



Sind 16 cm Beton genug?

Auslegeordnung zur optimalen Deckenstärke
Schlussbericht

Fachstelle Bauingenieurwesen
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik

Impressum

Auftraggeberin:

Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Postfach
8021 Zürich

Armin Grieder, Leiter Fachstelle Bauingenieurwesen
Benjamin Theiler, Leiter Projektentwicklung 1
Franz Sprecher, Leiter Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik
Michael Pöll, Fachstelle umweltgerechtes Bauen

Projektleitung:

Gianrico Settembrini
Forschungsgruppe Nachhaltiges Bauen und Erneuern
Institut für Gebäudetechnik und Energie
HSLU T&A Horw
gianrico.settembrini@hslu.ch

Projektteam:

Alina Kretschmer (IGE, Horw)
Gianrico Settembrini (IGE, Horw)
Alex Primas (IGE, Horw)
Daniel Heinzmann (IBI, Horw)
Gregor Notter (IGE, Horw)
Patrick Walczak (IGE, Horw)
Silvia Domingo (IGE, Horw)
Simon Hofstetter (IGE, Horw)
Oliver Kehrli (IGE, Horw)
Monika Walch (IGE, Horw)
Heinrich Huber (IGE, Horw)

Horw, Februar 2025

Download als pdf:

www.stadt-zuerich.ch/egt -> Grundlagen und Studienergebnisse

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Ausgangslage	10
3	Ziel	12
4	Vorgehensweise	13
4.1	Annahmen anhand der Wohnungstypologie	13
4.2	Bestimmung von Beispieldeckensystemen	14
4.3	Recherche zum Stand der Technik	16
4.4	Auslegeordnung zu Vor- und Nachteilen der Systeme	17
4.5	Workshop mit Fachleuten	17
4.6	Bericht mit Ausblick und Empfehlungen	17
5	Anforderungen an Betondecken	18
5.1	Statik	18
5.2	Akustik	19
5.3	Gebäudetechnik	20
5.4	Bewertungskriterien	24
6	Ausführungsvarianten und Erkenntnisse	25
6.1	Variante 0: 28 cm Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt	25
6.2	Variante 1: 22 cm Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt	29
6.3	Variante 2: 20 cm Abgehängte Decke, Beton nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert	33
6.4	Variante 3: 20 cm Leitungen sichtbar, Beton nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert	37
6.5	Variante 4: 16 cm Leitungen sichtbar, Betondecke nach Statik dimensioniert	42
7	Gegenüberstellung der Varianten	47
7.1	Ökobilanzen	47
7.2	Gesamtheitlicher Vergleich	55
8	Vertiefte Analysen	61
8.1	Spannweiten	61
8.2	Bodenaufbau und Unterlagsboden	64
8.3	Betonsorten	67
8.4	Elektroleitungen	70

9	Fazit und Ausblick	74
9.1	Fazit	74
9.2	Ausblick	76
10	Literaturverzeichnis	79
11	Abbildungsverzeichnis	81
12	Tabellenverzeichnis	84
13	Anhang	86
13.1	Ökobilanzen	86
13.2	Statik - Ermittlung des Bewehrungsgehaltes	97
13.3	Elektroleitungen - Materialisierung	101
13.4	Schallberechnungen	103
13.5	Literaturrecherche	107
13.6	Fallbeispiele	109

1 Zusammenfassung

Deckenstärken von Massivbauten werden in der Planung heute oftmals nicht mehr aufgrund der eigentlichen statischen Anforderungen, d.h. der Spannweiten, dimensioniert. Zunehmend sind andere Aspekte entscheidend, z.B. die Schallanforderungen oder der Platzbedarf von eingelegten Leitungen. Werden Leitungen der gebäudetechnischen Verteilung nicht eingelegt, kommen in der Regel abgehängte Deckensysteme zum Einsatz.

Im Rahmen der Studie soll in erster Linie untersucht werden, ob Gebäude dank möglichst dünner Betondecken in einer gesamtheitlichen Betrachtung weniger Emissionen in der Erstellung verursachen können und so einen Beitrag zum Netto-Null-Ziel sowie zum nachhaltigen Bauen leisten können. Positive und negative Auswirkungen von sichtbar geführten Verteilungen sollen gegenübergestellt werden und der Frage nachgegangen werden, ob der Verzicht auf eine Leitungsführung innerhalb von tragenden Bauteilen wieder Betondeckenstärken von 16 cm ermöglicht, welche trotzdem die aktuellen bauphysikalischen Normen und statischen Anforderungen erfüllen würden.

Lüftungs-, Sanitär- und Elektroleitungen in Betondecken einzulegen, ist eine in der Schweiz weit verbreitete Baupraxis. In anderen europäischen Ländern wird das Einlegen weniger praktiziert. In Frankreich oder Deutschland wird im mehrgeschossigen Wohnungsbau üblicherweise versucht, alle Leitungen in gebündelten Steigzonen, Vorwandinstallationen, Abhangdecken und Fussbodenaufbauten zu führen. Das Einlegen begründet sich durch baukulturell-ästhetische Aspekte (Technik verstecken, durchgehende Deckenunterseite), aufgrund der Einfachheit in der Ausführung, oftmals in der Geschossmaximierung bei vorgegebenen Fassadenhöhen und aus ökonomischem Nutzen.

