

8 Nachhaltige* Betonbauten

8.1 Bedeutung des Bauwesens

*Fokus: Treibhausgasemissionen & Ressourcenverbrauch

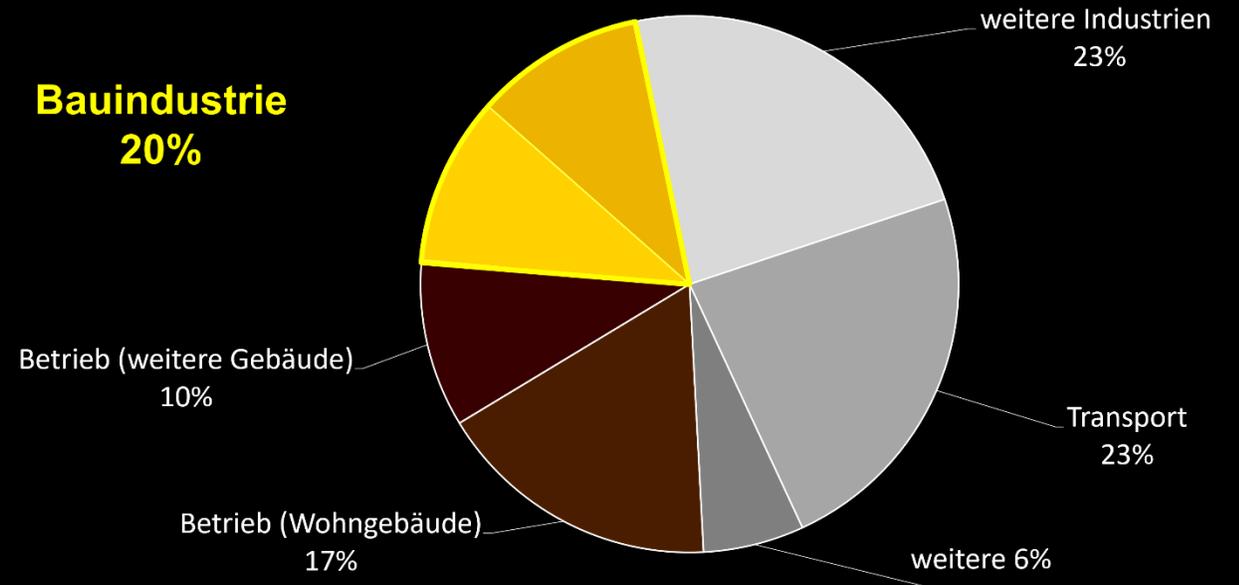
Bedeutung des Bauwesens

Die Bauindustrie ist je nach Quelle für ca. **20 % der globalen Treibhausgasemissionen** direkt verantwortlich. Dies ist mit den durch Mobilität verursachten Treibhausgasemissionen vergleichbar.

Auch bezüglich **Ressourcenverbrauch**, **Energieverbrauch** und **Abfallproduktion** spielt das Bauwesen eine gewichtige Rolle.

Erschwerend kommt hinzu, dass davon ausgegangen wird, dass sich die benötigte Nutzfläche bis 2060 aufgrund des steigenden Lebensstandards (vor allem in Afrika und Asien) verdoppeln wird.

Das Bauwesen muss also bei steigendem Bedarf an Nutzfläche und Infrastruktur Treibhausgasemissionen und Ressourcenverbrauch signifikant reduzieren.



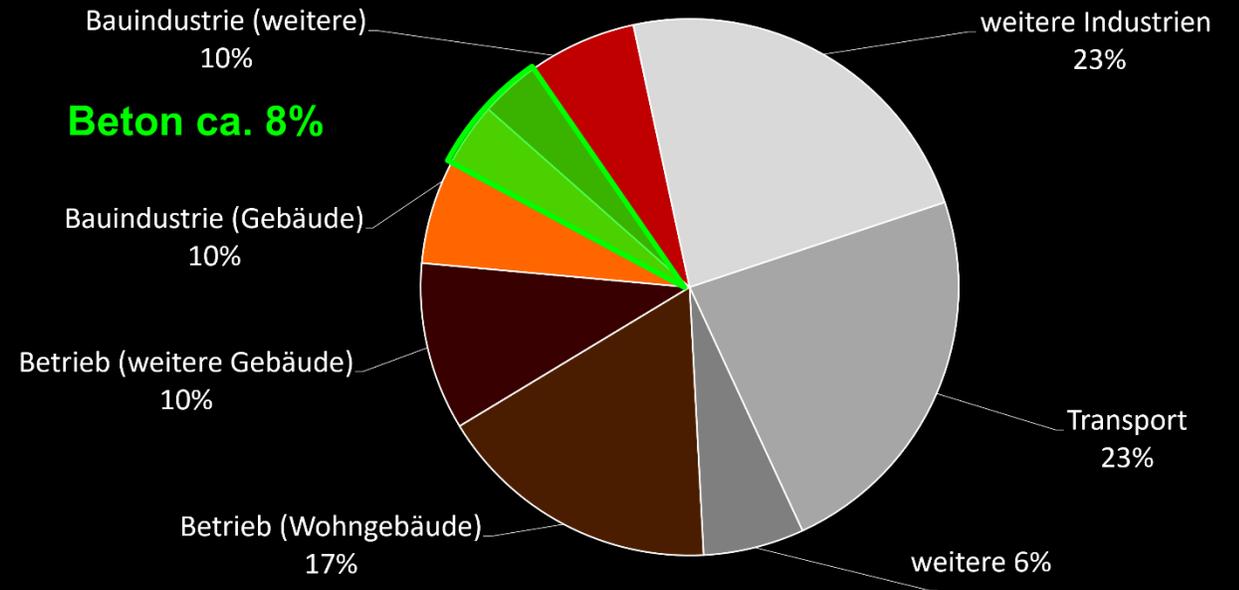
Bedeutung des Bauwesens

Die Bauindustrie ist je nach Quelle für ca. **20 % der globalen Treibhausgasemissionen** direkt verantwortlich. Dies ist mit den durch Mobilität verursachten Treibhausgasemissionen vergleichbar.

Auch bezüglich **Ressourcenverbrauch**, **Energieverbrauch** und **Abfallproduktion** spielt das Bauwesen eine gewichtige Rolle.

Erschwerend kommt hinzu, dass davon ausgegangen wird, dass sich die benötigte Nutzfläche bis 2060 aufgrund des steigenden Lebensstandards (vor allem in Afrika und Asien) verdoppeln wird.

Das Bauwesen muss also bei steigendem Bedarf an Nutzfläche und Infrastruktur Treibhausgasemissionen und Ressourcenverbrauch signifikant reduzieren.



Bedeutung des Bauwesens

Die immense Bedeutung des Bauwesens (und damit einhergehend die Verantwortung, die man als Tragwerksplanende:r trägt), kann mit folgender Statistik verdeutlicht werden, welche den möglichen Einfluss von Tragwerksplanenden zeigt:



8 Nachhaltige Betonbauten

8.2 Bedeutung von Stahlbeton

Bedeutung von Stahlbeton

Beton ist (nach Wasser) das weltweit **meistverwendete Material**:

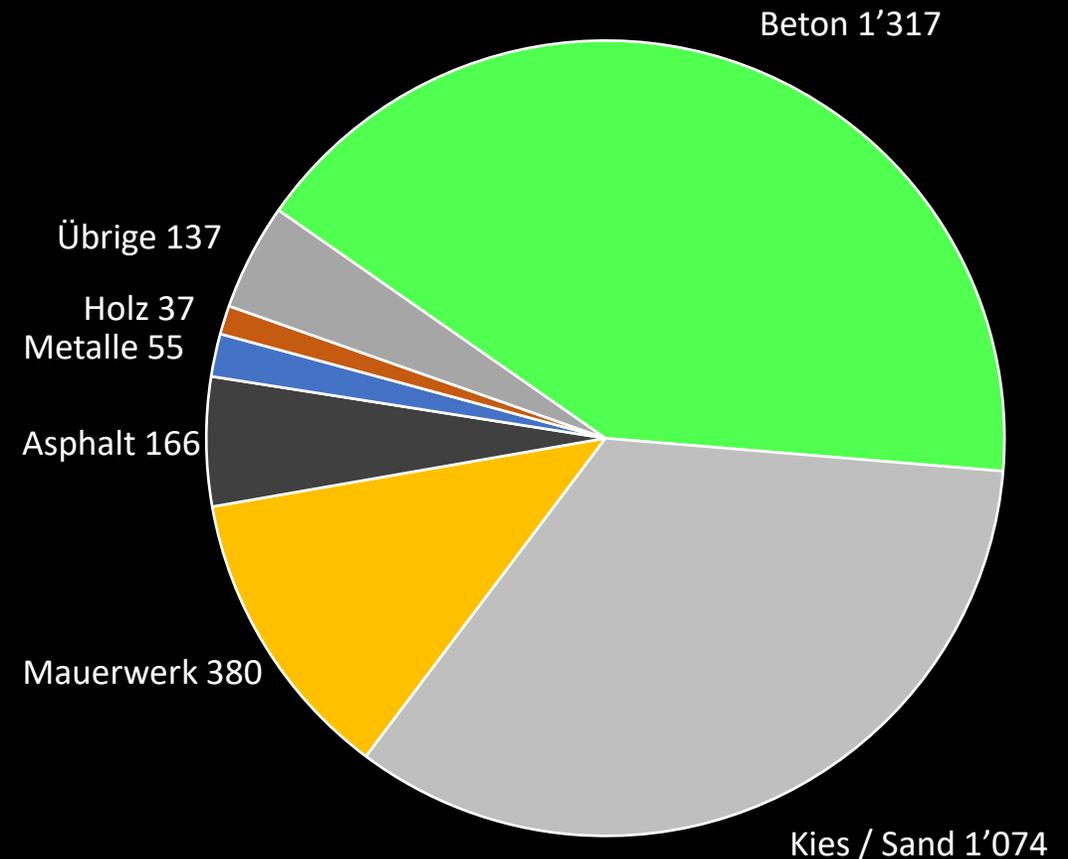
- Weltweiter Betonverbrauch 2009 ca. $15 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- CH Betonverbrauch 2018 ca. $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
 - pro Kopf Betonverbrauch ca. $2 \dots 3 \text{ m}^3/\text{a}$
($7.7 \cdot 10^9$ resp. $8.6 \cdot 10^6$ Bewohner)

Pro m^3 Beton werden ca. 100 kg **Betonstahl** verwendet:

- CH Bewehrungsverbrauch 2018 ca. $1.6 \cdot 10^6 \text{ t/a}$
 - pro Kopf Betonstahlverbrauch ca. 200 kg/a

Stahlbeton ist die mit Abstand am meisten verbreitete Bauweise für tragende Bauteile.

**Bauwerksbestand Schweiz in Mio. t
(Stand 2015)**



Bedeutung von Stahlbeton

Beton ist (nach Wasser) das weltweit **meistverwendete Material**:

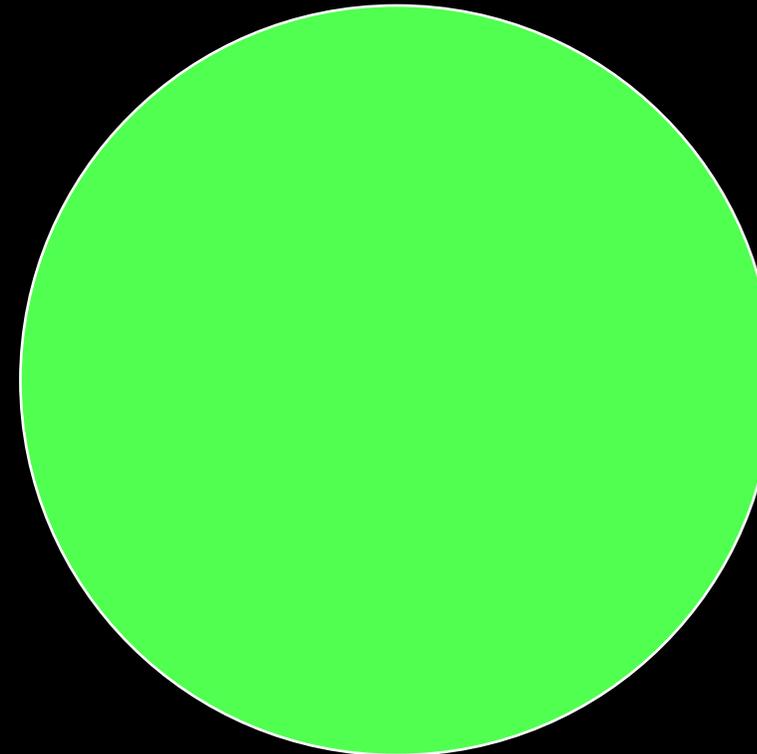
- Weltweiter Betonverbrauch 2009 ca. $15 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- CH Betonverbrauch 2018 ca. $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
 - pro Kopf Betonverbrauch ca. $2 \dots 3 \text{ m}^3/\text{a}$
($7.7 \cdot 10^9$ resp. $8.6 \cdot 10^6$ Bewohner)

Zum Vergleich

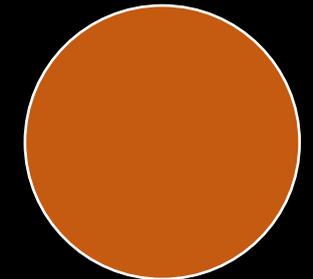
- Weltweite Bauholzproduktion 2020 ca. $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ /a

Durch die grosse Verbreitung von Beton ist es schlicht nicht möglich (und auch nicht sinnvoll), Beton komplett durch alternative Baustoffe zu ersetzen.

Weltweiter
Betonverbrauch 2009



Weltweite
Bauholzproduktion 2020



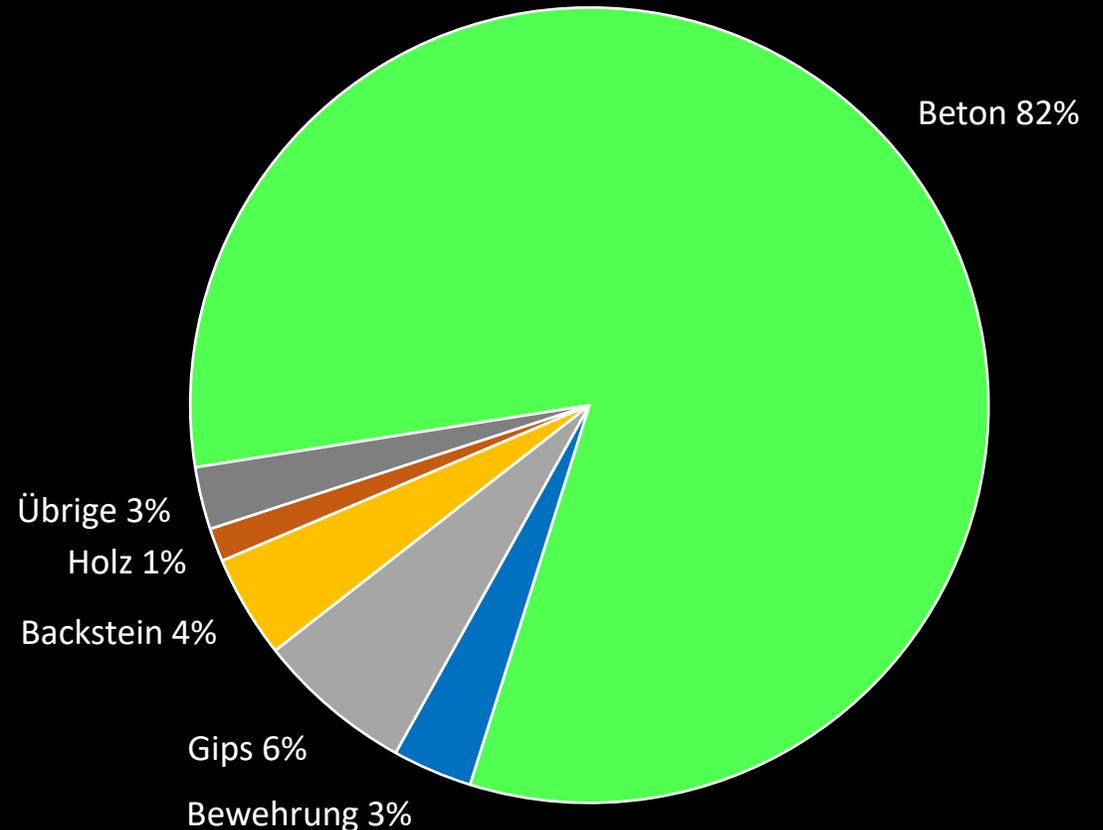
Bedeutung von Stahlbeton

Die Zementproduktion ist (je nach Quelle) für bis zu **8% der weltweiten Treibhausgasemissionen** (primär CO₂) verantwortlich.

Für die hohen Treibhausgasemissionen der Betonbauweise ist primär ihre **grosse Verbreitung** verantwortlich.

Der Vergleich von Massen- und CO₂-Bilanz (Abbildungen auf dieser und nächster Folie) zeigt, dass die Emissionen von Stahlbeton **pro Massen- oder Volumeneinheit effektiv kleiner** sind als bei den meisten anderen Baustoffen.

**Massenbilanz Typisches Gebäude
(Zürich, 2018)**



Bedeutung von Stahlbeton

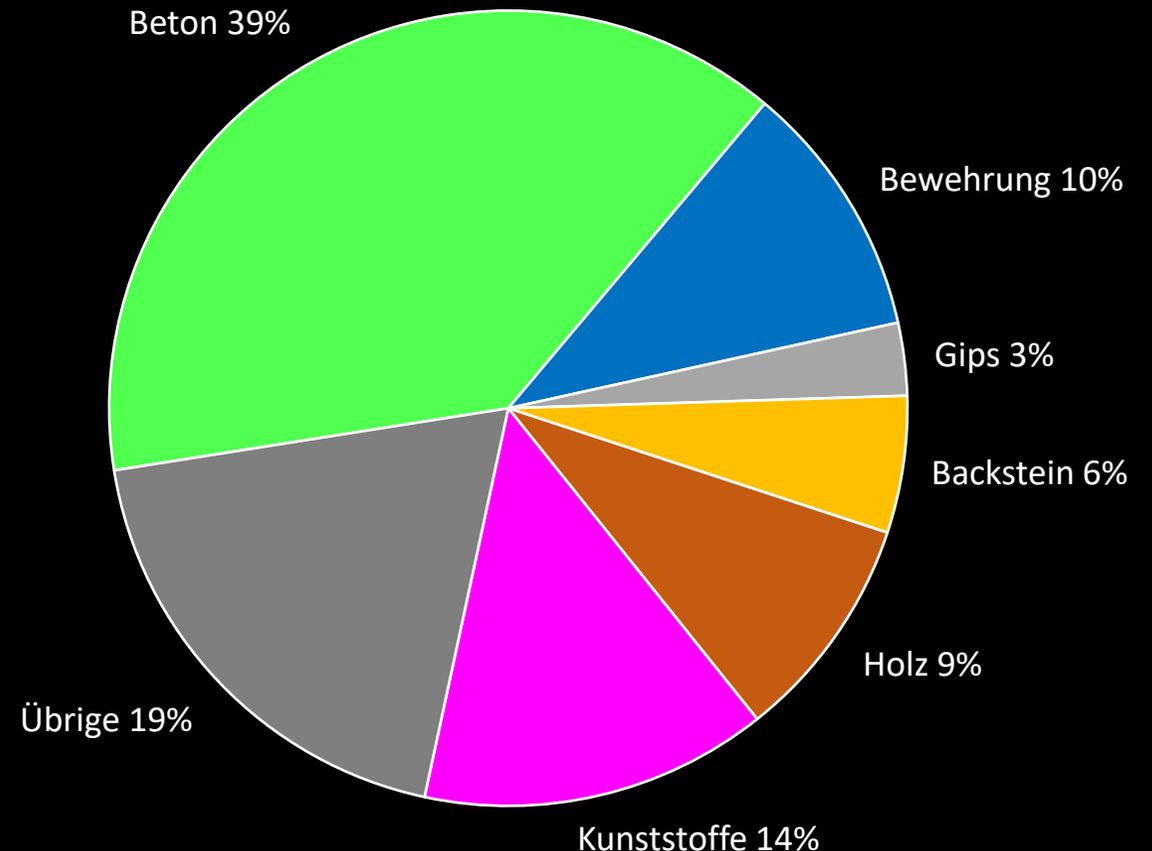
Die Zementproduktion ist (je nach Quelle) für bis zu **8% der weltweiten Treibhausgasemissionen** (primär CO₂) verantwortlich.

