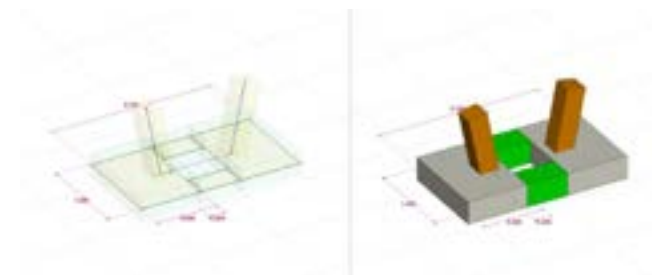


Stützenfundation, 1:50



AE ø 14, in Betonelement einbohren,  
mit Hilti HIT RE500  
Bohrlochdurchmesser  $d_b = 16\text{mm}$   
Bohrtiefe  $t_b = 20\text{cm}$

4. Durch die Verschiebung der schrägen Holzstützen um ca. 20cm aus der Mitte konnten letztlich die Abmessungen der Fundamente auf 215x120x25-30cm reduziert werden.



5. Die neuen Fundamente, die in die bestehende 3cm dicke 'Bodenplatte' eingebaut werden, sind nicht mit dieser verbunden.



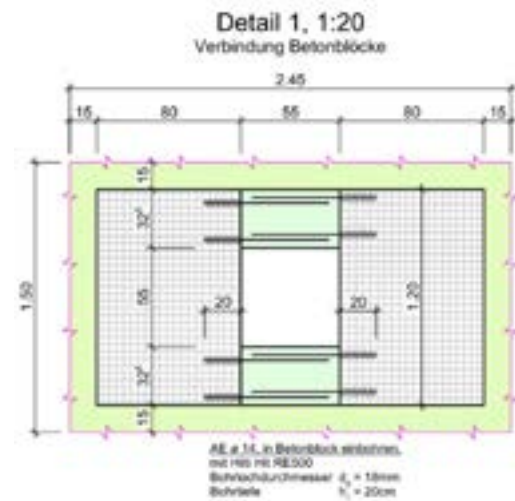
6. Die Betonblöcke sind gefräste Teile mit glatten Schnittflächen, die bearbeitet werden müssen:

- Aufrauen für eine gute Haftung mit dem Vergussbeton
- Gewährleistung eines genügenden Korrosionsschutzes der geschnittenen Bewehrungseisen

Statt die Bewehrungseisen einzeln ca. 4cm freizulegen, zurückzuschneiden und wieder mit Mörtel zu reprofilierten, entschied man sich für die Behandlung der Schnittflächen mit zementösem Korrosionsschutzanstrich und anschliessender Mörtelüberdeckung mit mind. 35mm, die gleichzeitig die Fuge Fundament – bestehende Betonplatte verschloss.

Um die Betonblöcke in die vorbereitete Bodenplattenöffnung einbringen zu können, wurde eine Verbreiterung von ca. 15cm pro Seite vorgesehen. Die gesamte Aushubsohle wurde mit dem Magerbeton vorbereitet und mit einer Ausgleichsschicht aus Sand eingeebnet. Der breitere Magerbeton als Untergrund bringt zusätzlich eine statische Verbesserung der Bodenpressung.





7. Bei den Aushubarbeiten wurden Fundamentvorsprünge freigelegt. Diese bestehen aus einem Stampfbetonblock der auf jeder Seite des Fundaments etwa 7-8cm vorsteht.



Diese Entdeckung hatte eine Verschiebung der Betonblöcke mit den Auflagerpunkten der Holzstützen zur Folge, die Statik musste erneut angepasst und überprüft werden. Die veränderten Kräfteflüsse blieben jedoch ohne Auswirkung auf die Geometrie der bereits gelieferten Betonblöcke.

### 3 Würdigung

Für die Ausführung gab es einen Plan B: Falls die Betonblöcke nicht verfügbar und zum fixierten Termin auf der Baustelle sein sollten, wären die Fundamente in Ortbeton gegossen worden oder mit anderen Worten: das Bauprogramm wäre für die Verwendung von Re-use-Betonblöcken nicht angepasst worden. Schliesslich wurden zwei der acht Fundamente vor Ort betoniert.

Für die Planung und den Baumeister bedeutete dieses Vorgehen einen erhöhten Aufwand, anstelle eines Fundamenttyps mussten unzählige Typen – je nach Verfügbarkeit von Betonblöcken – gesucht, gefunden, berechnet und beurteilt und letztlich auch die schrägen Holzstützen angepasst werden.

Bei den Fundamenten entstanden im Vergleich zu Ortbetonfundamenten baulich 4-fache Mehrkosten durch die Fugen- und Korrosionsschutzmassnahmen. Weil der Anteil der Fundamente im Verhältnis zum Gesamtumbau jedoch gering ist, können alle Beteiligten mit gutem Gefühl und gewissem Stolz auf das Entwickelte und Erreichte zurückblicken.

Zürich, 2. Juni 2022

Flückiger + Bosshard AG

Christian Della Tommasa Mario Knaus