Aufbauend auf einer Literaturrecherche zu bauphysikalischen Anforderungen an Betondecken im Geschosswohnungsbau wurden in einem gemeinsamen Workshop mit Vertretern der Auftrag gebenden Stadt Zürich sowie Fachleuten aus der Baubranche im Rahmen der Studie **sechs verschiedene, repräsentative Deckenaufbauten** für ein konkretes Fallbeispiel entwickelt und folgend definiert:

- Variante 0A (28 cm Beton, Armierungsgehalt 88 kg/m^3 bei einer angenommenen Deckenspannweite von 7.15 m); sämtliche Gebäudetechnikleitungen in suboptimaler Ausführung eingelegt (mit Kreuzung von Lüftungsleitungen)
- Variante 0B (28 cm Beton, Armierungsgehalt 74 kg/m^3 , Spannweite 3.75 m); sämtliche Gebäudetechnikleitungen in suboptimaler Ausführung eingelegt (mit Kreuzung von Lüftungsleitungen)
- Variante 1 (22 cm Beton, Armierungsgehalt 80 kg/m^3 , Spannweite 3.75 m); sämtliche Gebäudetechnikleitungen in optimaler Ausführung eingelegt (ohne Kreuzung von Lüftungsleitungen) und optimierter Bewehrungsausführung
- Variante 2 (20 cm Beton, Armierungsgehalt 73 kg/m^3 , Spannweite 3.75 m); Lüftungsleitungen in einer abgehängten Deckenkonstruktion geführt
- Variante 3 (20 cm Beton, Armierungsgehalt 73 kg/m^3 , Spannweite 3.75 m); Gebäudetechnikleitungen getrennt vom Tragsystem und vorwiegend offen geführt, Betondecke nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert

- Variante 4 (16 cm Beton, Armierungsgehalt 89 kg/m^3 , Spannweite 3.75 m); Gebäudetechnikleitungen getrennt vom Tragsystem und vorwiegend offen geführt, Betondecke nach Statik Mindestanforderungen dimensioniert

Ein detaillierter Beschrieb der Deckenaufbauten findet sich im *Kapitel 6 «Ausführungsvarianten und Erkenntnisse»*. Auf die Differenzierung im Armierungsgehalt der Variante 0 wird im Kapitel 8.1 «Spannweiten» eingegangen. Auf eine Deckenstärke von 18 cm wurde nicht eingegangen, weil das Einlegen von Lüftungsleitungen da nicht üblich ist und 16 cm der Extremfall in der Reduktion der Deckenstärke darstellen dürfte. Ergebnisse für die 18 cm Decke sind mit der Analyse der restlichen Varianten interpolierbar.

Zur Beurteilung der verschiedenen Varianten wurden **Vergleichskriterien** mit thematischer Relevanz definiert und eine Auslegeordnung zur besseren Gegenüberstellung ausgearbeitet (*Kapitel 5.4 «Bewertungskriterien»*). Die untersuchten Kriterien umfassten den Bereich Ökologie (Treibhausgasemissionen, Lebensdauer, Zirkularität, Flexibilität), bautechnische Anforderungen (Statik, Brandschutz, Schall), Bauausführung (Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Bauablauf) sowie Nutzerkomfort (Reinigung und Hygiene, Ästhetik, Gebrauchstauglichkeit) und Zukunftstrends. Für die Varianten wurde ein Schallnachweis erbracht und eine statische Untersuchung sowie eine Ökobilanzierung vorgenommen. Die Erkenntnisse wurden mit Fachleuten aus unterschiedlichen Disziplinen diskutiert. Begleitend hierzu wurde eine Sammlung an gebauten Praxisbeispielen erstellt, deren Dokumentation weitere Rückschlüsse auf die Umsetzbarkeit liefert.

Die verschiedenen Deckenkonstruktionen widerspiegeln sich in den **Ökobilanzen**. Beim untersuchten Beispiel lässt sich eine Abnahme der untersuchten Parameter (Graue Energie bzw. zur Erstellung benötigte nicht erneuerbare Primärenergie, graue Treibhausgasemissionen sowie Umweltbelastungspunkte) mit der Reduktion der Betondeckenstärke beobachten. Variante 0B weist die schlechteste Bilanz auf, insbesondere in Bezug auf die Treibhausgasemissionen, wo sie mit 7.5% höheren Werten deutlich über der Referenzvariante 1 mit optimiert eingelegten Leitungen und optimierter Bewehrung liegt. Am besten schneidet Variante 4 mit 16 cm Betondecke und offener Leitungsführung ab. Die Treibhausgasemissionen lassen sich damit im Vergleich zur Referenzvariante um über 5 % reduzieren. Die Varianten 1 bis 3 liegen näher beieinander (innerhalb von 2 % Differenz). Entsprechende Grafiken finden sich im *Kapitel 7.1 «Ökobilanzen»*. Beim quantitativen Vergleich der Ökobilanzen gilt es zu bedenken, dass die Werte projektspezifisch variieren können und nicht nur die Betondeckenstärke für die Treibhausgasemissionen entscheidend sind, sondern auch der Bewehrungsgehalt der Betondecke einen namhaften Einfluss auf die Ökobilanz nehmen kann und jeweils zu optimieren ist. Die Deckenkonstruktionen erbringen zudem unterschiedliche Leistungen. So liefert die Variante 1 eine gute Basis zur Erfüllung der erhöhten Schallschutzanforderungen, während die Variante 4 nur mit viel Planungsaufwand, entsprechendem architektonischen Konzept sowie akkurater Detailausführung die Mindestanforderungen zu erfüllen vermag und einen erheblichen Mehraufwand bei der Nachweisführung verlangt. Die **wichtigsten Vor- und Nachteile jeder Variante** finden sich tabellarisch zusammengefasst im Kapitel 7.2 auf Seite 56.

Die Untersuchung der in der Praxis üblichen Deckenstärken hat ergeben, dass sich die Ursache für eine Überdimensionierung der Deckenstärke oftmals im erforderlichen Schallschutz manifestiert. Die **Anforderungen an den Schallschutz** gehen bei einer Optimierung mit dem Nachweis über den Schallschutz aller Schallnebenwege einher. Es werden individuelle konstruktive Details zur Einhaltung und die Berechnung der Schallnebenwege benötigt. Die Wirtschaftlichkeit ist bei zusätzlichem Planungsaufwand mitunter nicht gegeben, insbesondere wenn das Risiko von nachträglichen Haftungsfragen bei nicht fachgerechter Detailausführung und dem nicht Einhalten der Schallschutzanforderungen mit berücksichtigt wird.