Für die hohen Treibhausgasemissionen der Betonbauweise ist primär ihre **grosse Verbreitung** verantwortlich.

Der Vergleich von Massen- und CO₂-Bilanz (Abbildungen auf dieser und letzter Folie) zeigt, dass die Emissionen von Stahlbeton **pro Massen- oder Volumeneinheit effektiv kleiner** sind als bei den meisten anderen Baustoffen.

Erfolgversprechender als alternative Bauweisen sind daher **Lösungsansätze zur Reduktion der Emissionen der Stahlbetonbauweise.**

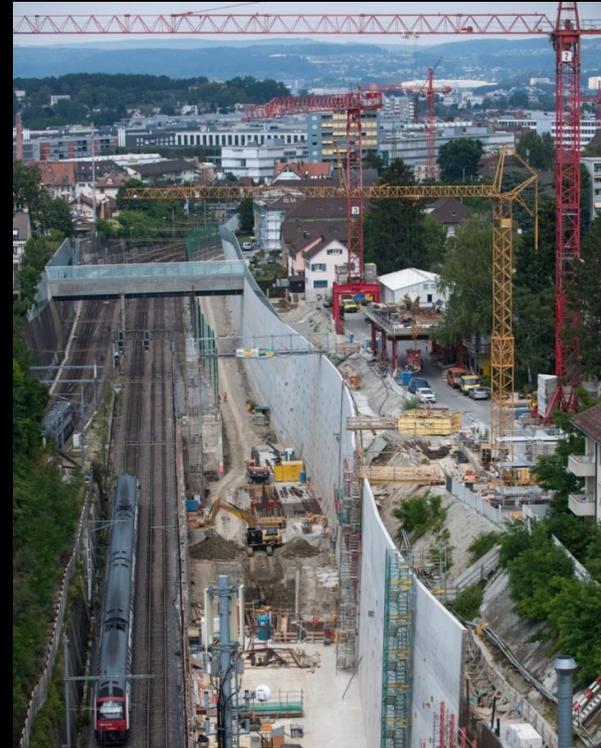
**CO₂-Bilanz Typisches Gebäude
(Zürich, 2018)**



Bedeutung von Stahlbeton

Gründe für die grosse Verbreitung von Stahlbeton:

- Aufgrund seiner Vorteile (Wirtschaftlichkeit, Dauerhaftigkeit, freie Formbarkeit, ...) ist Beton der bevorzugte Baustoff für viele Bauten
- Alternative Baustoffe für viele Anwendungen ungeeignet



8 Nachhaltige Betonbauten

8.3 Konzepte

Konzepte

Da alternative Baustoffe nur ein beschränktes Potential haben, muss Beton Teil der Lösung sein.

Dazu müssen die **Emissionen der Betonbauweise** reduziert werden.

Ein etablierter Ansatz dazu ist der «**5C Approach**» des Cembureau (siehe Abbildung).

Dieser stellt die **Baustoffe** ins Zentrum. Der ebenso wichtige Punkt «**effiziente und dauerhafte Tragwerke**» ist darin zu wenig prominent.



CLINKER

Alternative Brennstoffe zur Klinkerproduktion
CO₂-Abscheidung im Zementwerk
Alternative Klinkertypen

CEMENT

Einsatz klinkerarmer Zemente

CONCRETE

Reduktion Zementgehalt
Rezyklierte Gesteinskörnung

CONSTRUCTION

Effiziente und dauerhafte Bauwerke

CARBONATION

Maximierung CO₂-Aufnahme durch Beton

CO₂-Emissionen CH Zementproduktion in der CH

In Schweizer Zementwerken werden heute **über 2/3 der Energie** aus **alternativen Brennstoffen** bezogen (Altholz, Klärschlamm, Pneus, ...).

Dies ist ein **sinnvoller Einsatz von Abfallverbrennung**: Im Gegensatz zu Fernwärmekraftwerken besteht der Nutzen ganzjährig.

NB. Die Zementwerke müssen dabei die Luftreinhaltevorschriften (Filteranlagen etc.) natürlich ebenfalls einhalten.

CO₂-Anteil aus primär fossilen Brennstoffen pro Tonne Zement



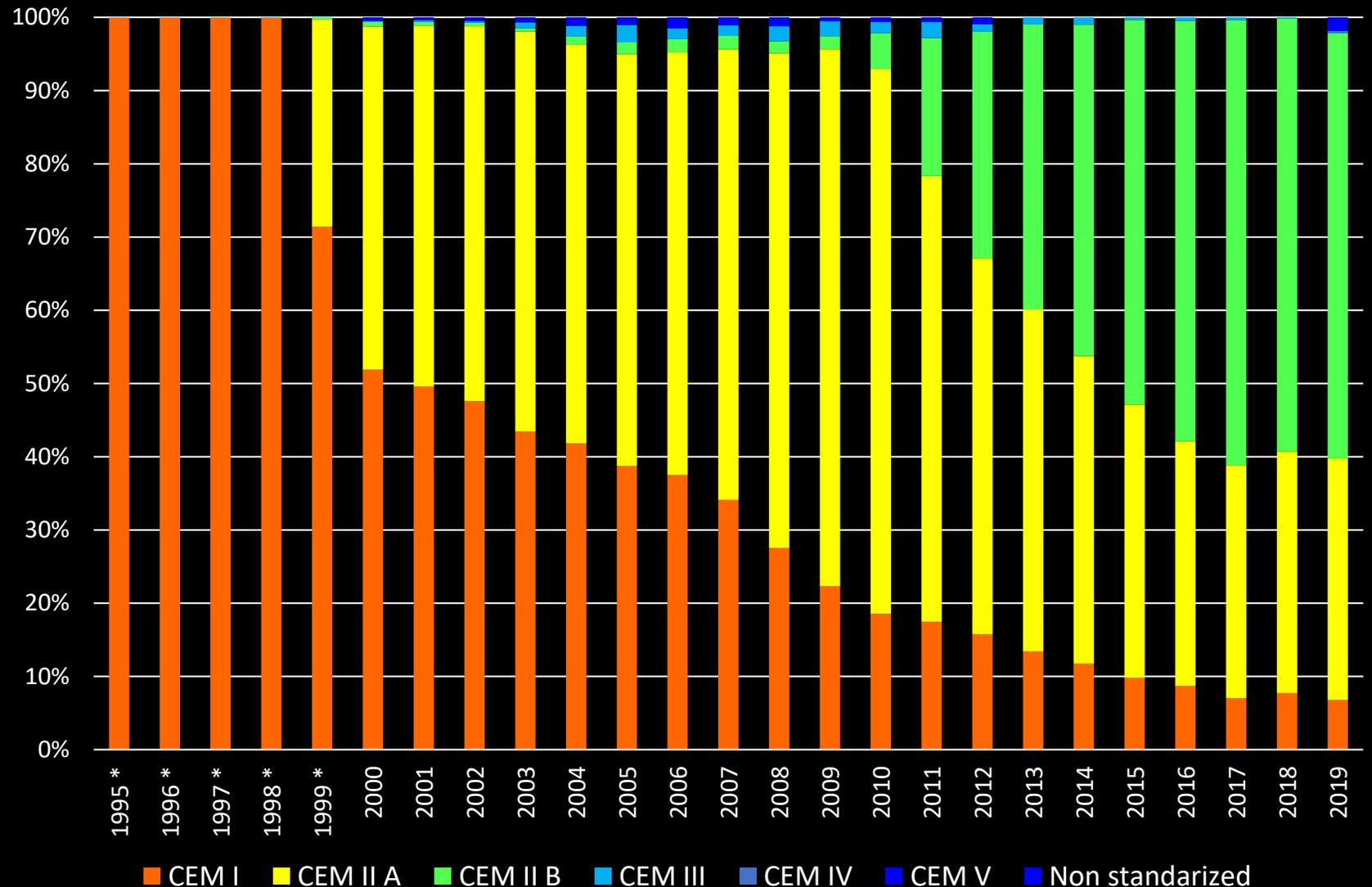
Entwicklung Verbrauch nach Zementsorte

Heute wird in der Schweiz zudem praktisch **kein reiner Portlandzement** (CEM I) mehr eingesetzt, sondern primär CEM II oder III mit wesentlich geringerem Klinkeranteil (siehe Baustoffe / Zementsorten).

Gegenüber einem Beton vor > 20 Jahren resultiert damit eine deutliche **Reduktion der CO₂-Emissionen**.

Pro m³ Beton mit 300 kg Zement betragen die Emissionen heute im Durchschnitt noch **≈160 kg CO₂/m³** anstatt früher **≈ 280 kg CO₂/m³** (Reduktion um > 40%).

In vielen anderen Ländern liegen die Emissionen jedoch noch heute viel höher.



Konzepte

Da alternative Baustoffe nur ein beschränktes Potential haben, muss Beton Teil der Lösung sein.

Dazu müssen die Emissionen der Betonbauweise reduziert werden.

Ein etablierter Ansatz dazu ist der «5C Approach» des Cembureau (siehe Abbildung).

Dieser stellt die Baustoffe ins Zentrum. Der ebenso wichtige Punkt «effiziente und dauerhafte Tragwerke» ist darin zu wenig prominent.

Auf den folgenden Folien wird ein **ganzheitlicher Ansatz** gezeigt, der beide Aspekte gleich behandelt und zusätzlich den **Komfortanspruch** berücksichtigt.



CLINKER

Alternative Brennstoffe zur Klinkerproduktion
CO₂-Abscheidung im Zementwerk
Alternative Klinkertypen

CEMENT

Einsatz klinkerarmer Zemente

CONCRETE

Reduktion Zementgehalt
Rezyklierte Gesteinskörnung

CONSTRUCTION

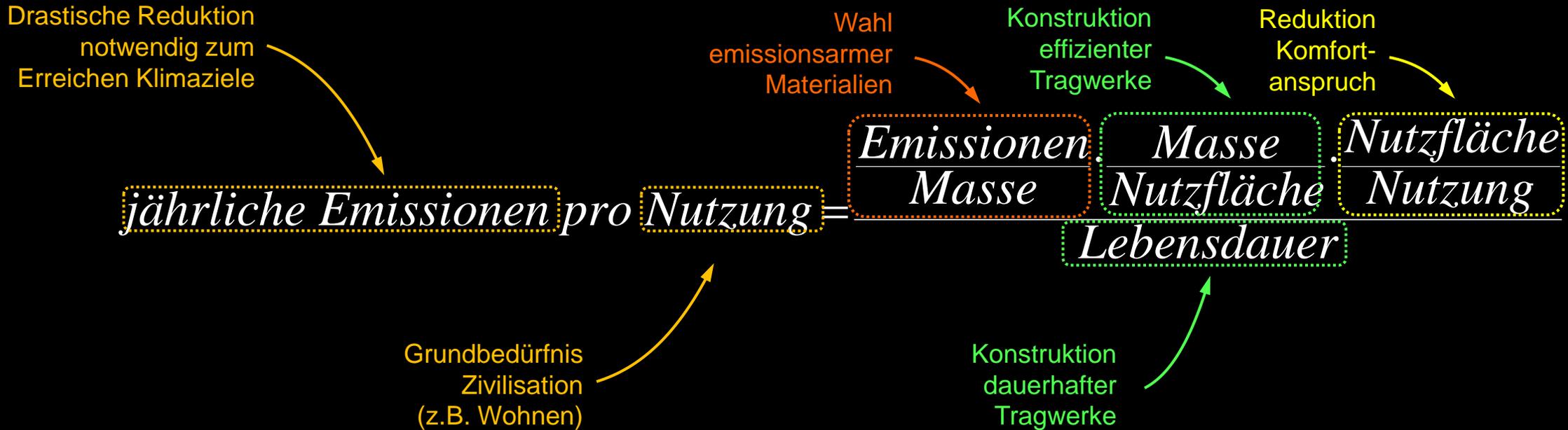
Effiziente und dauerhafte Bauwerke

CARBONATION

Maximierung CO₂-Aufnahme durch Beton

Konzepte

Die jährlichen Emissionen pro Nutzung lassen sich mit folgendem Zusammenhang ausdrücken:



Konzepte

Die jährlichen Emissionen pro Nutzung lassen sich mit folgendem Zusammenhang ausdrücken:

CLINKER
CEMENT
CONCRETE
CARBONATION
Wahl alternative Baustoffe (Holz, Lehm, ...)

$$\text{jährliche Emissionen pro Nutzung} = \frac{\text{Emissionen}}{\text{Masse}} \cdot \frac{\text{Masse}}{\text{Nutzfläche}} \cdot \frac{\text{Nutzfläche}}{\text{Nutzung}} \cdot \text{Lebensdauer}$$

Viele populäre Massnahmen zielen auf den Einsatz von emissionsarmen Materialien.

Neben der der **Wahl von alternativen Baustoffen** ist auch der Einsatz von **Recyclingbeton** eine populäre und sinnvolle Massnahme (Reduktion Abfall aus Bautätigkeit, reduzierte Steifigkeit ist zu beachten).

Konzepte

Die jährlichen Emissionen pro Nutzung lassen sich mit folgendem Zusammenhang ausdrücken:

$$\text{jährliche Emissionen pro Nutzung} = \frac{\text{Emissionen}}{\text{Masse}} \cdot \frac{\text{Masse}}{\text{Nutzfläche}} \cdot \frac{\text{Nutzfläche}}{\text{Nutzung}} \cdot \frac{1}{\text{Lebensdauer}}$$

CONSTRUCTION

CONSTRUCTION

Effiziente und dauerhafte Bauwerke (**CONSTRUCTION**) können massgebend zur Reduktion der Emissionen beitragen. **Hier haben Tragwerksplanende im Allgemeinen den grössten Einfluss.**

8 Nachhaltige Betonbauten

8.4 Lösungsansätze für Tragwerksplanende

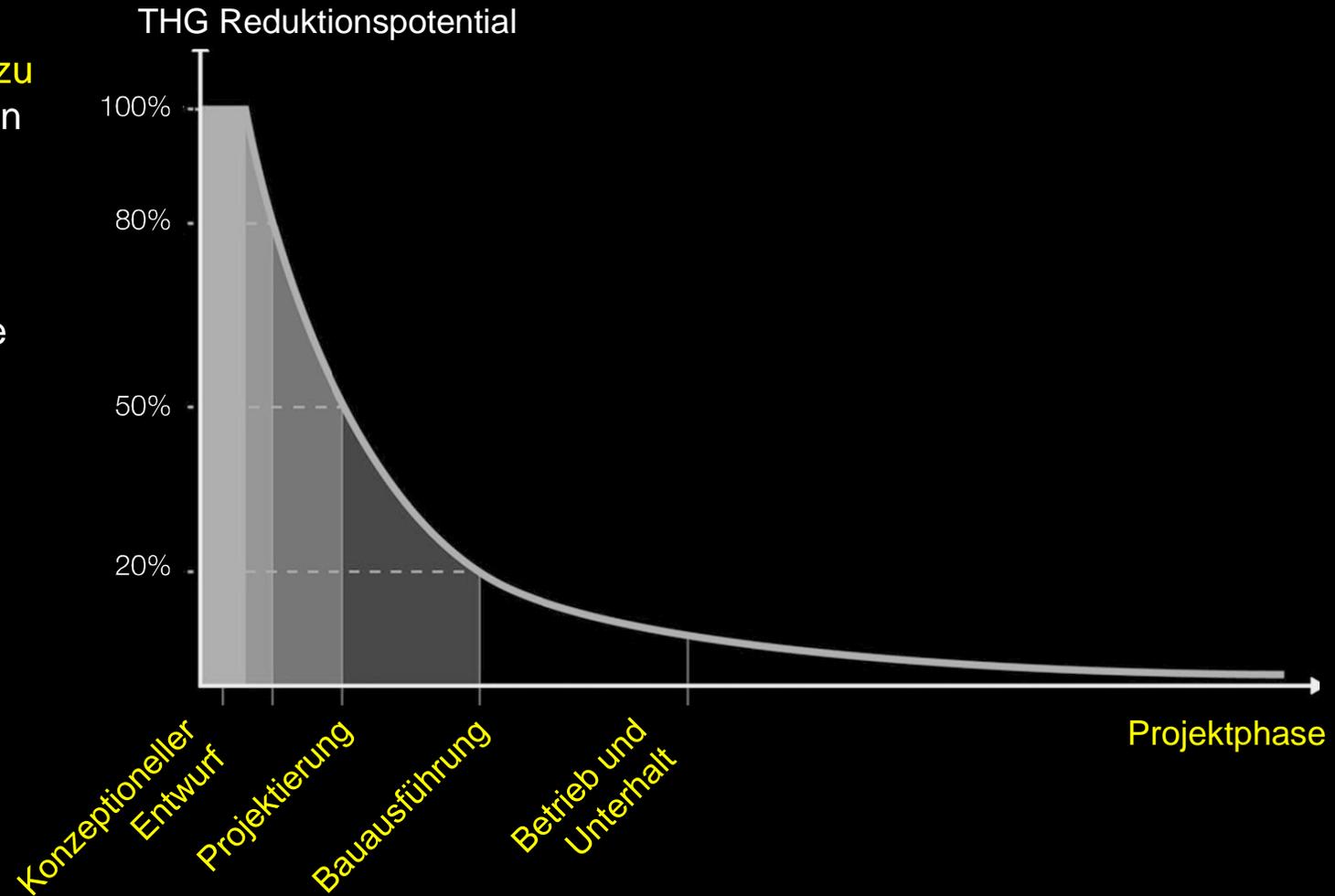
Lösungsansätze für Tragwerksplanende

Das Potential zur Reduktion von Emissionen ist **in frühen Projektphasen am grössten**.

Nachhaltigkeitsüberlegungen müssen daher schon **zu Beginn eines Entwurfsprozesses** einbezogen werden (auch wenn später ebenfalls noch erhebliche Potentiale bestehen).