Aus statischer Sicht sind Betondecken mit 16 cm starker Ausführung umsetzbar und verhältnismässig unaufwändig zu berechnen. Ein wirtschaftlicher Faktor dürfte die Erhöhung des Bewehrungsgehalts darstellen; Beton ist im Vergleich zu Eisen der günstigere Baustoff (KBOB, 2022).

Aus ökonomischer Sicht wird heute die dünnst mögliche Deckenstärke nicht angestrebt. Das optimierte Einlegen von Lüftungs- und Elektroleitungen in einer 22 cm starken Betondecke führt in der Regel zur kostengünstigeren Lösung in Planung, Ausführung und Wartung. Eingelegte Systeme sind jedoch grundsätzlich in ihrem Ausführungskonzept irreversibel. Eine nachträgliche Adaptation bei einer Grundrissanpassung, neuen Anforderungen oder wechselnden Bedürfnissen ist kaum möglich oder nur mit der Umstellung auf eine sichtbare Leitungsführung. Im Wohnungsbau sind diesbezüglich Konzeptanpassungen in der Regel viel seltener als bei anderen Nutzungskategorien. Eine saubere Trennung der statischen und gebäudetechnischen Systeme erlaubt dennoch eine langfristige Flexibilität der Nutzungskonzepte im Gebäude und bildet die Voraussetzung für das zirkuläre Bauen.

Aus ästhetischer Sicht verlangen sichtbar verlegte Leitungen von den Planenden einen feinfühligem Umgang mit Materialien und Leitungsführung. Dem bedeutend höheren Planungsaufwand steht nicht immer eine entsprechende Akzeptanz der Nutzenden gegenüber. Mit der Zunahme des zirkulären Denkens in der zeitgenössischen Architektur wächst jedoch auch die Anzahl guter gebauten Beispiele mit sichtbaren technischen Installationen im Wohnungsbau.

Unabhängig von den Vor- und Nachteilen der jeweiligen Deckensystemen konnten in der Studie **potentielle Hebel zur Senkung der Treibhausgasemissionen** aufgezeigt werden, welche im Wohnungsbau allgemein mit kleinem Aufwand und ohne wesentliche Einbussen angewendet werden können. Die Auswahl einer CO₂-armen Betonsorte erwies sich in der Beispielwohnung in der Ökobilanz bedeutender als die Reduktion der Betondeckenstärke: Konnten mit einer 16 cm Betondecke gegenüber der Referenzvariante (22 cm) rund 5 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden, erhöhten sich diese um über 25 % in der Referenzvariante 1 bei der Verwendung einer nicht explizit CO₂-reduzierten Betonsorte (im berechneten Beispiel ein Standard-Hochbaubeton der KBOB-Ökobilanzdatenliste) anstelle der in der Stadt Zürich vorgegebenen Betonsorte. (vgl. Kapitel 8.3 «Betonarten»)

Sind 16cm Beton genug?

Mit einer alternativen Unterlagsbodenmaterialisierung liessen sich ebenfalls – auch wenn weniger wirkungsvoll wie bei der Betonsorte – die Treibhausgasemissionen merklich reduzieren.

Für die Stadt Zürich stehen im Zusammenhang mit der Studie und die Anwendung deren Erkenntnisse in der Praxis drei Aspekte des Variantenvergleichs besonders im Vordergrund: die **grauen Treibhausgasemissionen** (direkte Korrelation zum städtischen Netto-Null-Ziel), die **Wirtschaftlichkeit** (gemeinnütziger Wohnungsbau) und das Verhalten hinsichtlich des **Schallschutzes** (Wohlbefinden von Mietenden und erkannter Treiber der Überdimensionierung von Betondecken). Deshalb wurden die diesbezüglichen Schlussfolgerungen der Studie in der Tabelle Z1 zusammengetragen.

Sind 16cm Beton genug?

Tabelle Z1: Vergleich der sechs untersuchten Varianten hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen für die Erstellung mit dem Standardhochbaubeton der Stadt Zürich (Recyclingbeton RC-C50, NPK A, mit Zementtyp CEM III/B), hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit sowie ihres Verhaltens bezüglich des Schalls. Die Variante 1 «Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt» mit Standardhochbaubeton wird als Referenzvariante mit 100% angegeben.