Mit folgenden **effizienten und praxistauglichen Ansätzen** können (und müssen) Tragwerksplanende dazu beitragen, Emissionen zu verringern:

- **Vermeidung von baulichen Massnahmen** durch Nachrechnen
- **Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung** statt Neubau
- Wahl **effizienter Tragwerke**
- **Optimieren von Abmessungen und Bewehrungsgehalten**
- Konstruktion von **dauerhaften Tragwerken**



Vermeidung von baulichen Massnahmen durch Nachrechnen

Stützmauern mit korrodierter Bewehrung

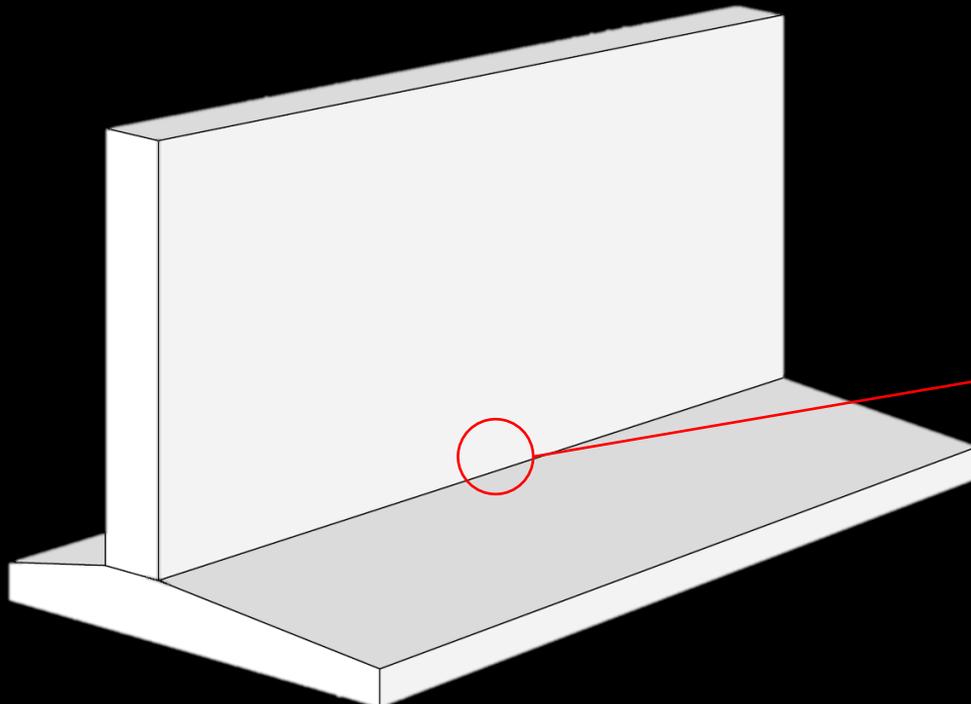
Dissertation Dr. Severin Haefliger an Professur für Massiv- und Brückenbau mit grossmassstäblichen Hybridversuchen und Entwicklung «korrodiertes Zuggurtmodell»

- Verformungsvermögen für Annahme aktiver Erddruck?
- Tragwiderstand bei reduziertem Querschnitt?

Motivation:

- (i) Einsturz einer Stützmauer an Brennerautobahn 2012
- (ii) ASTRA (2014): 38/56 untersuchten Stützmauern aus den Jahren 1960...70 mit schweren Korrosionsschäden
→ Instandsetzungskosten: 150 MCHF

Bestand ASTRA: über 2500 Stützmauern →
Instandsetzungskosten in nächsten 15 a: 800 MCHF



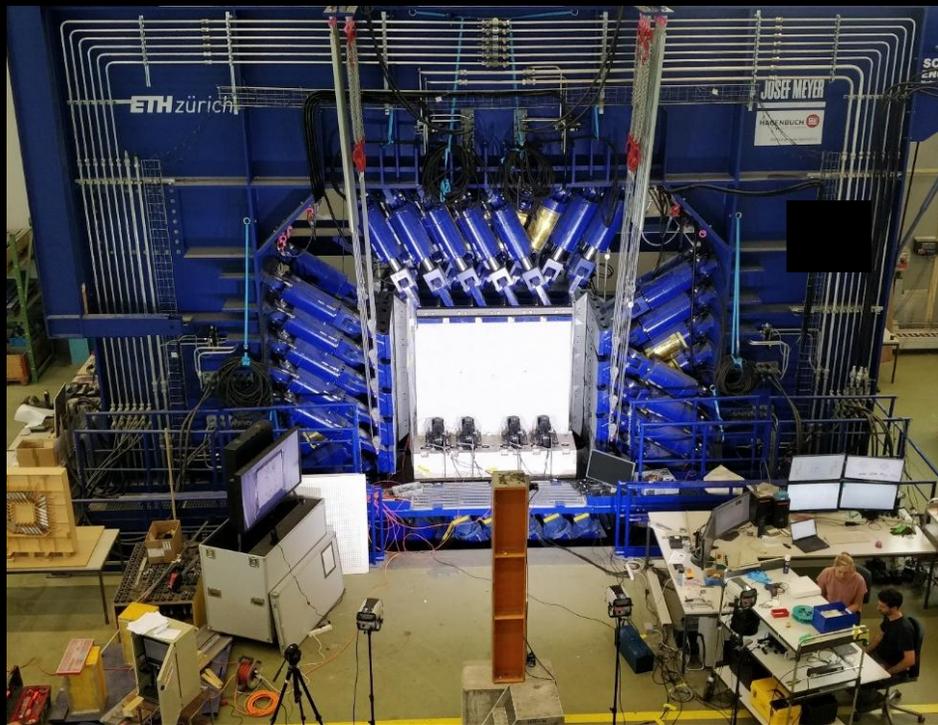
Vermeidung von baulichen Massnahmen durch Nachrechnen

Stützmauern mit korrodierter Bewehrung

Dissertation Dr. Severin Haefliger an Professur für Massiv- und Brückenbau mit grossmassstäblichen Hybridversuchen und Entwicklung «korrodiertes Zuggurtmodell»

→ Verformungsvermögen für Annahme aktiver Erddruck?

→ Tragwiderstand bei reduziertem Querschnitt?



Motivation:

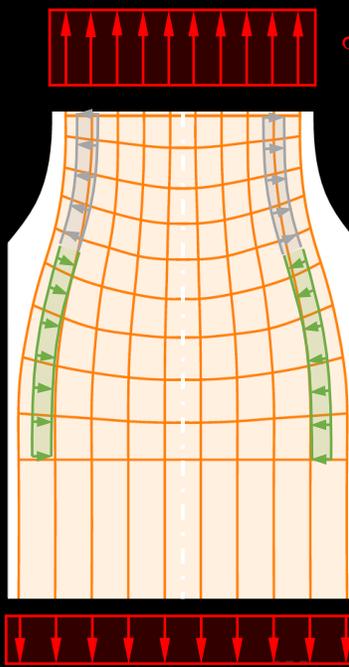
(i) Einsturz einer Stützmauer an Brennerautobahn 2012

(ii) ASTRA (2014): 38/56 untersuchten Stützmauern aus den Jahren 1960...70 mit schweren Korrosionsschäden

→ Instandsetzungskosten: 150 MCHF

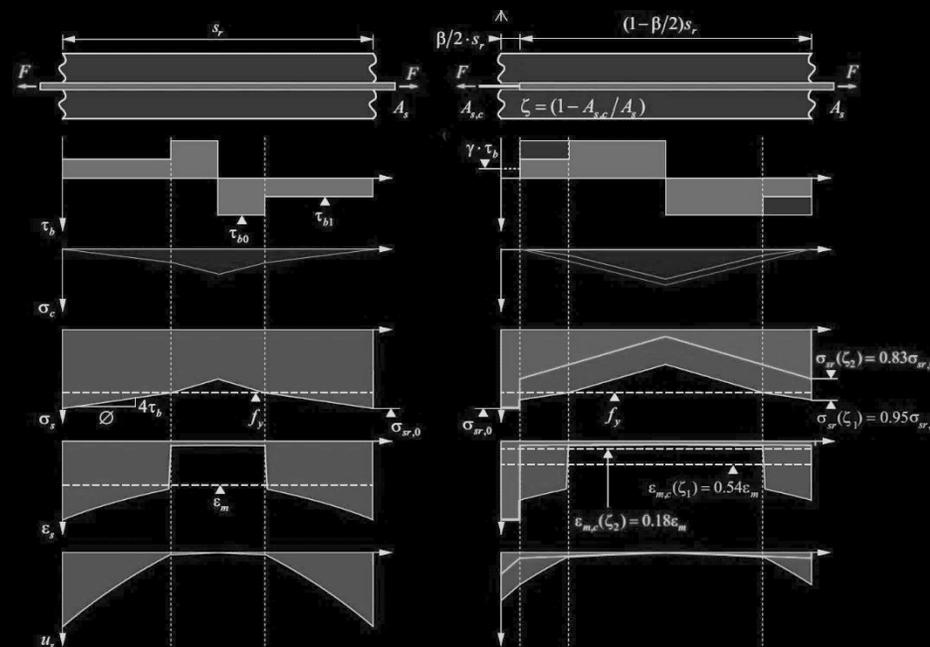
Bestand ASTRA: über 2500 Stützmauern →

Instandsetzungskosten in nächsten 15 a: 800 MCHF



$$\sigma_{s,c} = \frac{F}{A_{s,c}}$$

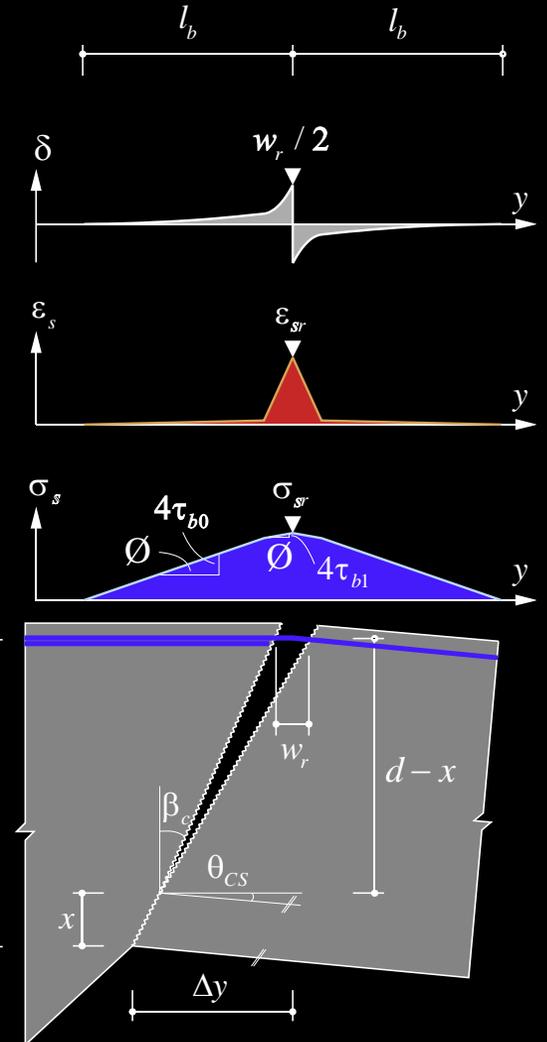
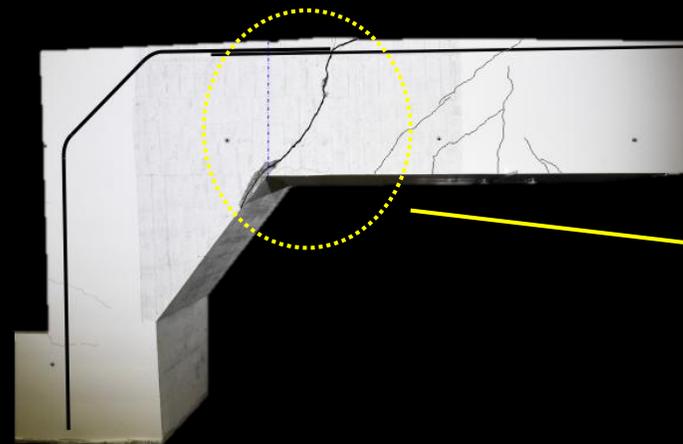
$$\sigma_s = \frac{F}{A_s}$$



Vermeidung von baulichen Massnahmen durch Nachrechnen

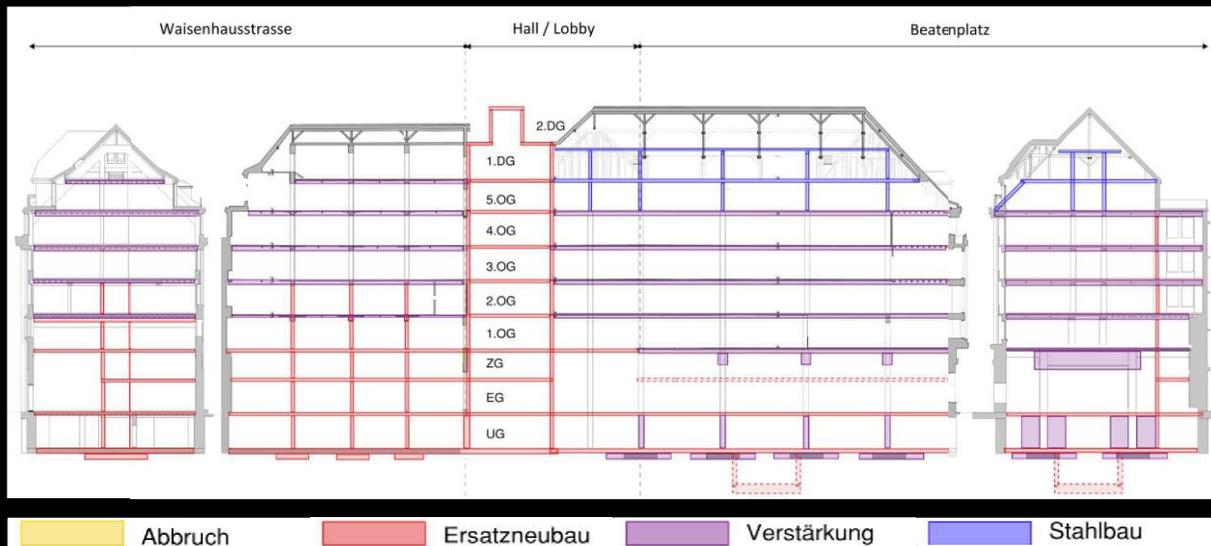
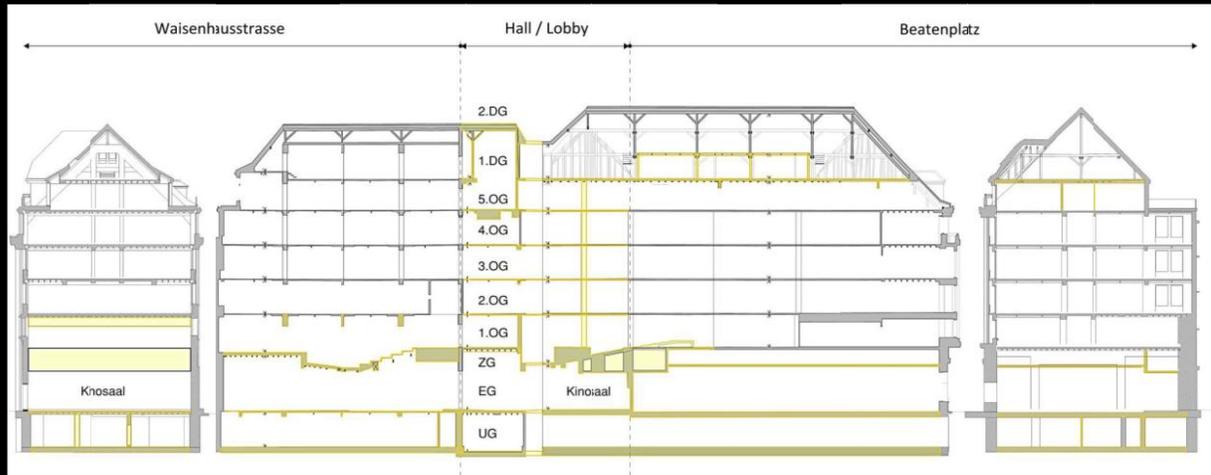
Bahn-Tagbautunnel

Versuche (Massstab 1:1) und nichtlineare FE-Modellierung an Professur für Massiv- und Brückenbau in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro Meichtry & Widmer AG für Nachweis Schubtragfähigkeit von Rahmeneck und Nachweis, dass in diesem Bereich keine Sanierungsmassnahmen notwendig sind.



Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umnutzung / Ertüchtigung Geschäftshaus Du Pont Zürich



Tragwerk:

Dr. Lüchinger + Meyer
Bauingenieure AG

Bauherrschaft:

PSP Properties, Zürich

Architektur:

monoplan, Zürich

Planung:

2017-2019

Realisierung:

2019-2020

Bausumme:

8.7 Mio. CHF (Konstruktion)

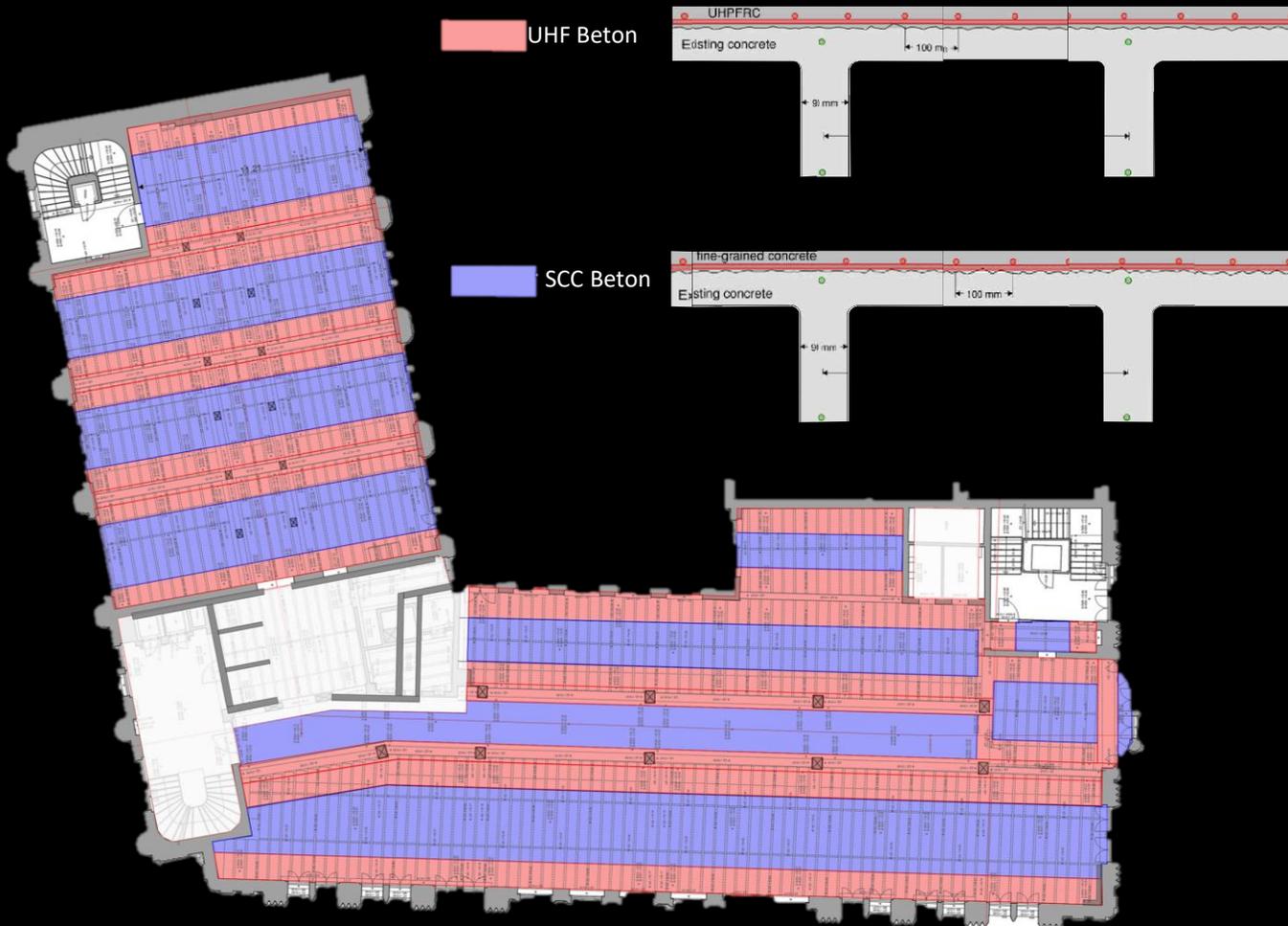


Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umnutzung / Ertüchtigung Geschäftshaus Du Pont Zürich
Verstärkung Bestandesrippendecken

Tragfähigkeitsversuche an Professur für
Strukturmechanik

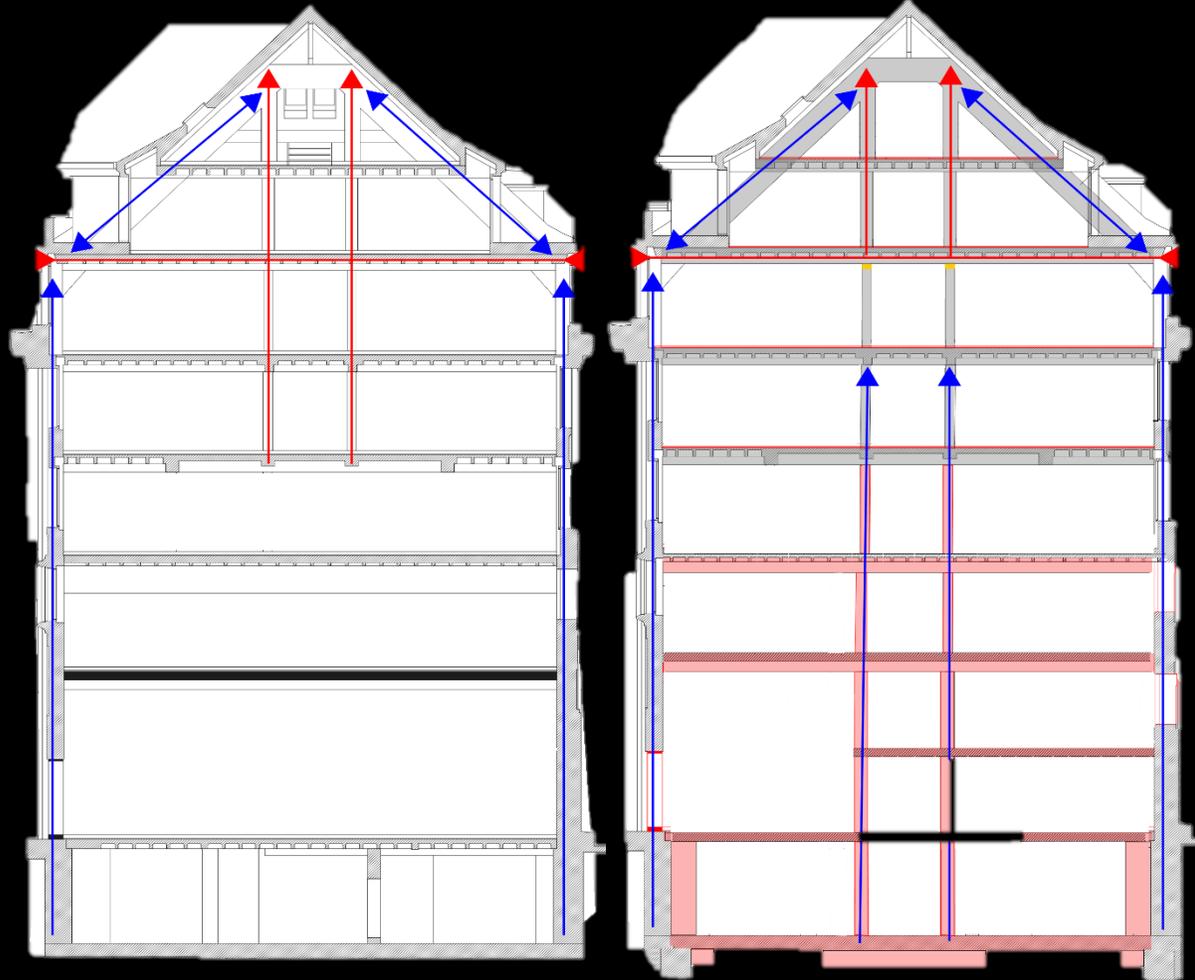


Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

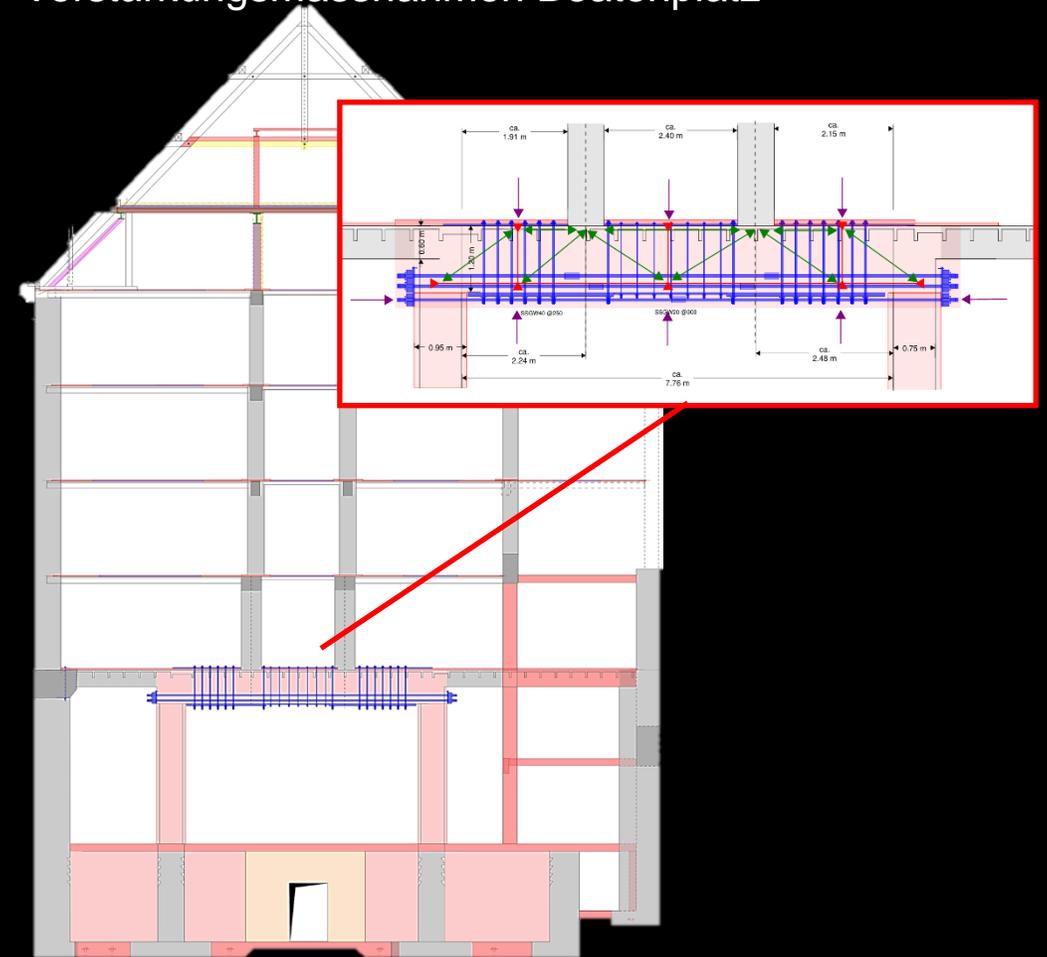
Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umnutzung / Ertüchtigung Geschäftshaus Du Pont Zürich

Verstärkungsmassnahmen Waisenhausstrasse



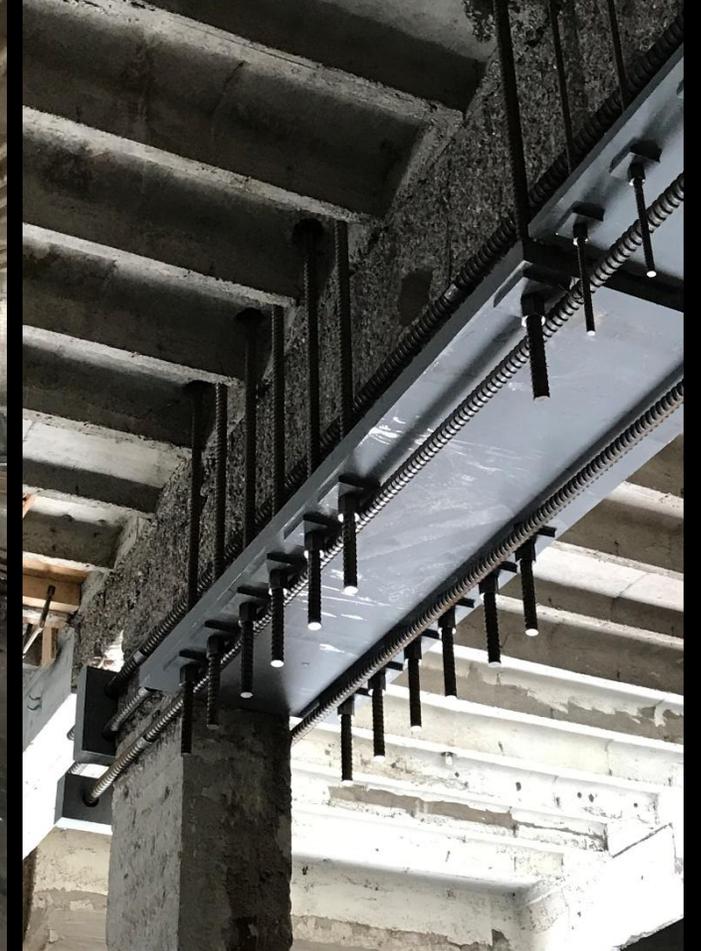
Verstärkungsmassnahmen Beatenplatz



Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

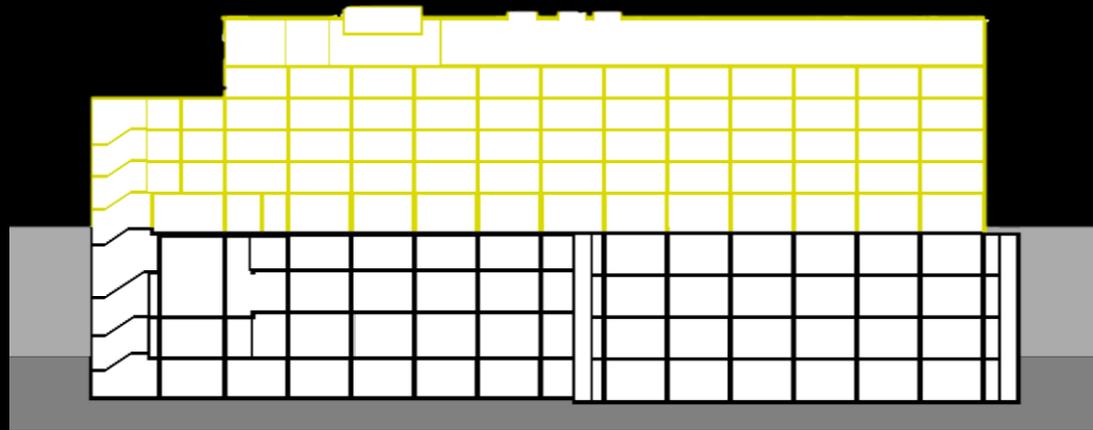
Umnutzung / Ertüchtigung Geschäftshaus Du Pont Zürich



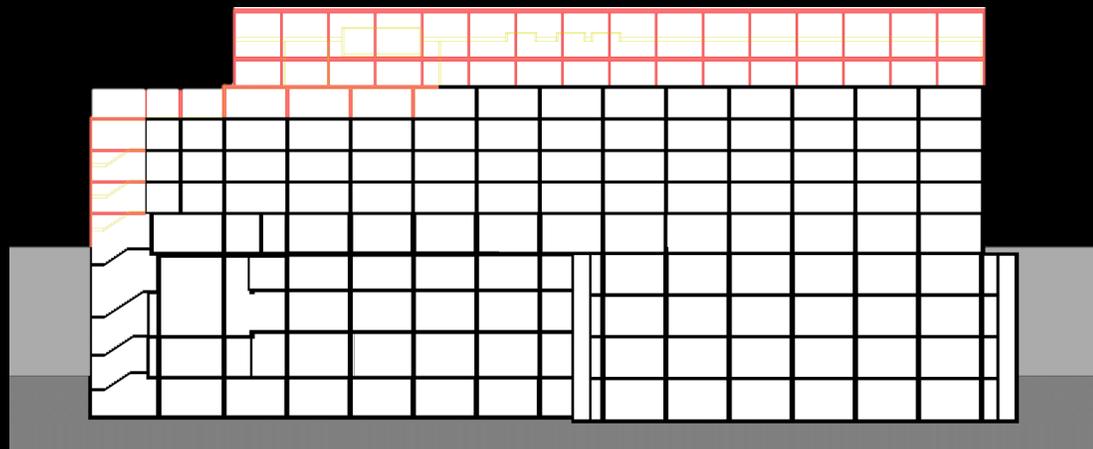
Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umnutzung / Umbau Liegenschaft Paulstrasse, Winterthur

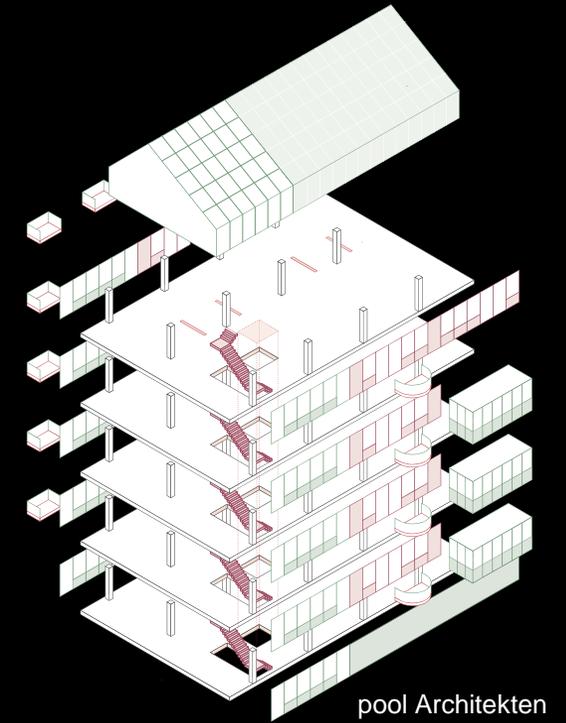


Ausgangslage (Vorgabe Wettbewerb 2022): **Abbruch** alle OG



Arbeitsstand Vorprojekt (2023)

Tragwerk: dsp Ingenieure + Planer AG
Bauherrschaft: AXA Investment Managers Schweiz AG, Zürich
Architektur: pool Architekten, Zürich
Wettbewerb: 2022



Alle Unterlagen dsp Ingenieure + Planer AG

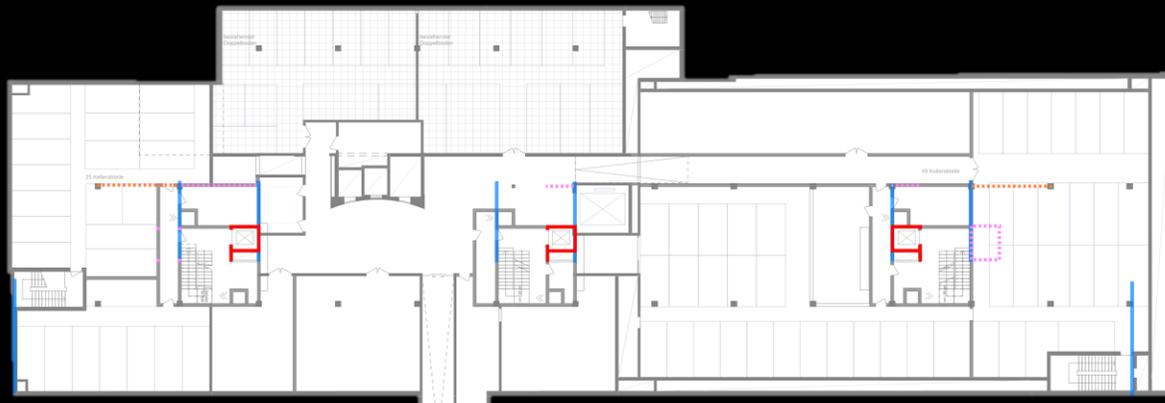
Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umnutzung / Umbau Liegenschaft Paulstrasse, Winterthur

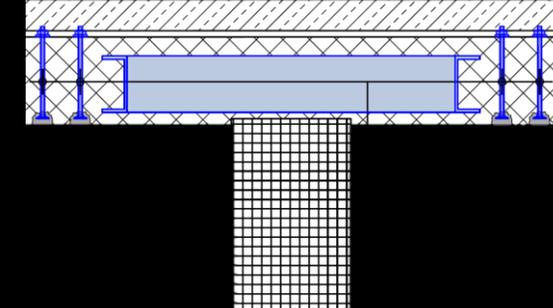
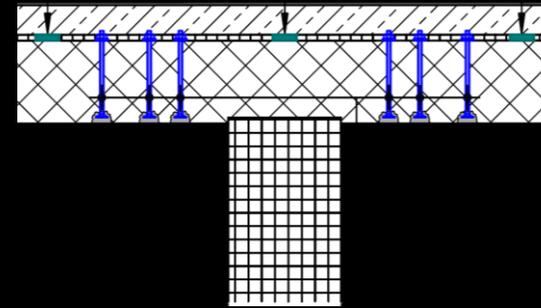
Massnahmenkonzept



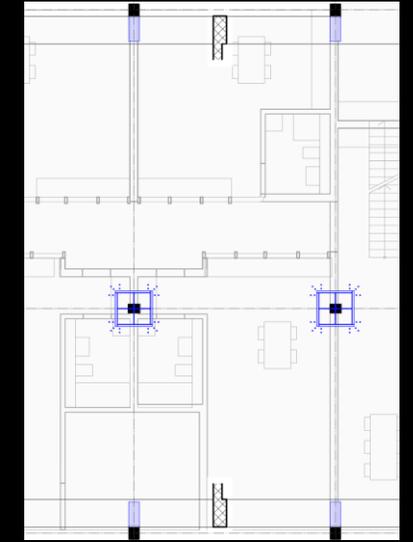
Aufstockung in Leichtbau



Neue Erdbebenwände



Abgabe Wettbewerb



Arbeitsstand Vorprojekt

Ertüchtigung Durchstanzen

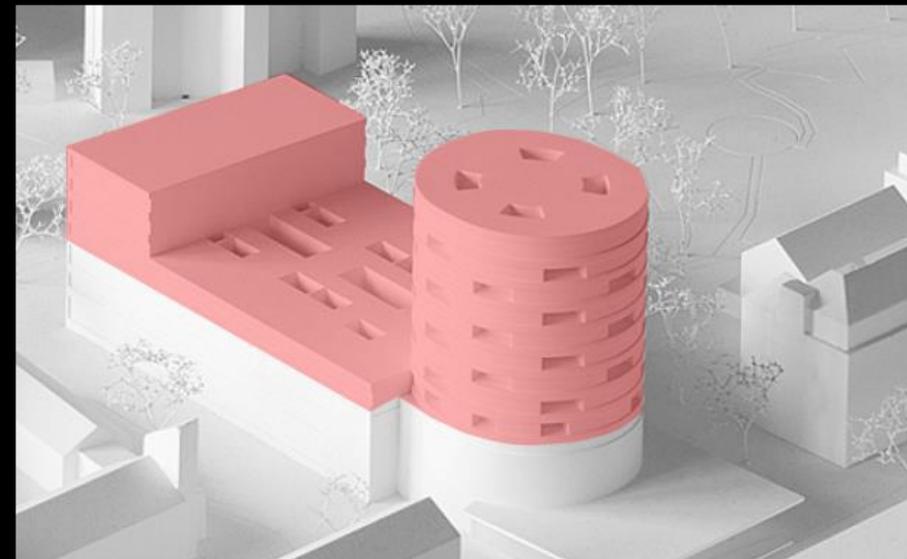
Alle Unterlagen dsp Ingenieure + Planer AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umbau und Erweiterung Schlotterbeck-Areal, Zürich