	Variante 0A: 28cm Beton, Armierung 88kg/m³ bzw. 25kg/m², Deckenspannweite 7.15 m, Gebäudetechnikleitungen suboptimal eingelegt	Variante 0B: 28cm Beton Armierung 74kg/m³ bzw. 21kg/m², Deckenspannweite 3.75 m, Gebäudetechnikleitungen suboptimal eingelegt	Variante 1 optimiert*: 22cm Beton Armierung 80kg/m³ bzw. 18kg/m² *, Deckenspannweite 3.75 m, Gebäudetechnikleitungen optimal eingelegt	Variante 2: 20cm Beton Armierung 73kg/m³ bzw.15kg/m², Deckenspannweite 3.75 m, Lüftungsleitungen in abgehängter Decke	Variante 3: 20cm Beton Armierung 73kg/m³ bzw. 15kg/m², Deckenspannweite 3.75 m, nach Schall dimensioniert, Gebäudetechnikleitungen vorwiegend sichtbar geführt	Variante 4: 16cm Beton Armierung 89kg/m³ bzw. 14kg/m², Deckenspannweite 3.75 m, nach Statik dimensioniert, Gebäudetechnikleitungen vorwiegend sichtbar geführt
Kriterium						
Treibhausgas-Emissionen THG	- besonders ungünstige Ökobilanz - ev. stärkere Foundation nötig + Verzicht auf tragende Innenwände und damit verbundene THGE möglich	- ungünstigste Ökobilanz - ev. stärkere Foundation nötig	+ rund 20% weniger Beton, rund 10% weniger THGE als Variante 0	+ Erstellungsaufwand für abgehängte Decke im Gangbereich grösser als die Reduktion von 2cm Betondeckenstärke im Vergleich zur Variante 1 +/- Ökobilanz vom Material u. System der abgehängten Decke abhängig	+ Materialreduktion: keine abgehängte Decke +/- Ökobilanz vom Material der Leitungen abhängig I	+ Materialreduktion: keine abgehängte Decke +beste Ökobilanz durch Materialminimierung +/- Ökobilanz vom Material der Leitungen abhängig I
THG bei Standard Hochbaubeton der Stadt Zürich	107.0%	107.5%	100.0%	100.8%	98.9%	94.7%
Wirtschaftlichkeit	+Einlegen als initial günstigste Lösung, PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre - allfällige langfristige Anpassungen können kostspielig sein	+Einlegen als initial günstigste Lösung, PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre - allfällige langfristige Anpassungen können kostspielig sein	+Initial günstige Lösung PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre - allfällige langfristige Anpassungen können kostspielig sein +Maximale Raumhöhe möglich	+/-initial günstiger als sichtbare Leitungsführung; grossflächige abgehängte Decke kann Mehrkosten verursachen	- initial teuerste Lösung +langfristiges Einsparungspotential bei allenfalls notwendigen künftigen Anpassungen - Einsatz hochwertiger Materialien erforderlich (teurer jedoch langlebiger) - Planungsmehraufwand	- initial teure Lösung (dünnest mögliche Betonstärke heute ökonomisch nicht anstrebenswert) +langfristiges Einsparungspotential möglich - Einsatz hochwertiger Materialien erforderlich - grosser Planungsmehraufwand
Schall	- allfällige Übertragungsgefahr durch Sanitärleitungen der oberen Wohnung oder durch mangelhafte Ausführung +bei sachgemässer Ausführung Einhaltung erhöhter Schallschutzanforderungen aber möglich	- allfällige Übertragungsgefahr. durch Sanitärleitungen der oberen Wohnung oder durch mangelhafte Ausführung +bei sachgemässer Ausführung Einhaltung erhöhter Schallschutzanforderungen aber möglich	+Einhaltung erhöhter Schallschutzanforderungen i.d.R. gut möglich (in Liegenschaften der Stadt Zürich erhöhte Anforderungen jedoch nicht gefordert)	+bei sachgemässer Ausführung Einhaltung der Mindestanforderungen unproblematisch, Leitungen in eigener Wohnung - erhöhte Schallschutzanforderungen i.d.R. nicht erfüllbar	+bei sachgemässer Ausführung Einhaltung der Mindestanforderungen unproblematisch, Leitungen in eigener Wohnung - erhöhte Schallschutzanforderungen i.d.R. nicht erfüllbar	- benötigt entsprechendes Konzept (Architektur + Ausführungsdetails), nicht bei jedem Konzept anwendbar - Akkurate Berechnung der Schallnebenwege nötig zur Erfüllung der Mindestanforderungen, bei gutem Konzept jedoch erfüllbar

*: Der optimierte Bewehrungsgehalt bei der Variante 1 beinhaltet ein abwechselndes Verlegen von zwei unterschiedlichen Stab-Durchmessern, was im Hochbau kein standardmässiges Vorgehen ist. Die Optimierung wurde explizit für das Fallbeispiel Leutschenbach berechnet und kann nicht ohne statische Überprüfung auf andere Grundrisse übertragen werden. Bei Ausführung ohne abwechselnden Stab-Durchmessern würde ein Bewehrungsgehalt von 96 kg/m³ resultieren.

2 Ausgangslage

Deckenstärken von Massivbauten werden in der Planung heute oftmals nicht mehr aufgrund der eigentlichen statischen Anforderungen, d.h. der Spannweiten, dimensioniert. Zunehmend sind andere Aspekte entscheidend, z.B. die Schallanforderungen, der Platzbedarf von eingelegten Leitungen der verschiedenen Gewerke (oftmals mit Kreuzungen) oder die partielle statische Schwächung durch eingelegte Leitungen.

Abbildung 1 zeigt Extremsituationen von Einlagen in Betondecken sowie nicht untypische Beispiele aus dem heutigen Wohnungsbau mit einem überdurchschnittlich hohen Anteil an eingelegten Leitungen.

Werden Leitungen der gebäudetechnischen Verteilung nicht in Decken eingelegt, kommen in der Regel abgehängte Decken (mehr oder weniger) grossflächig zum Einsatz. Dies hat einen Einfluss auf die Innenraumhöhen und so möglicherweise auch auf die Gebäudehöhen.

Der Umgang mit Materialressourcen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ökobilanz des Gebäudes. Bei deren Erstellungsaufwand spielen Decken eine wesentliche Rolle. Dazu tragen sowohl die Deckentragkonstruktion als auch Deckenaufbauten sowie abgehängte Deckensysteme bei. Generell gilt der erhöhte Einsatz von Beton als Baumaterial heute als Treiber hinsichtlich der Umweltbelastung im Bausektor. Materialsuffizienz ist ein wirkungsvolles Konzept, um Ressourcen nachhaltig zu schonen und den Anteil an grauer Energie und Treibhausgasemissionen zu senken.

Sind 16cm Beton genug?