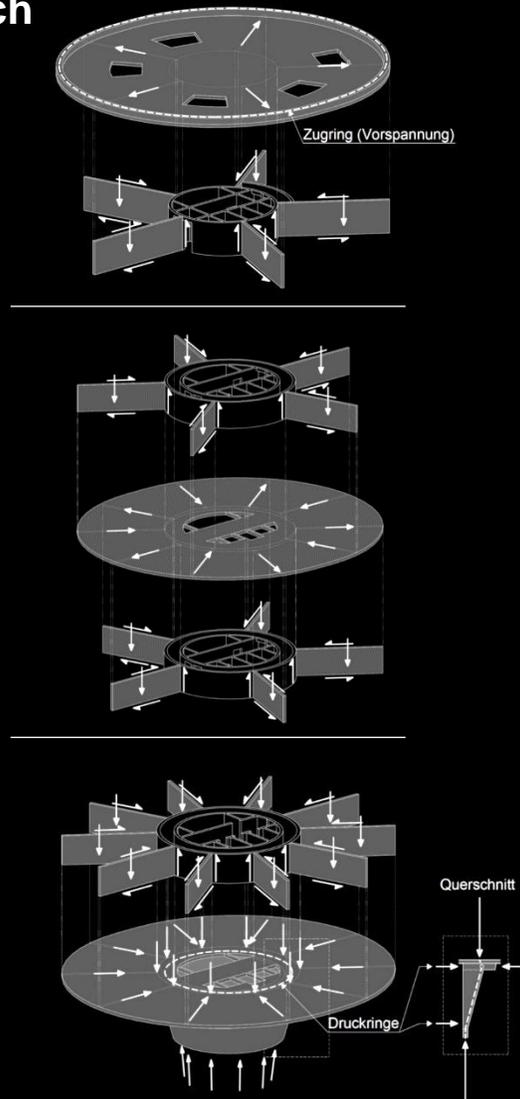
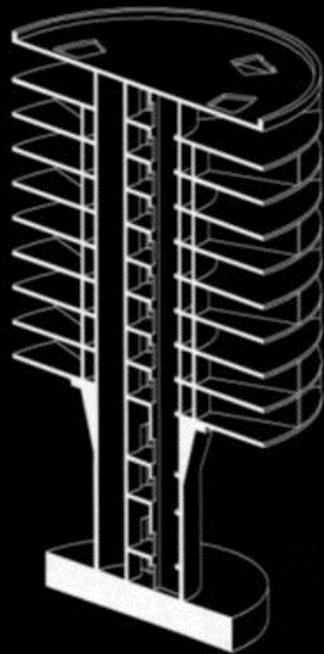
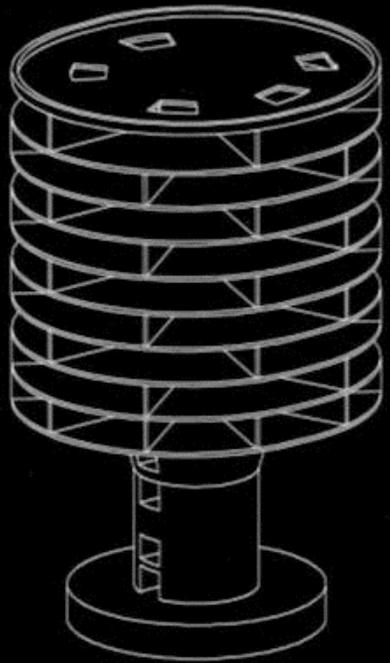
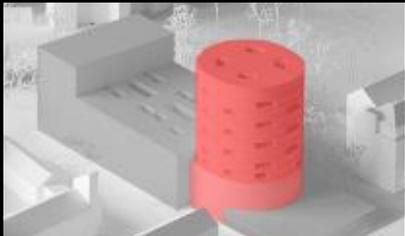
Tragwerk:	Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG
Bauherrschaft:	Schlotterbeck-Areal AG, Zürich
Architektur:	Giuliani Hönger Architekten, Zürich
Planung:	2012-2014
Realisierung:	2014-2017
Bausumme:	ca. 95 Mio. CHF



Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umbau und Erweiterung Schlotterbeck-Areal, Zürich Tragwerk Wohnturm

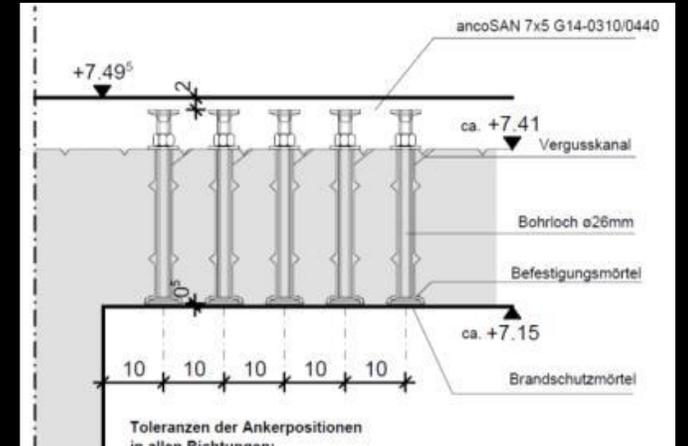
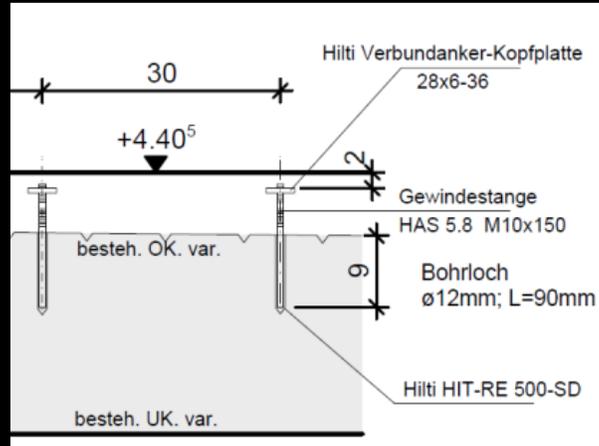
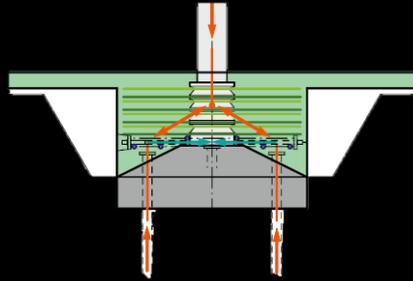
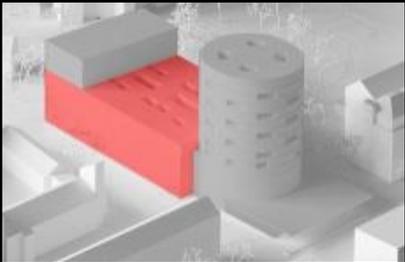


David Willen

Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umbau und Erweiterung Schlotterbeck-Areal, Zürich Tragwerk Hauptbau



David Willen

David Willen

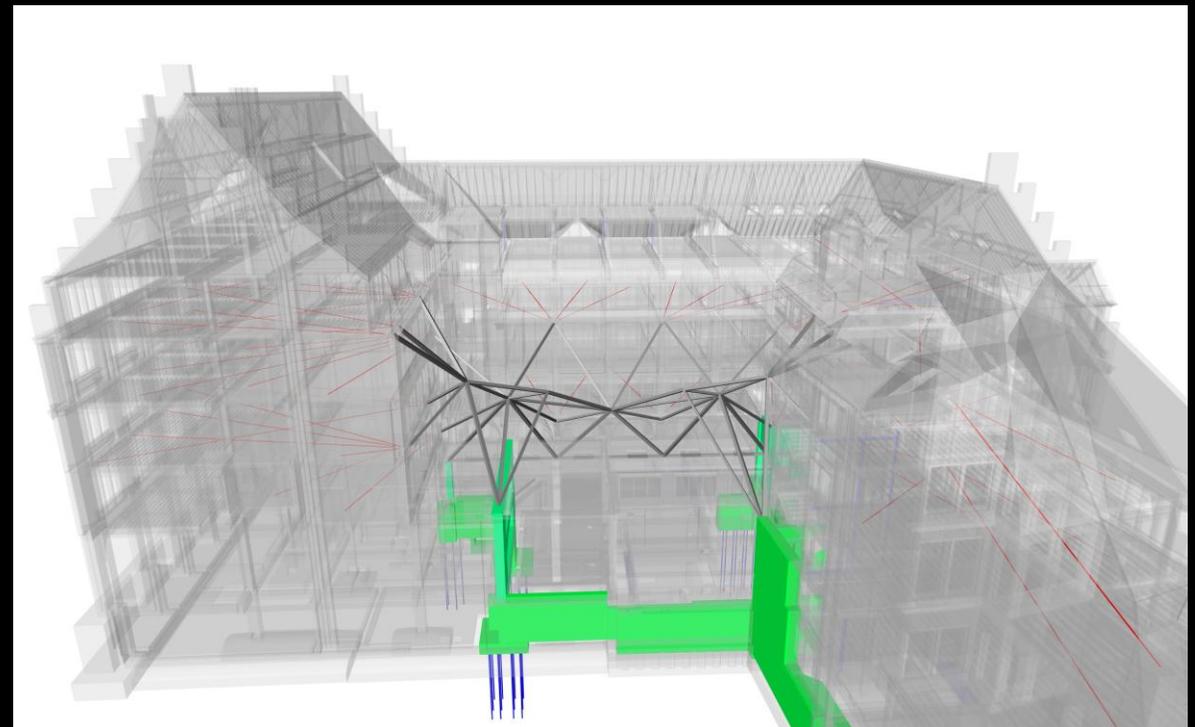
Alle Unterlagen Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Umbau Leuenhof, Bahnhofstrasse 32, Zürich Denkmalgerechte Sanierung

Tragwerk: WaltGalmarini
Bauherrschaft: Swiss Prime Anlagestiftung
Architektur: Tilla Theus und Partner
Realisierung: 2018-2020

Erdbebenertüchtigung im Innenhof mittels Stahlstruktur
→ Minimale Eingriffe in denkmalgeschützte Bereiche



Alle Unterlagen WaltGalmarini AG

Umnutzung / Instandsetzung / Ertüchtigung statt Neubau

Stahlbetonträger aus dem Jahr 1914 mit Querkraftdefizit / Hourdisdecken

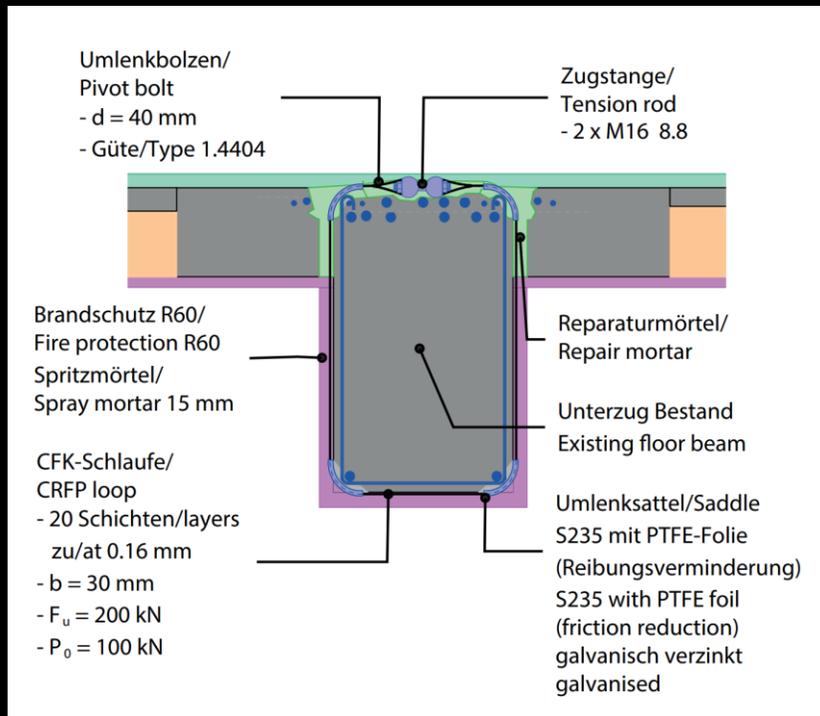
→ Spannweite 7.2 m / 4.2 m

→ Ertüchtigung mittels vorgespannten CFK-Schlaufe als externe Bügel / Ertüchtigung mittels Faserbeton

→ Verifizierung ertüchtigter Stahlbetonträger mittels Bruchversuchen im Gebäude

→ Reduktion Treibhausgase im Vergleich zu einem Neubau um ca. 45% (Neubau: Betondecke d = 26 cm, ca. 110 kgCO₂eq/m²)

THGE infolge Einsatz Faserbeton, Chromstahlteile, CFK und Brandschutzmörtel trotz geringem Materialverbrauch hoch



Alle Unterlagen WaltGalmarini AG

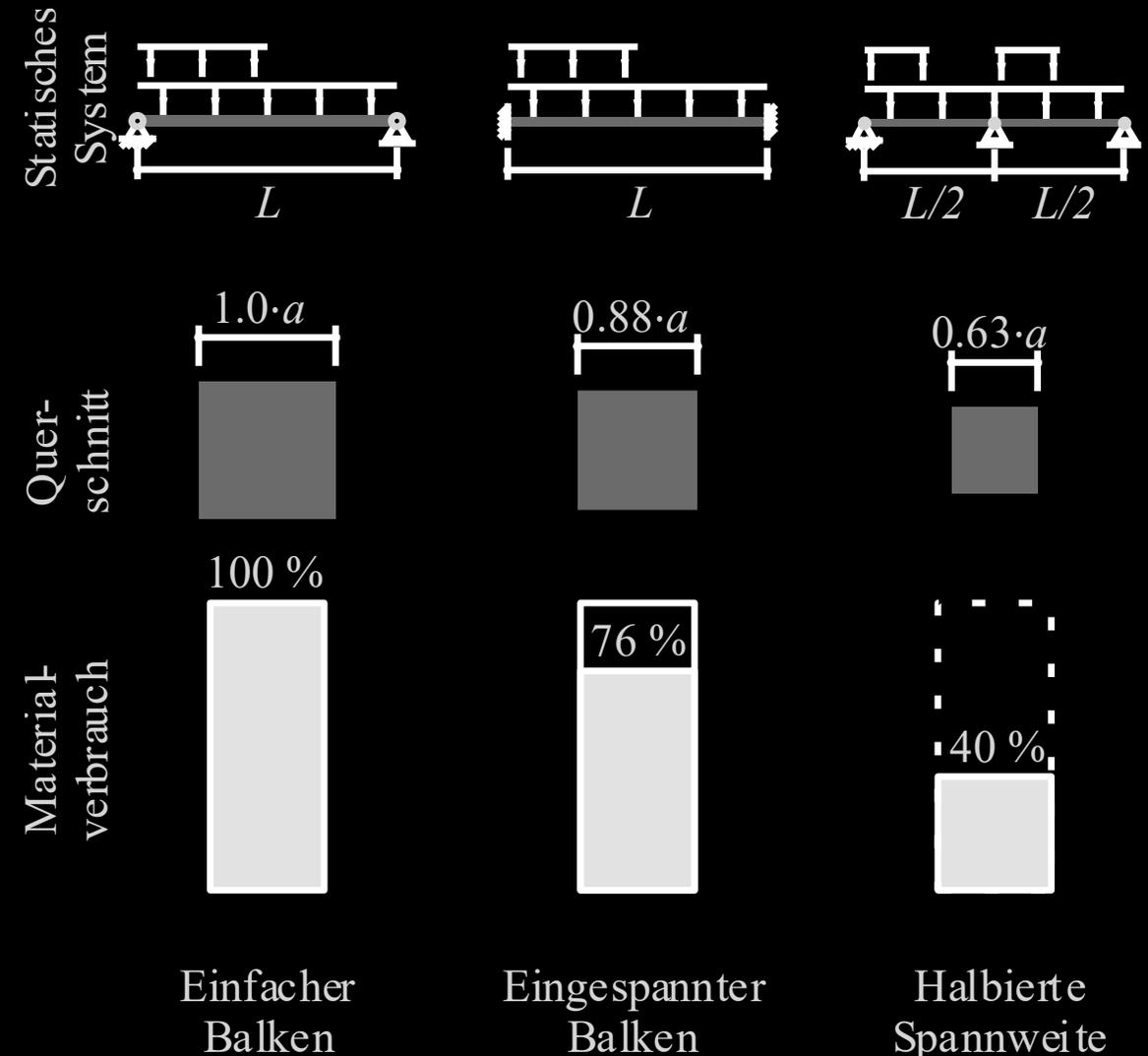
Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche **Materialeinsparungen**

Das **statische System** hat einen grossen Einfluss auf den Materialverbrauch.

Typische Optimierungsmöglichkeiten sind:

- Durchlaufwirkung/Einspannung aktivieren
- Spannweiten reduzieren

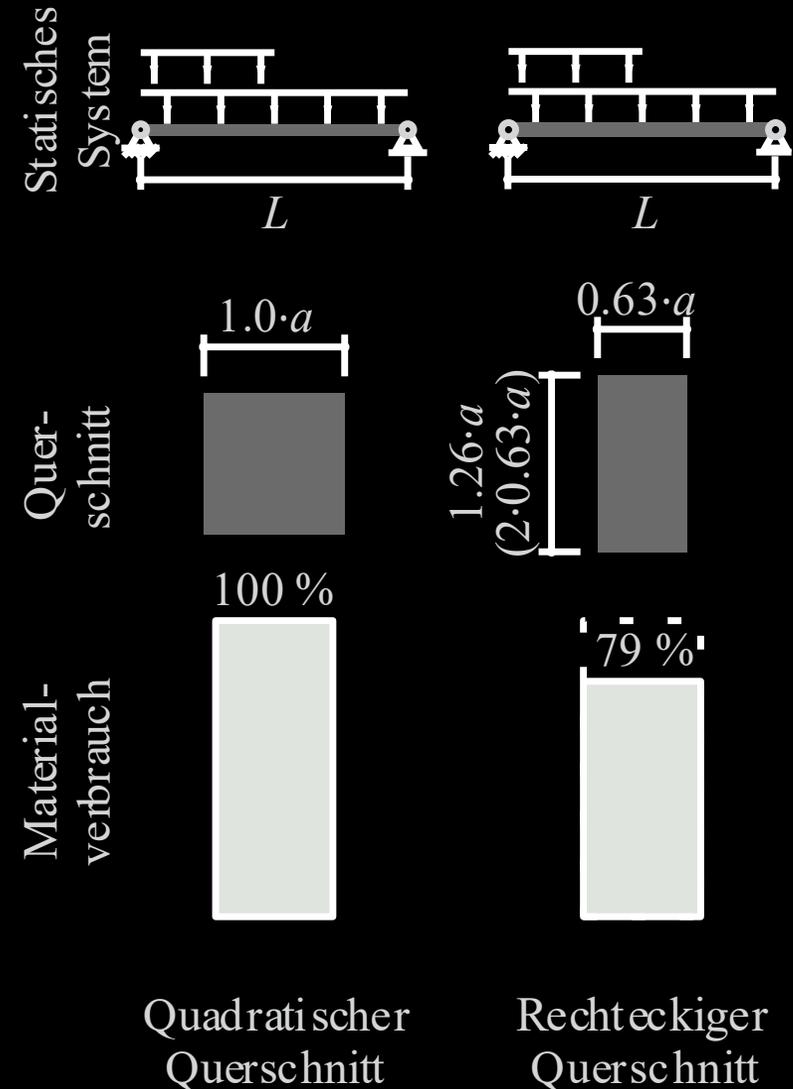


Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche **Materialeinsparungen**

Die **Wahl des Querschnittes** hat ebenso einen erheblichen Einfluss auf den Materialverbrauch.

Wird beispielsweise ein quadratischer Querschnitt durch einen rechteckigen Querschnitt mit gleichem elastischen Widerstandsmoment W (jedoch grösserer Höhe und geringerer Breite) ersetzt, kann der Materialverbrauch reduziert werden.



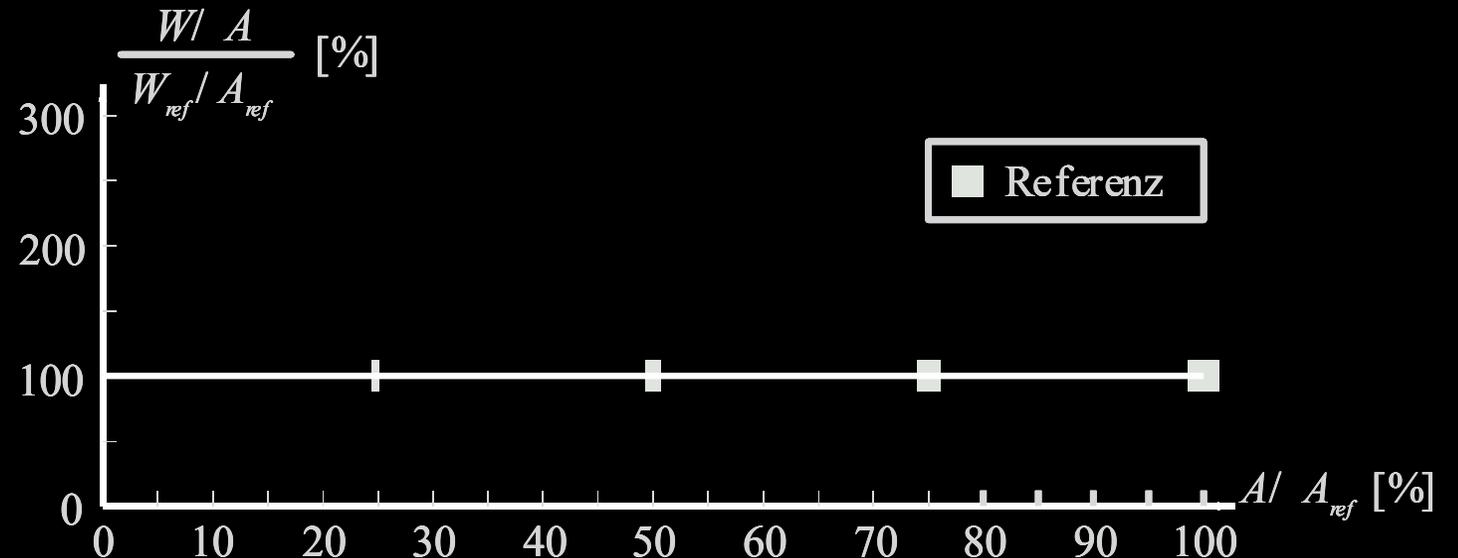
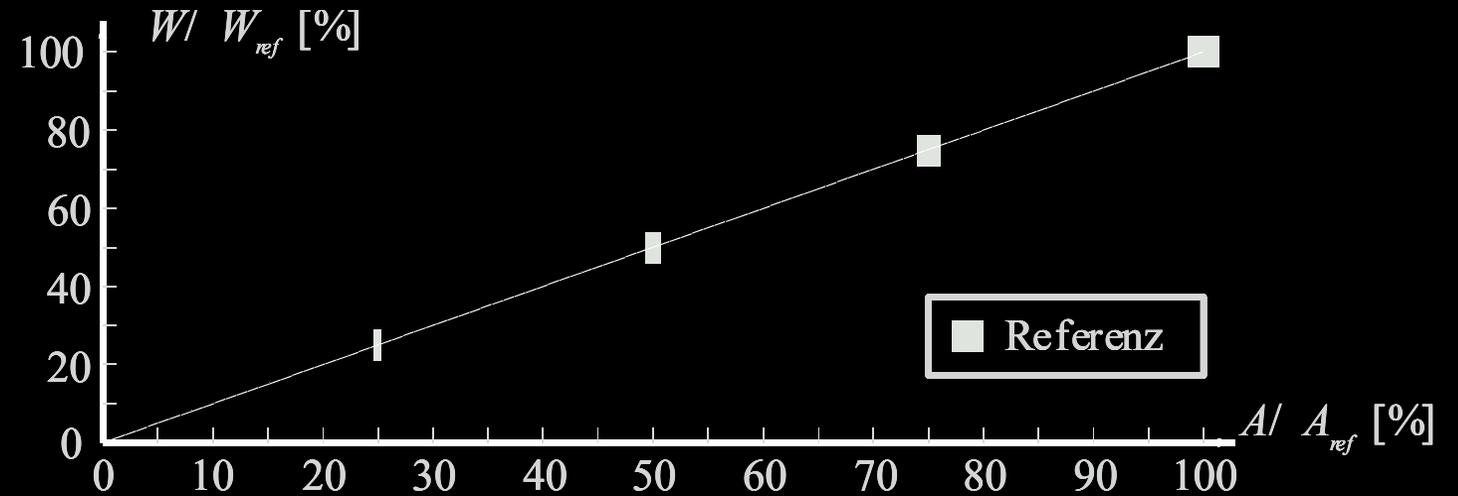
Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche **Materialeinsparungen**

Die **Wahl des Querschnittes** hat ebenso einen erheblichen Einfluss auf den Materialverbrauch.

Wenn bei einem **Rechteckquerschnitt** die Höhe konstant gehalten und die **Breite verkleinert** wird, nimmt das elastische Widerstandsmoment W linear zur Fläche A ab.

Das Verhältnis W/A bleibt konstant.



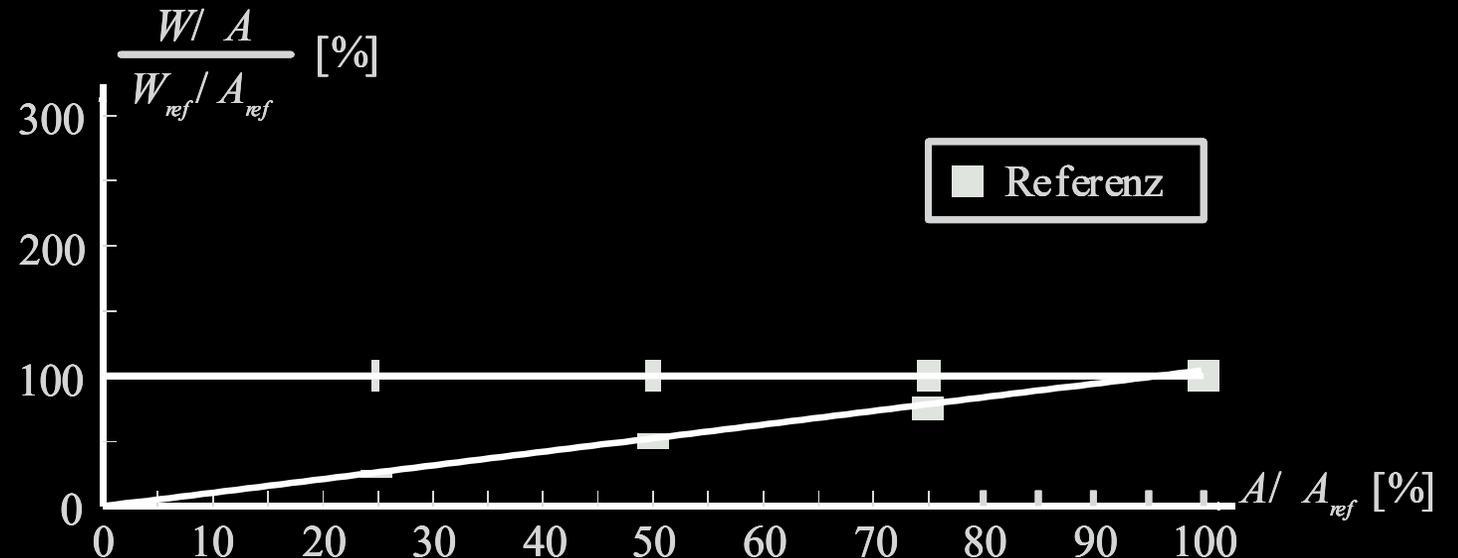
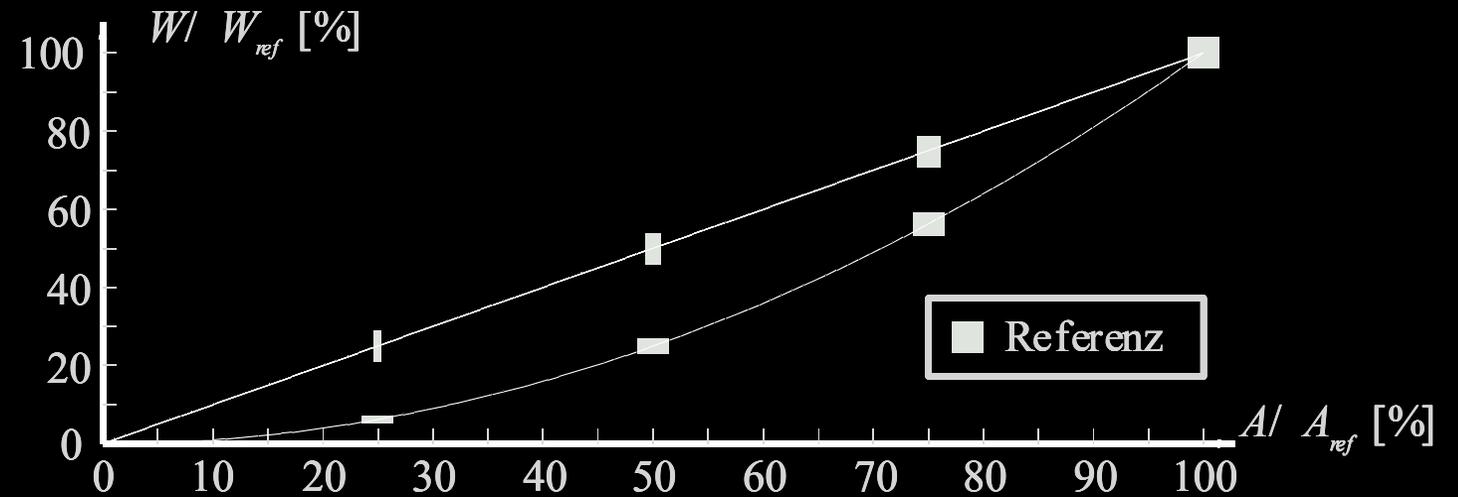
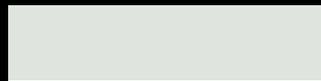
Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche **Materialeinsparungen**

Die **Wahl des Querschnittes** hat ebenso einen erheblichen Einfluss auf den Materialverbrauch.

Wenn bei einem **Rechteckquerschnitt die Höhe verkleinert** und die Breite konstant gehalten wird, nimmt das elastische Widerstandsmoment W überproportional zur Fläche A ab.

Das Verhältnis W/A verschlechtert sich.



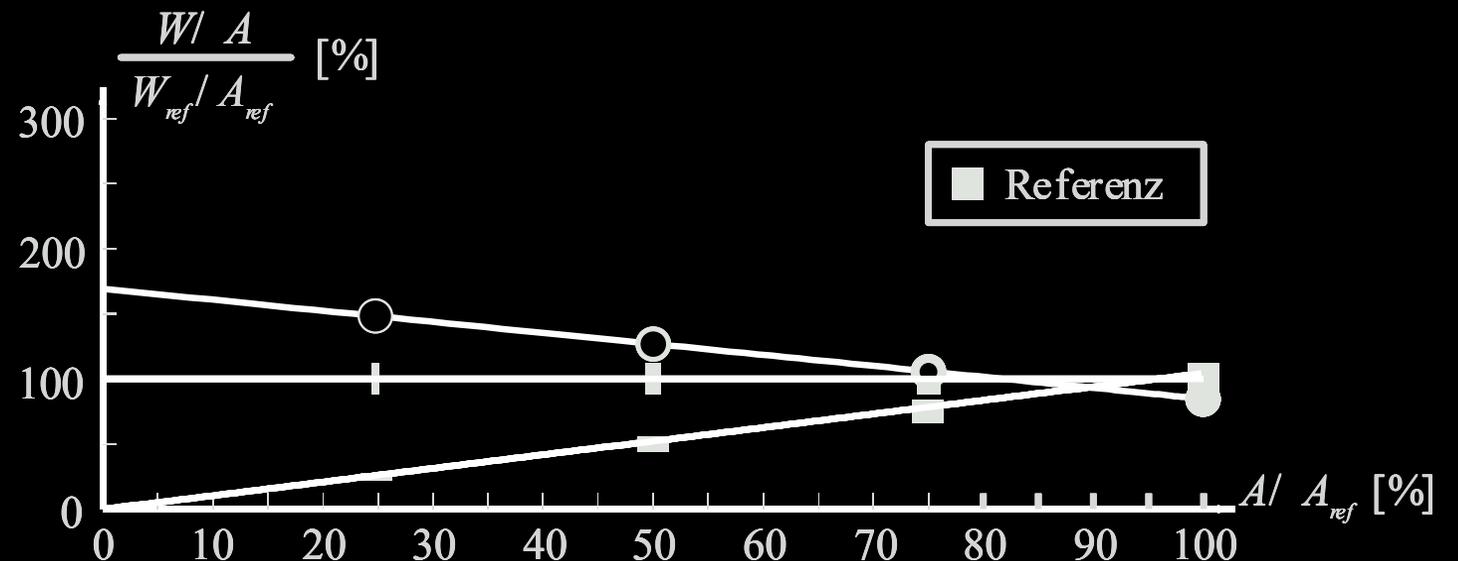
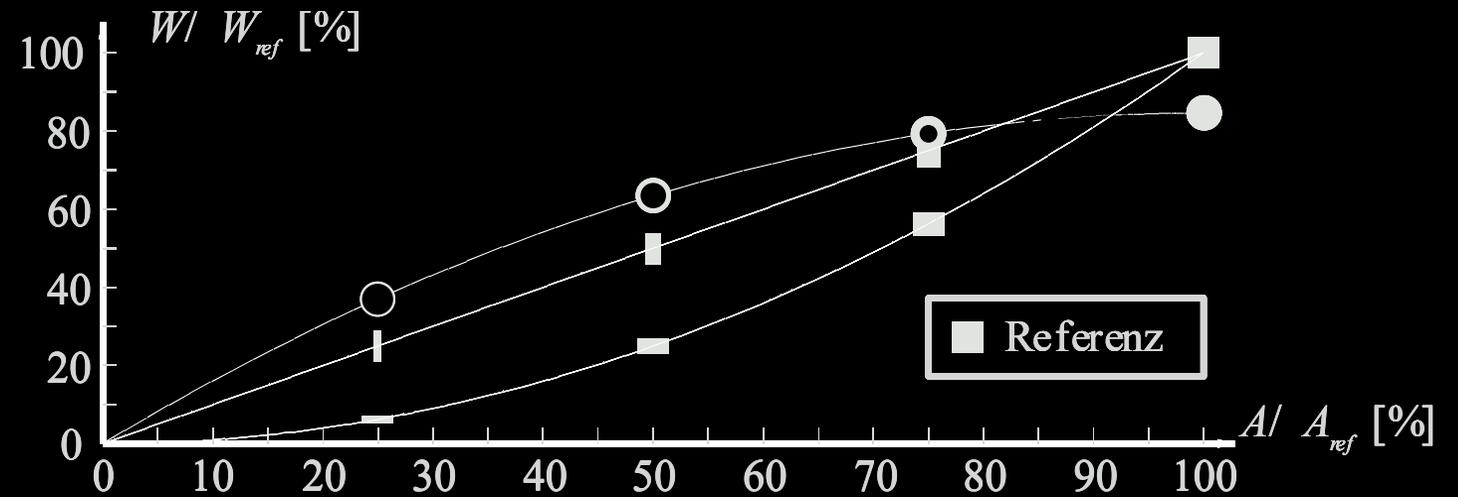
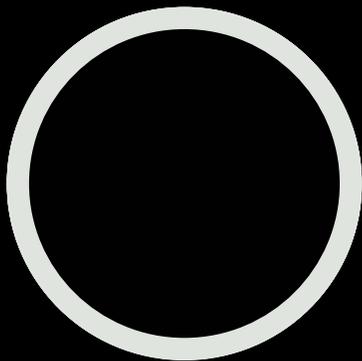
Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche **Materialeinsparungen**

Die **Wahl des Querschnittes** hat ebenso einen erheblichen Einfluss auf den Materialverbrauch.

Bei einem **runden Hohlquerschnitt** (mit konstantem Aussendurchmesser) nimmt das elastische Widerstandsmoment W unterproportional zur Fläche A ab.

Das Verhältnis W/A verbessert sich. Hohlquerschnitte sind effizienter als Vollquerschnitte.