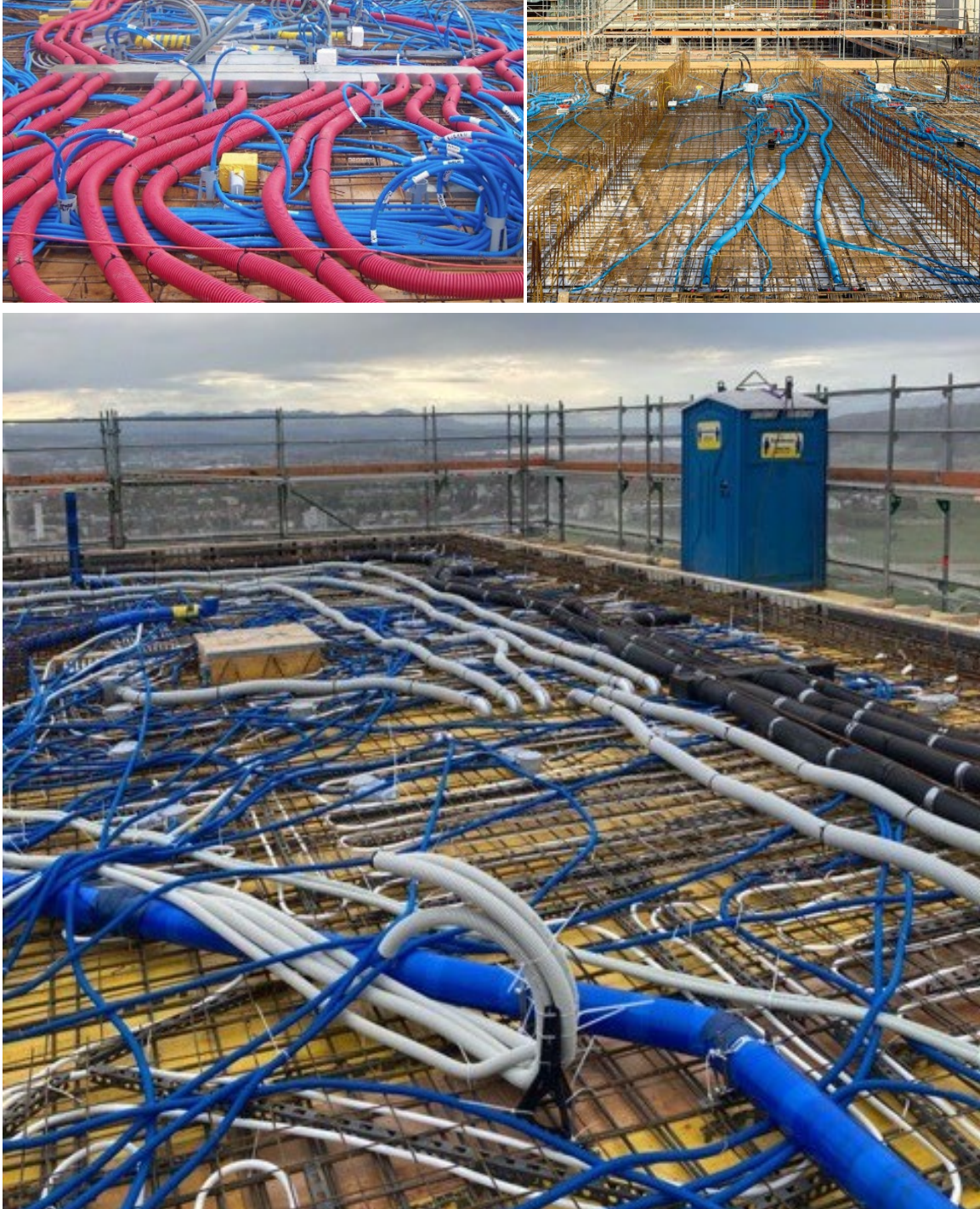


Abbildung 1 Einlagen von gebäudetechnischer Verteilungsleitungen vor dem Betonieren von Decken.

Oben links: ein «Extremfall» zu Rohreinlagen in Decken aus Schweizer Baudokumentation – baudokumentation.ch

Oben rechts: Bild von Einlagen im Wohnungsbau aus dem [suissetec](http://suissetec.ch) Merkblatt 12 – 2021 «Einlagen in Beton – Gebäudetechnik (HLKS)» – suissetec.ch

Unten: Einlagen aus einem aktuellen Baubespiel: Wohnturm «three point» in Dübendorf – www.3-point.ch.

3 Ziel

Im Rahmen der Studie soll in erster Linie untersucht werden, ob die Gebäude der Stadt Zürich dank möglichst dünner Betondecken in einer gesamtheitlichen Betrachtung weniger Emissionen in der Erstellung verursachen können und einen Beitrag zum nachhaltigen Wohnungsbau leisten können. In einer qualitativen Gegenüberstellung sollen dabei positive und negative Auswirkungen von sichtbar geführten Verteilleitungen untersucht und diskutiert werden. Es soll der Frage nachgegangen werden, ob der Verzicht auf eine Leitungsführung innerhalb von tragenden Bauteilen wieder statische Betondeckenstärken von 16 cm – oder zumindest eine Reduktion der heute üblichen Deckenstärken – ermöglicht, welche trotzdem die aktuellen bauphysikalischen und statischen Anforderungen erfüllen. Ebenfalls sollen Beispiele gesucht werden, welche unterschiedliche Konzepte in diesem Zusammenhang umgesetzt haben.

Die Arbeit soll eine Auslegeordnung liefern zu den Auswirkungen des Entscheids hinsichtlich des horizontalen Verteilsystems innerhalb von Wohnungen auf die Gewerke, die statischen und bauphysikalischen Erfordernisse und somit auf die Bauökologie, insbesondere auf die grauen Emissionen der Gebäude. Diesbezüglich wird eine quantitative Untersuchung beispielhaft an einem Wohngebäude konkretisiert. Die Studie soll aufzeigen, welche Kriterien beim Systementscheid eine Rolle spielen. Bei der Diskussion werden neben der Bauökologie Aspekte der gesamtheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung mitberücksichtigt, insbesondere der Bauphysik, der Statik, der unterschiedlichen Materialwahl sowie der Zirkularität der Konstruktion.

4 Vorgehensweise

4.1 Annahmen anhand der Wohnungstypologie

In einem ersten Schritt wurden 5 verschiedene Beispielsysteme für Deckenaufbauten und gebäudetechnische Leitungsführungen festgelegt. Sie stellen konzeptionell unterschiedliche Grundsatzsysteme dar, welche auf verschiedene Anforderungen hin optimiert wurden. Die 5 Systeme wurden anhand einer Beispielwohnung der Stadt Zürich konkretisiert und in Absprache mit den Auftraggebenden ausgewählt (Ausführungsvarianten 0 bis 4, Abschnitte 4.2 «Bestimmung von Beispieldeckensystemen», 6 «Ausführungsvarianten und Erkenntnisse» und 7 «Gegenüberstellung der Varianten»).

In einem zweiten Schritt wurden übergeordnete Aspekte, welche im Rahmen der bauökologischen Betrachtung eine Rolle spielen können, ebenfalls an der Beispielwohnung untersucht. Dazu gehören die Auswahl von unterschiedlichen Betonsorten, der Einfluss von unterschiedlichen statischen Spannweiten für die Betondecken sowie die Auswirkung von alternativen Unterlagsboden- oder Elektroverteilungskonzepten in der Wohnung (Abschnitt 8 «Vertiefte Analysen»)

Die exemplarische Wohnung ist Bestandteil der sich zum Zeitpunkt der Studie im Bau befindlichen Wohnsiedlung Leutschenbach in Zürich und bildet somit einen kosteneffizienten, aktuellen Neubau ab. Die Siedlung ist bereits auf sich verändernde Bedürfnisse ihrer Mieter*innen eingestellt: Das Repertoire umfasst 2 - 6½-Zimmer-Wohnungen, Clusterwohnungen, Studios, Atelierwohnungen und zumietbare Zimmer. Mit 46 % liegt der Schwerpunkt jedoch auf 4 - 4½-Zimmer-Wohnungen und geht somit auf den grössten Bedarf ein (Stadt Zürich, 2022). Die Wohnungstypologie orientiert sich an den minimalen Flächenvorgaben der städtischen Wohnbauförderung mit minimierten Erschliessungsflächen. Es handelt sich um eine Wohnung in einem mehrgeschossigen Wohnhaus als Massivbau in Schottenbauweise ausgebildet, welches zwei separate Zweispänner mit zueinander versetzten Treppenkernen verbindet. Der Grundriss ist Abbildung 2 zu entnehmen. Aufzugs- sowie grössere Installationsschächte sind jeweils Teil der Treppenkern. Mittig der Zweispänner befindet sich eine Vorwandinstallation (inkl. kleiner dimensioniertem Schacht). Die maximale Spannweite liegt im Fallbeispiel bei 4,8 m für einen Einfeldträger.

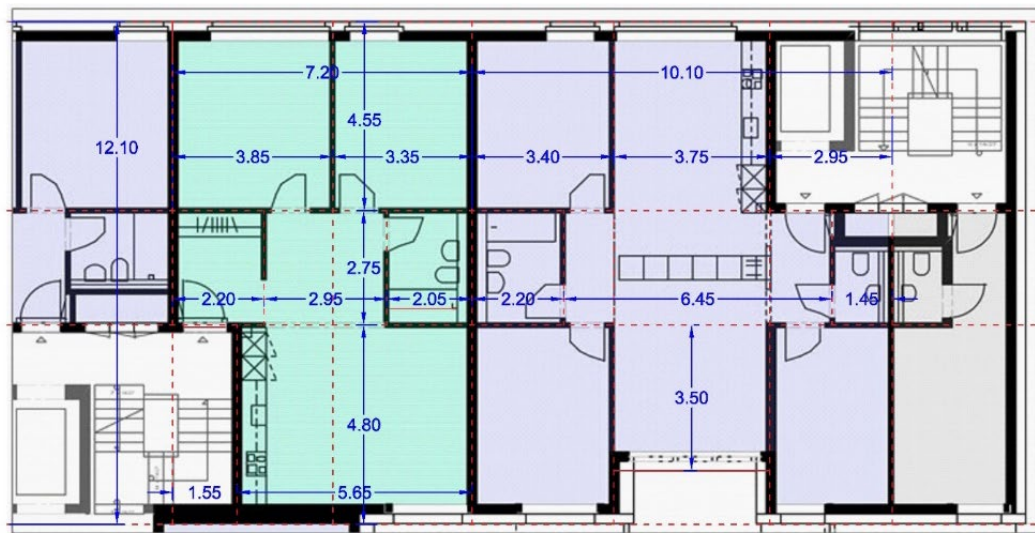


Abbildung 2 Exemplarischer Grundriss anhand einer Wohnung der städtischen Wohnsiedlung Leutschenbach

Aus dieser Wohnungstypologie folgen Annahmen gemäss SIA Norm 261:2014 für die Untersuchung von einer Nutzlast von $2,0 \text{ kN/m}^2$ (Balkon und Treppenhaus werden nicht betrachtet) und zu üblichen Spannweiten im Wohnungsbau. In der Gegenüberstellung der Varianten wird auf die Spannweiten der Beispielwohnung spezifisch Bezug genommen (Abschnitt 5.1 «Statik»). Eine Vergrösserung der Spannweite führt i.d.R. zur Erhöhung der Betondeckenstärke. Tragende Innenwände werden im Beispiel als Mauerwerk in 17,5 cm Stärke, nicht tragende Innenwände als Mauerwerk in 11,5 cm Stärke angenommen. Wohnungstrennwände werden als 25 cm dicke Betonwände eingeschätzt. Alle Wände sollen beidseitig verputzt werden und mit einer Standardhöhe von 2,4 m angenommen worden.

4.2 Bestimmung von Beispieldeckensystemen

Die Festlegung des Deckenaufbaus basiert auf Erfahrungswerten sowie der Beratung von Fachkundigen. Die zu berücksichtigenden Gebäudetechnik-Systeme umfassen Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektro. Ihre Leitungsführung wird in unterschiedlichen Deckenvarianten untersucht. Nachfolgend werden die einzelnen Systeme bzw. deren Prinzip kurz erläutert, der detaillierte Beschrieb sowie der Deckenaufbau findet sich im Kapitel 6 «Ausführungsvarianten und Erkenntnisse».