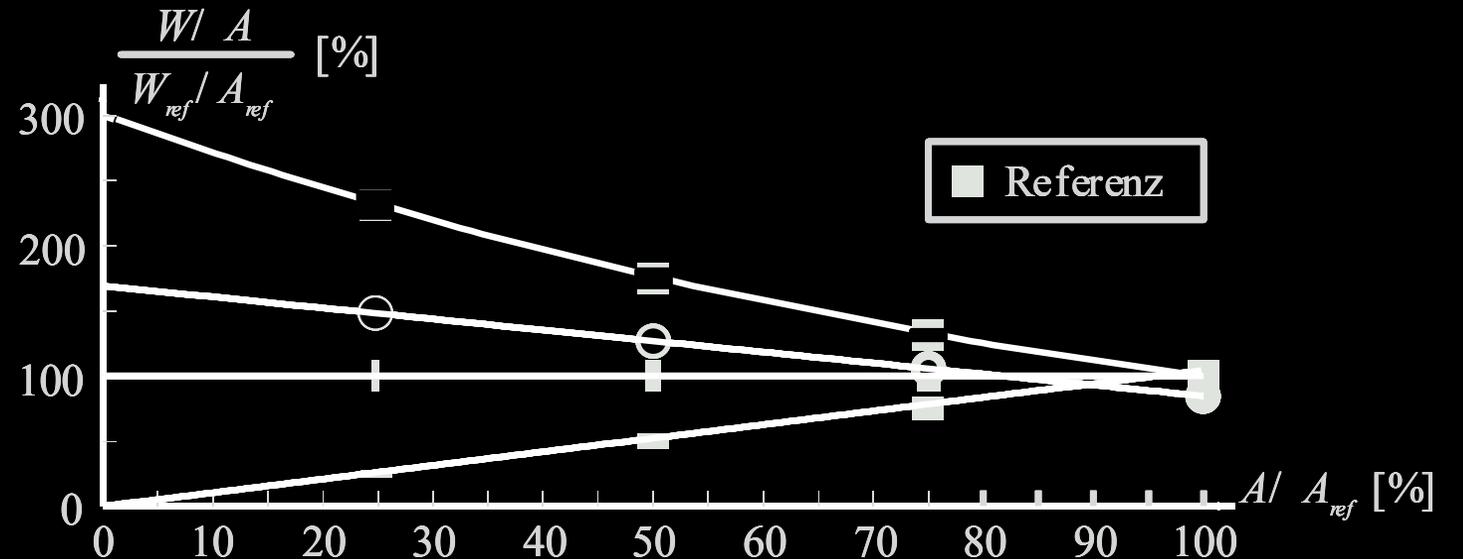
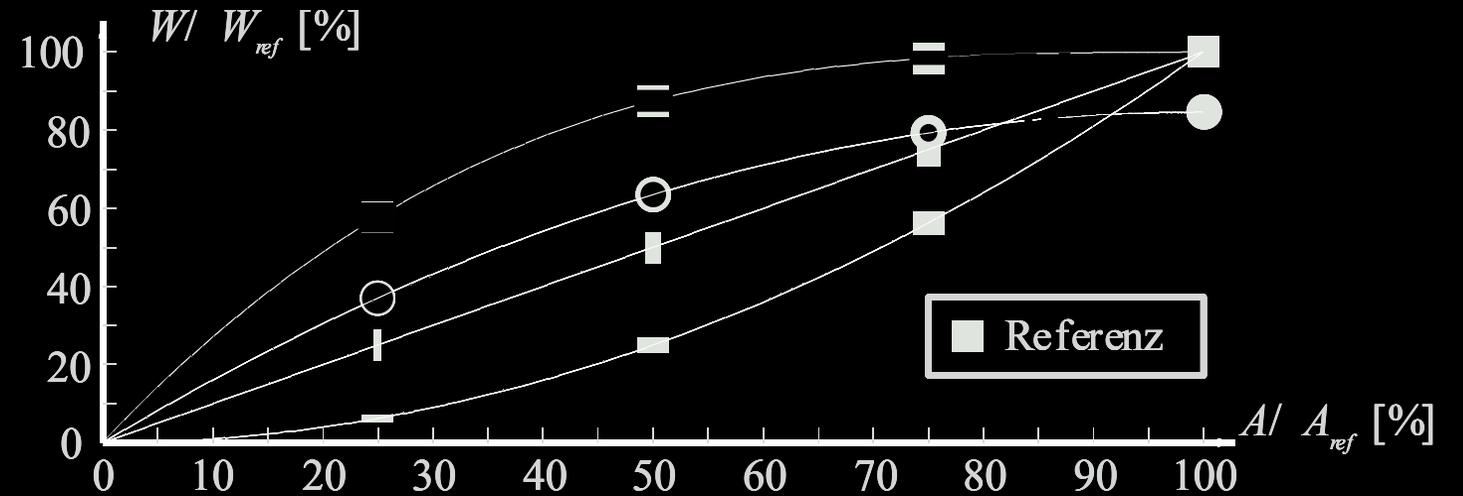
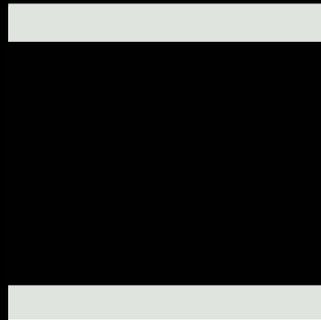
Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche **Materialeinsparungen**

Die **Wahl des Querschnittes** hat ebenso einen erheblichen Einfluss auf den Materialverbrauch.

Bei einem **Flanschquerschnitt** (mit konstanter Höhe) nimmt das elastische Widerstandsmoment W um die starke Achse stark unterproportional zur Fläche A ab.

Das Verhältnis W/A verbessert sich stark. Flanschquerschnitte sind effizienter als Vollquerschnitte.



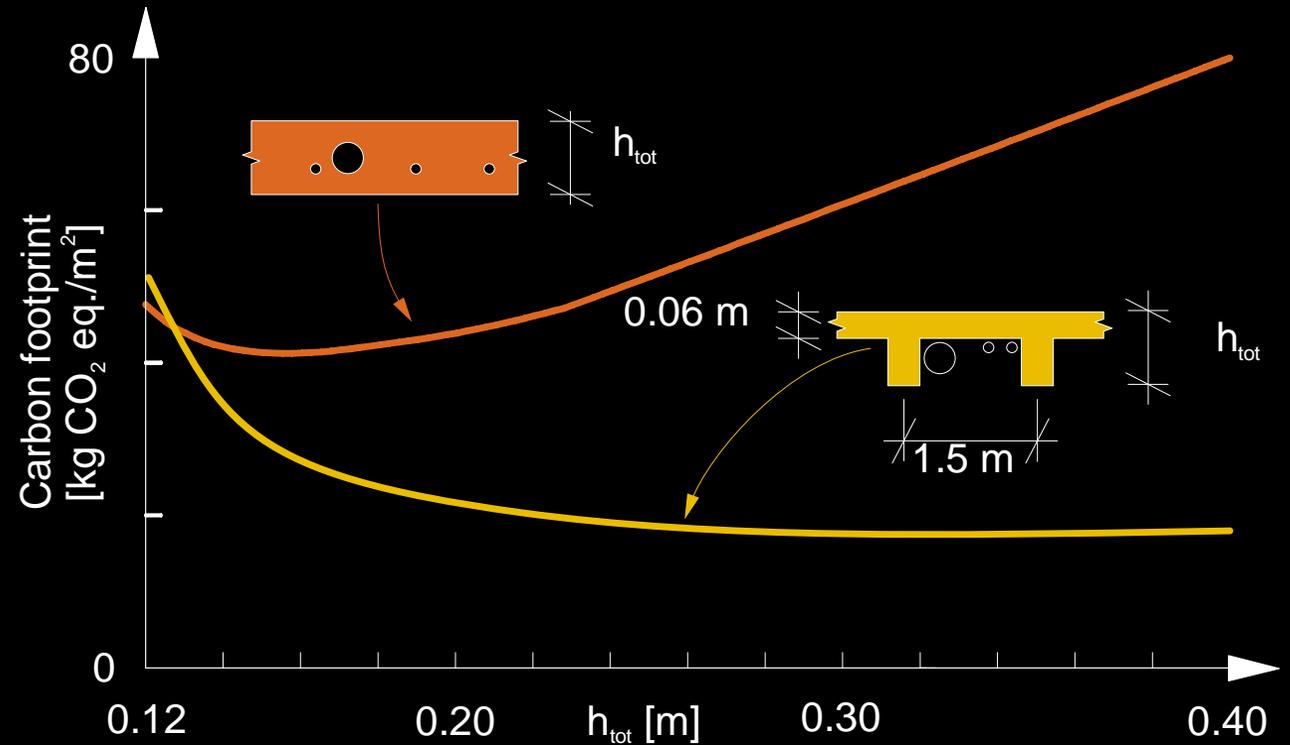
Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen erhebliche Materialeinsparungen

Rippenplatten sind viel effizienter als Vollplatten.

Bei $l = 6$ m reduzieren sich die Emissionen gegenüber der Vollplatte mit $h = 26$ cm um mehr als 70%.

NB: $h_{solid} \geq 6$ cm (R30 ok, aber Trittschalldämmung erforderlich).



Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen **erhebliche Materialeinsparungen**

Rippenplatten sind viel effizienter als Vollplatten.

Frühe Betonbauten waren in der Regel wirtschaftlich und statisch effizient, da die Wirtschaftlichkeit aufgrund der hohen Materialkosten direkt mit der Materialeffizienz verknüpft war.

Tiefe Material- und hohe Lohnkosten führten seither dazu, dass einfache Geometrien, die mit wenig Arbeitsaufwand hergestellt werden können (z.B. Flachdecke), wirtschaftlich sind, selbst wenn unnötig viel Beton und Bewehrung verbraucht wird.



Lanificio Gatti, Pier Luigi Nervi, 1951

Wahl Effizienter Tragwerke

Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen **erhebliche Materialeinsparungen**

Rippenplatten sind viel effizienter als Vollplatten.

Frühe Betonbauten waren in der Regel wirtschaftlich und statisch effizient, da die Wirtschaftlichkeit aufgrund der hohen Materialkosten direkt mit der Materialeffizienz verknüpft war.

Tiefe Material- und hohe Lohnkosten führten seither dazu, dass einfache Geometrien, die mit wenig Arbeitsaufwand hergestellt werden können (z.B. Flachdecke), wirtschaftlich sind, selbst wenn unnötig viel Beton und Bewehrung verbraucht wird.

Mit digitaler Fertigung besteht das Potential, effiziente Tragwerke wirtschaftlich herzustellen.



M. Rippmann, A. Liew, T. Van Mele, P. Block

Wahl Effizienter Tragwerke

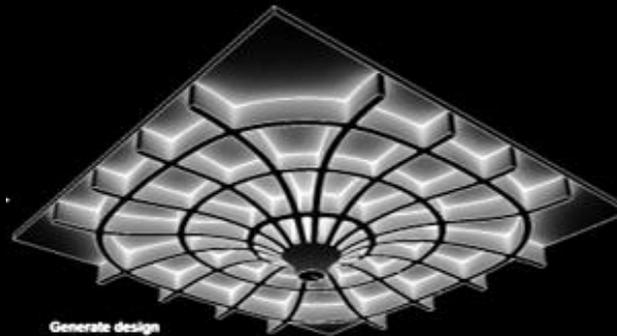
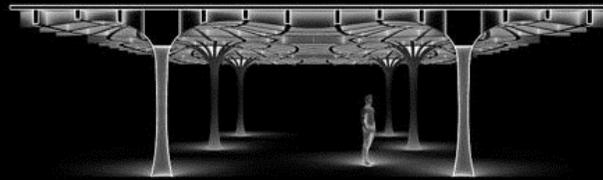
Statisch effiziente Tragwerke ermöglichen **erhebliche Materialeinsparungen**

Rippenplatten sind viel effizienter als Vollplatten.

Frühe Betonbauten waren in der Regel wirtschaftlich und statisch effizient, da die Wirtschaftlichkeit aufgrund der hohen Materialkosten direkt mit der Materialeffizienz verknüpft war.

Tiefe Material- und hohe Lohnkosten führten seither dazu, dass einfache Geometrien, die mit wenig Arbeitsaufwand hergestellt werden können (z.B. Flachdecke), wirtschaftlich sind, selbst wenn unnötig viel Beton und Bewehrung verbraucht wird.

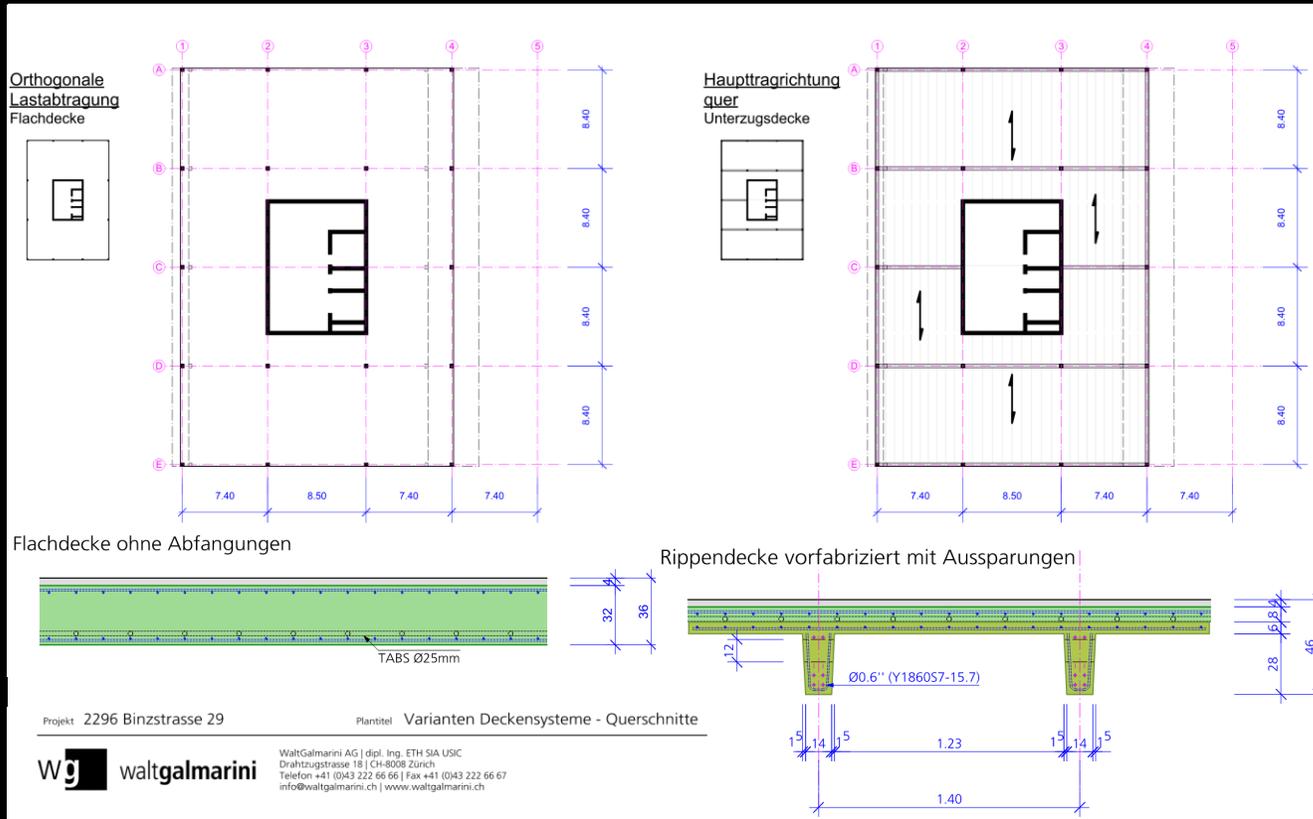
Mit digitaler Fertigung besteht das Potential, effiziente Tragwerke wirtschaftlich herzustellen.



Wahl Effizienter Tragwerke

Neubau Büro- und Gewerbehäus, Binzstrasse 29, Zürich
 Variantenvergleich Deckentragwerk

Tragwerk: WaltGalmarini
 Bauherrschaft: Swiss Life AG, Zürich
 Architektur: EM2N Architekten AG, Zürich
 Realisierung: 2021-2022



Alle Unterlagen WaltGalmarini AG

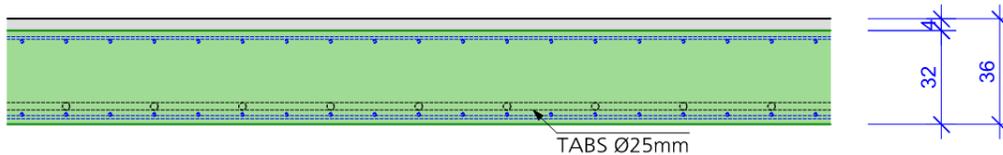
Wahl Effizienter Tragwerke

Alle Unterlagen WaltGalmarini AG

Neubau Büro- und Gewerbehaus, Binzstrasse 29, Zürich

Variantenvergleich Deckentragwerk

Flachdecke ohne Abfangungen



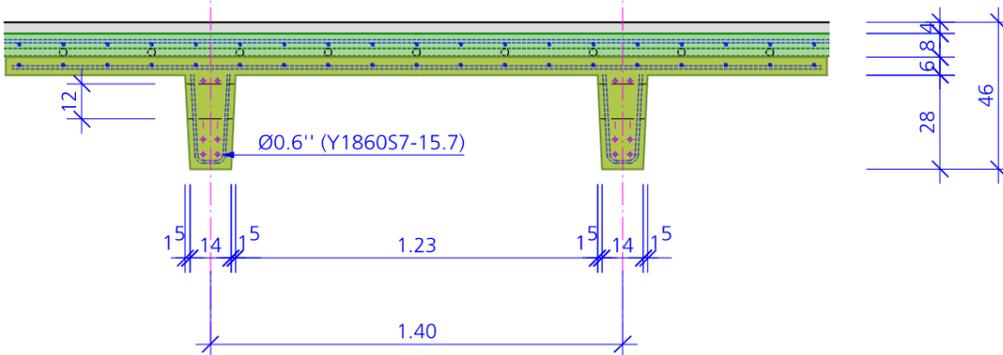
Ausmass: 1'045 m³ / 2'900 m²

THGE: 471'913 kgCO₂eq

163 kgCO₂eq/m²

(KBOB 2009/1:2022)

Rippendecke vorgefertigt mit Aussparungen



Ausmass: 483 m³ / 2'900 m²

THGE: 365'384 kgCO₂eq

126 kgCO₂eq/m² (-22 %)

(KBOB 2009/1:2022)



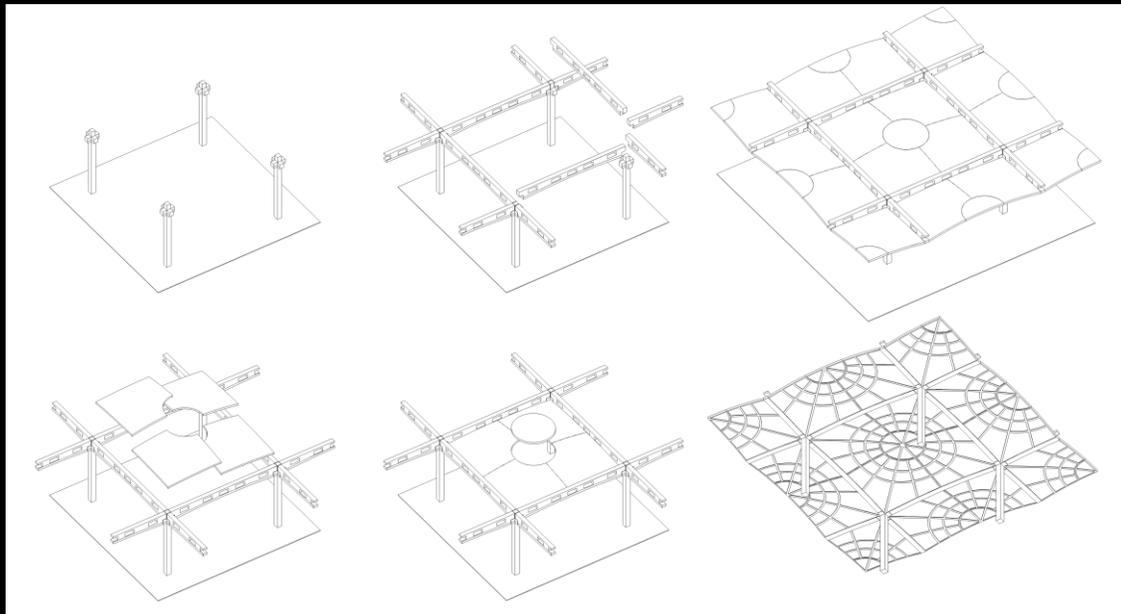
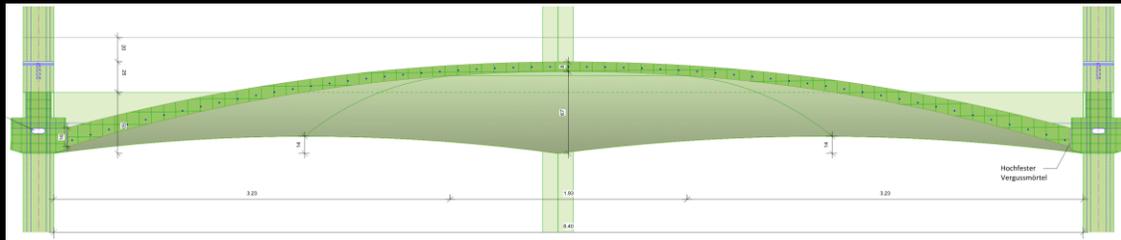
Massgebliche Reduktion der Treibhausgasemissionen (THGE; -22%) durch Reduktion des Betonvolumens (-53%) gegenüber einer konventionellen Flachdecke.