**Variante 0A: Alle Gebäudetechnikleitungen eingelegt
(28 cm Beton, Armierung 88 kg/m³ bzw. 25 kg/m²)**

Es wird die Fussbodenheizung in den Unterlagsboden integriert und alle anderen gebäudetechnischen Leitungen in die Betondecke eingelegt. Die **28 cm** dicke Betondecke wird so dimensioniert, dass punktuelle Kreuzungen von Lüftungsleitungen innerhalb der Betondecke auftreten können. Dadurch soll die maximale Betonstärke mit dem entsprechenden Armierungsgehalt für das Fallbeispiel ermittelt und womöglich ein Extrem-Szenario abgebildet werden. Erste Gespräche mit den miteinbezogenen Fachleuten zeigten auf, dass die Variante heute bei Neubauten oftmals die Realität darstellt. In Wohnbauten der Stadt Zürich würde ein solcher Aufbau jedoch bereits heute nicht umgesetzt werden.

**Variante 1: Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt
(22 cm Beton, Armierung 80 kg/m³ bzw. 18 kg/m²)**

In diesem System wird die Fussbodenheizung in den Unterlagsboden integriert und Elektro- sowie Lüftungsleitungen in die **22 cm** dicke Betondecke eingelegt, jedoch ohne Kreuzung der Lüftungsleitungen. Die Sanitärleitungen werden direkt an den Schächten platziert oder mithilfe von Vorwandsystemen angeschlossen. Diese Variante bildet den Stand der Technik ab und wird demnach als Referenz gewählt, mit dem die anderen Systeme verglichen werden können. Eine solche Deckenkonstruktion bildet in i.d.R. eine solide Basis, um die erhöhten Schallanforderungen gemäss Norm SIA 181:2020 (SIA, SIA Norm 181:2020 Schallschutz im Hochbau, 2020) einhalten zu können.

**Variante 2: Abgehängte Decke für die Lüftungsleitungen, Betondecke nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert
(20 cm Beton, Armierung 73 kg/m³ bzw. 15 kg/m²)**

In dieser Variante wird wieder die Fussbodenheizung in den Unterlagsboden integriert. Es werden lediglich Elektroleitungen in die Betondecke eingelegt; Sanitärleitungen werden in Schächten bzw. Vorwandsystemen geführt und die Lüftungsverteilung mit Kunststoffrohren erfolgt mithilfe einer **abgehängten Decke** unterhalb der **20 cm** dicken Betondecke. Die Dimensionierung der Deckenstärke erfüllt die Schall-Mindestanforderungen gemäss Norm SIA 181:2020

**Variante 3: Gebäudetechnikleitungen vorwiegend sichtbar, Betondecke nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert
(20 cm Beton, Armierung 73 kg/m³ bzw. 15 kg/m²)**

In diesem Szenario erfolgt die Dimensionierung der **20 cm** dicken Betondecke anhand der Schall-Mindestanforderungen nach SIA 181. Es werden keine Gebäudetechnik-Leitungen in der Betondecke eingelegt: Die Fussbodenheizung wird erneut in den Unterlagsboden integriert; Sanitärleitungen werden an Schächten geführt. **Elektro- und Lüftungsleitungen** werden konsequent vom Tragsystem getrennt und vorwiegend **sichtbar geführt**, wobei eine realistische Materialwahl Beachtung findet. Die Lüftungsleitungen werden unterhalb der Betondecke, die vertikalen Elektroleitungen an den Wänden sichtbar geführt. Die horizontale Elektroverteilung wird kreuzungsfrei in der

Dämmschicht unterhalb des Unterlagsbodens verlegt. Auf Details zur Ausführung der Elektroverteilung innerhalb der Wohnung wird im Kapitel 8.3 «Elektroleitungen» eingegangen.

Variante 4: Gebäudetechnikleitungen vorwiegend sichtbar, Betondecke nach Statik dimensioniert

(16 cm Beton, Armierung 89 kg/m³ bzw. 14 kg/m²)

Die Betondeckenstärke und der Armierungsgehalt werden anhand der Spannweite dimensioniert. Es werden keine Gebäudetechnik-Leitungen in der Betondecke eingelegt: Die Fussbodenheizung wird erneut in den Unterlagsboden integriert; Sanitärleitungen werden an Schächten geführt. **Elektro- und Lüftungsleitungen** werden konsequent vom Tragsystem getrennt und analog der Variante 3 vorwiegend **sichtbar geführt**. Auch hier wird auf eine realistische Materialwahl für die sichtbare Leitungsführung geachtet. Dieses Szenario sollte Aufschluss darüber geben, ob **16cm** für die Betondecke mit entsprechender Bewehrung bei geringen erforderlichen Spannweiten ausreichend und sinnvoll sind.

Eine Deckenstärke von 18 cm wurde nicht explizit untersucht, weil das Einlegen von Lüftungsleitungen bei der Betonstärke nicht üblich ist und 16 cm der Extremfall in der Reduktion der Deckenstärke ohne besondere statische Vorkehrungen darstellen dürfte. Ergebnisse für die durchaus denkbare 18 cm Decke sind jedoch mit der Analyse der restlichen Varianten abschätzbar.

4.3 Recherche zum Stand der Technik

Als nächstes wurde eine Literaturrecherche mit dem Schwerpunkt auf der Ermittlung von Deckenstärken anhand von Schall-, Brandschutz, Statik und sichtbarer und eingelegter Leitungsführung in Betondecken durchgeführt. Bisherige Studien und Ansätze wurden analysiert und tabellarisch zusammengestellt. Insbesondere *Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetondecken mit integrierten Leitungsführungen* (Thiele, 2007), *Schallschutz im Wohnungsbau* (Lang, 2006) und *Konzeptstudie nachhaltiger Betonbau* (CSD Ingenieure AG, 2019) wurden auf relevante Erkenntnisse hin überprüft. Der Miteinbezug von Fachleuten inner- und ausserhalb der HSLU bildete einen grundlegenden Bestandteil der Untersuchung. Dazu wurden folgende Fachgebiete formuliert: *Bauphysik, Statik, Ökobilanzierung, Gebäudetechnik, Architektur, Kreislaufwirtschaft und Akustik*. Mit Sachkundigen wurden Interviews für weitere Erkenntnisse durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Rechercheergebnisse ist Teil des vorliegenden Berichts.