THGE infolge Einsatz frühfester, hochfester Betone in der Vorfabrikation sowie des Transports trotz Materialreduktion hoch (Potential zur weiteren Reduktion).

Wahl Effizienter Tragwerke

Projekt: Neubau CreaTower I in Zug

Vorfabrizierte Gewölbedecke 6 m x 6 m für 40 m Hochhaus
/ Variantenvergleich Deckentragwerk



Tragwerk:

WaltGalmarini AG

Bauherrschaft:

Urban Assets ZUG AG

Architektur:

Gigon / Guyer Architekten AG

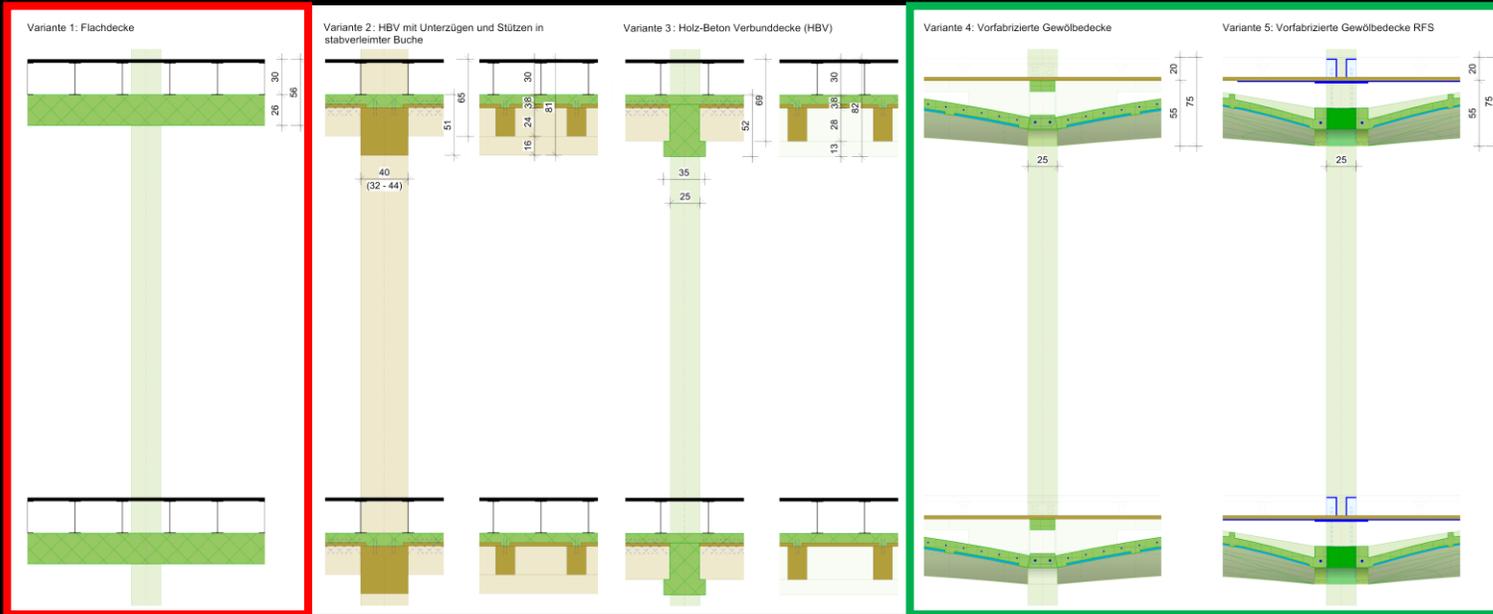
Realisierung:

2025 – 2026



Alle Unterlagen WaltGalmarini AG

Wahl Effizienter Tragwerke



Konsequente Reduktion des Gewichts durch gezielten Materialeinsatz

- optimierte Geschossdecken im Vergleich zu einer konventionellen Flachdecke: Masse -66%, THGE -69%
- Gesamtgebäude als Folge des massenreduzierten Deckensystems: Masse -33%, THGE -35%

Durch gezielten Einsatz des Baustoffs Beton liegen die Emissionen in der ähnlichen Grössenordnung wie bei einem konventionellen Holzbau (je nach Berechnung auch tiefer).

Bei sichtbaren Oberflächen kann Beton zudem als Speichermasse für den Tag-Nacht-Temperaturausgleich aktiviert werden.

Bauteil	Masse [Tonnen]			CO ₂ -Emissionen [ka CO ₂ -eq]		
	Konventionell	Optimiert	Reduktion	Konventionell	Optimiert	Reduktion
Decken Hochhaus	4'986	1'688	-66%	631'852	196'576	-69%
Kerne Hochhaus	2'396	1'598	-33%	391'942	243'862	-38%
Stützen	651	394	-40%	152'880	91'516	-40%
Decken Untergeschosse	4'921	4'921	0%	670'662	670'662	0%
Kerne Untergeschosse	501	438	-13%	86'739	69'916	-19%
Aussenwände Untergeschosse	768	768	0%	107'743	107'743	0%
Bodenplatte	4'251	2'125	-50%	643'046	298'331	-54%
Fundation	5'146	3'935	-24%	665'214	503'630	-24%
Total	23'620	15'867	-33%	3'350'079	2'182'237	-35%

Optimieren von Bauteilabmessungen und Bewehrungsgehalten

Optimierung Deckenstärke (theoretisches Beispiel)

Reduktion Deckenstärke um 2 cm (z.B. von 26 cm auf 24 cm) bei Hochbau mit Grundriss 20 m x 20 m mit 5 Decken

Annahme keine Veränderung verbaute Bewehrung (Reduktion Mindestbewehrung kompensiert für zusätzlich notwendige statische Bewehrung)

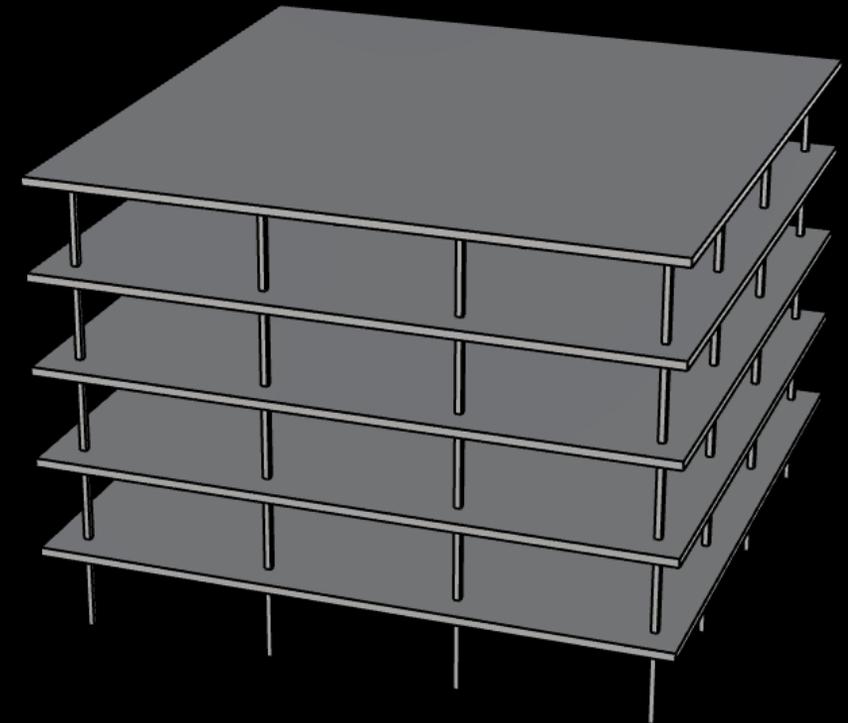
Erzielte Einsparung an Emissionen:

$$5 \cdot 0.02 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} \cdot 230 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3 = 9200 \text{ kgCO}_2\text{eq}$$

Zum Vergleich: Ausstoss Emissionen bei Flug auf New York für eine Person Hin- und Rückweg:

2000 kgCO₂eq

→ Eingesparte Emissionen durch Optimieren Decke 4-5 mal so gross wie durch Flug ausgestossene Emissionen

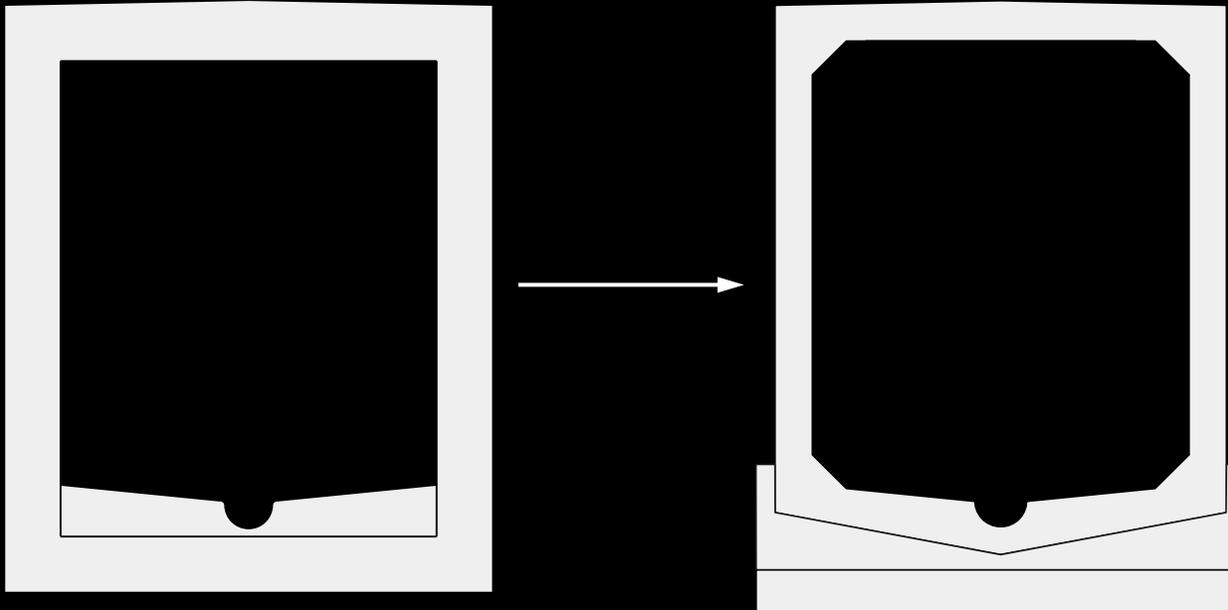


Optimieren von Bauteilabmessungen und Bewehrungsgehalten

Optimierung Abwasserspeicherkanal

Kanal "Moränenstrasse", geplant und produziert durch DSE systems
Diverse Projektoptimierungen inkl. Wahl Vorfabrikation statt Ortsbeton ermöglichen Reduktion für Erstellung nötige Mindeststärke und Reduktion Mindestbewehrung durch segmentierte Bauweise

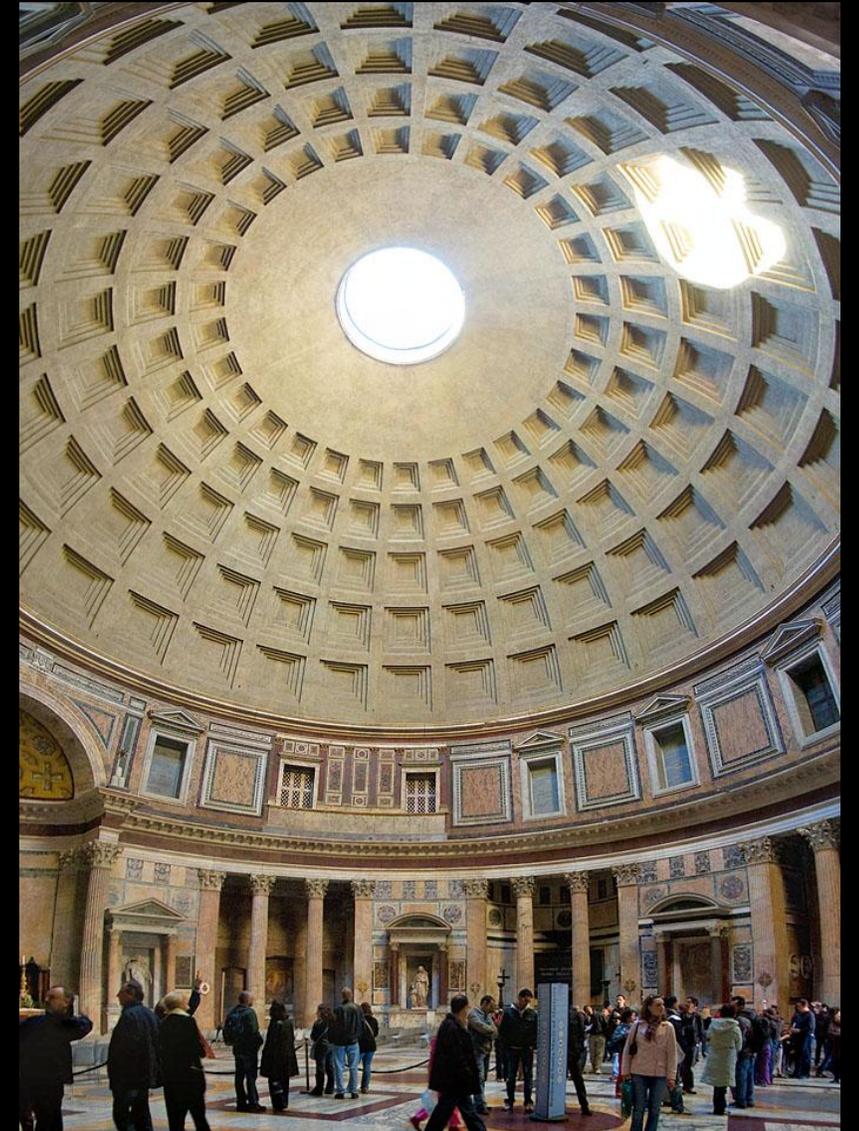
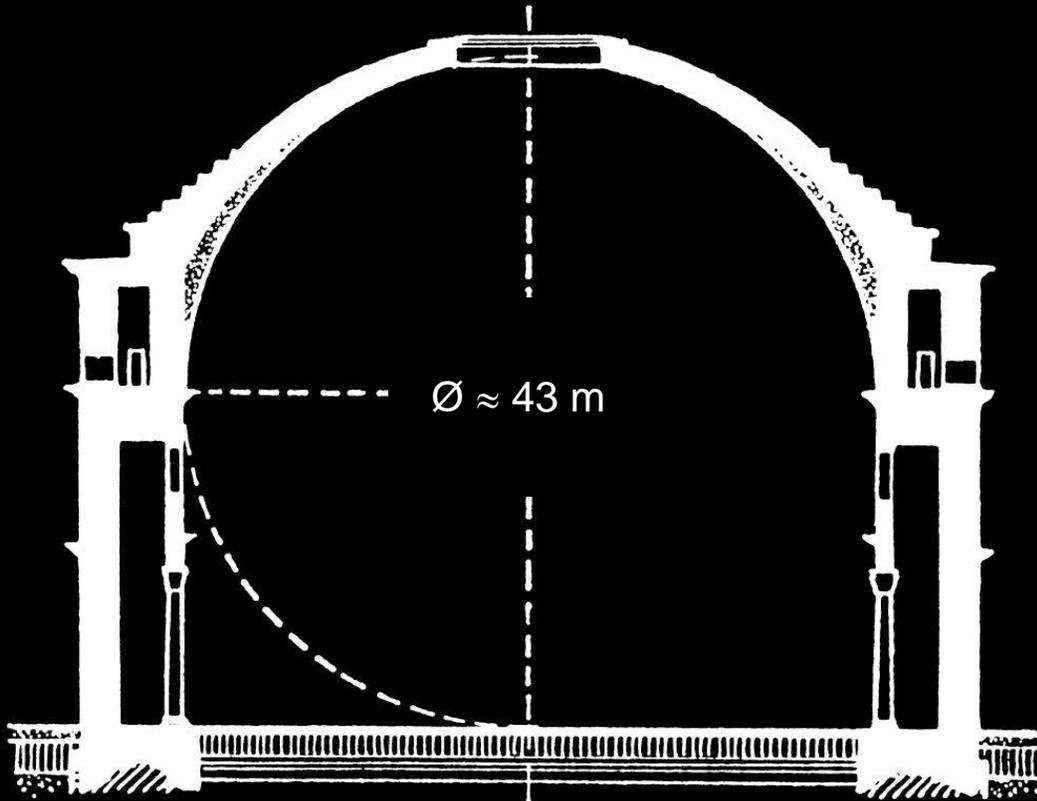
- 5% weniger Beton (Potential noch viel grösser)
- 35% weniger Bewehrung
- Beschleunigung Baustelle um 6 Monate



Alle Unterlagen DSE systems

Konstruktion von dauerhaften Tragwerken

Unbewehrter Beton ist sehr dauerhaft, wie beispielsweise das Pantheon in Rom zeigt – seit bald 2000 Jahren.



Konstruktion von dauerhaften Tragwerken

Auch **Stahlbeton** ist grundsätzlich **sehr dauerhaft**, insbesondere im Vergleich mit alternativen Bauweisen (Holz, Stahl, ...) und bei starker Exposition (Wasser, Erdreich, ...).

Viele Brücken aus der **Anfangszeit des Stahlbetonbaus** sind **noch heute in Betrieb** (während der Lebensdauer nur wenige Male instandgesetzt).

Wird der **Unterhalt vernachlässigt**, können die Folgen jedoch dramatisch sein (Schäden sind nicht immer visuell erkennbar).



8 Nachhaltige Betonbauten

8.5 Abschätzungen Umwelteinwirkung von Bauten

Abschätzungen Umwelteinwirkung von Bauten

Auf folgende Datenbanken kann zurückgegriffen werden um mit überschaubarem Aufwand verschiedene Baustoffe / Varianten bezüglich ihrer Umweltauswirkung zu vergleichen:

- EPD (Environmental Product Declaration) von jeweiligen Herstellern
- [Excel-Liste zu Ökobilanzdaten im Baubereich](#), herausgegeben von der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, publiziert über admin.ch

Dabei können erhebliche Unterschiede zwischen verschiedenen Quellen bestehen. Beispielsweise wurde in der KBOB-Datenbank ein Treibhausgaspotential von ca. 1140 kg CO₂eq/t für Armierungsstahl angegeben*, während in einer EPD von Stahl Gerlafingen ein Treibhausgaspotential von 457 kg CO₂eq/t ausgewiesen wird.

Für den Vergleich verschiedener Betonsorten wird von KBOB auf folgendes Tool verwiesen:

- Online-Betonrechner von treeze.ch

Dabei ist insbesondere der Zementtyp entscheidend für die Treibhausgasemissionen. Beispielsweise kann durch die Wahl von einem Zementtyp CEM III/B anstatt einem CEM II/A dieser Wert gemäss dem treeze-Online-Betonrechner für einen Hochbaubeton NPK B von 222 kg CO₂eq/m³ auf 126 kg CO₂eq/m³ reduziert werden.

*In der Version vom 31.05.2021 wurde ein Treibhausgaspotential von 1520 kg CO₂eq/t für Armierungsstahl ausgewiesen. In der Version vom 10.03.2023 wird kein Wert angegeben, aber es steht, dass die ausgewiesenen Werte «aufgrund eines Fehlers in den Daten zu Armierungsstahl» um ca. 25% zu hoch waren.