Im Rahmen der Studie wurden zudem Praxisbeispiele untersucht. Ausgewählte Fallbeispiele inklusive Bildmaterial und Kurztexten wurden dokumentiert und in Kurzberichtform zusammengestellt (Anhang 13.5 «Fallbeispiele»).

4.4 Auslegeordnung zu Vor- und Nachteilen der Systeme

Aus der Literaturrecherche, Fallbeispielen und Experteninterviews wurde mit den wichtigsten Erkenntnissen, unter Berücksichtigung von quantitativen und qualitativen Aspekten, eine Auslegeordnung zu Vor- und Nachteilen des jeweiligen Systems entwickelt. Die Studie beinhaltet vereinfachte Berechnungen zu Ökobilanz, Statik und Akustik zum ausgewählten Wohnungsbeispiel, basiert auf den Erkenntnissen aus anderen Studien und auf den Erfahrungswerten der angefragten Fachleute. Detaillierte statische Berechnungen und gesamtheitliche Ökobilanzen sowie eine Ausweitung der Berechnung auf andere Gebäudebeispiele sind nicht Bestandteil der Untersuchung. Bei den Ökobilanzen werden nur Bauteile berücksichtigt, welche für den Vergleich der untersuchten Ausführungsvarianten relevant und dienlich sind. Aufgrund der Auslegeordnung zu den untersuchten Aspekten lassen sich dennoch Schlussfolgerungen entwickeln, aus denen allgemeine Handlungsempfehlungen hervorgehen.

4.5 Workshop mit Fachleuten

Am Montag, dem 20. Dezember 2021 wurde mit den Auftraggebern sowie den Fachleuten ein Workshop durchgeführt. Bestandteil des Workshops war eine Darlegung der provisorischen, bis dahin evaluierten Auslegeordnung und eine anschließende Diskussion. Die Auslegeordnung konnte mit wichtigen Informationen ergänzt werden.

4.6 Bericht mit Ausblick und Empfehlungen

Die wichtigsten Ergebnisse aus dem Workshop wurden gesammelt, ausgewertet und konsolidiert. Die Erkenntnisse bilden die Basis des vorliegenden Schlussberichts. Dieser beinhaltet sowohl alle Rechercheergebnisse sowie eine Übersicht von gebauten Praxisbeispielen im Anhang als auch einen Ausblick. Anhand der belastbaren Erkenntnisse können feststehende Handlungsmuster überprüft und angepasst werden. Mit zunehmender Relevanz von Ressourcen, Grauer Energie und Treibhausgasemissionen als Entscheidungsgrundlage leistet der Schlussbericht einen Beitrag zum notwendigen Paradigmenwechsel im Bauen. Das heisst: Einen ressourcenschonenden und klimagerechten Gebäudepark realisieren. Die handhabbaren Kategorien sollen eine zügige Implementierung der Erkenntnisse in der Baupraxis ermöglichen.

5 Anforderungen an Betondecken

5.1 Statik

Betondecken werden in der Planung oftmals nicht mehr aus Sicht der Statik dimensioniert. Den Beweis dazu liefern u.a. Bauten aus der Nachkriegszeit, welche schnell und kostengünstig erstellt werden mussten – 16 cm Betondecken waren zu dieser Zeit ausreichend. Im Wohnungsbau der 60er Jahre waren 16 cm oftmals die Regel. Gar bis in die 2000-er Jahre sind noch solche Beispiele anzutreffen. Der Trend zu flexibler Raumgestaltung führt jedoch mitunter zu grösseren Spannweiten, welche entsprechend stärkere Decken, bzw. eine Erhöhung der Deckenstärke, bedingen.

Die statische Eignung wird in der Baupraxis durch einen Tragfähigkeitsnachweis erbracht. Miteinbezogen in die Berechnung wird dabei die Nutzlast, die Auflast des Fussbodenaufbaus sowie das Eigengewicht der Konstruktion. Im Wohnungs- aber auch Bürobau kann von durchschnittlichen Stützweiten von etwa 6 m ausgegangen werden. Da in der Studie die minimale Deckenstärke am ausgewählten Beispiel untersucht werden soll, wird in Absprache mit den Fachleuten und zur Wiedergabe der wahrscheinlichen realen Ausführung von einer maximalen Spannweite von 7,15 m für die 28 cm dicken Betondecke ausgegangen, da bei dieser Deckenstärke die dünnere Mittelwand nicht tragend ausgebildet werden kann (Variante 0A). Die restlichen Deckenstärken sind mit einer Spannweite von 3.75 m berechnet (Varianten 1 bis 4). Um einen direkten Vergleich zwischen den verschiedenen Deckenstärkenvarianten unter gleichen statischen Voraussetzungen zu ermöglichen, wurde in einer zusätzlichen Variante 0B die Berechnung für eine Betondeckenstärke von 28 cm ebenfalls unter der Annahme einer maximalen Spannweite von 3.75 m durchgeführt. Überlegungen und die Ökobilanz zu dieser Variante werden im Kapitel 8.1 «Spannweiten» näher erläutert.

Die statischen Eigenschaften von Deckenkonstruktionen verlaufen nicht linear zur Spannweite, daher können Gegebenheiten von Zug- und Druckfestigkeit bei verschiedenen Stützweiten stark variieren. Auch die Wahl der Deckenkonstruktion (Plattendecke mit oder ohne Vorspannung, Spannbeton-Hohldecke, Leichtbetondecke usw.) erfolgt anhand der erforderlichen Spannweite.

Eine konventionelle Plattendecke ist aufgrund der optimierten Schalungstechnik wirtschaftlich und anpassungsfähig. Bei Deckenstärken von 16 cm – 30 cm können Spannweiten von etwa 8 m schlaff¹ bewehrt erreicht werden. In Kombination mit Vorspannung oder Unterzügen kann die Spannweite vergrössert werden (Koliha, 2016).

Die Menge der notwendigen Bewehrung in einer Decke hängt hauptsächlich von der Spannweite, den Anteil Einlagen und von der Betonstärke der Decke ab. In der Studie wurde für jede Variante, in Abhängigkeit der Spannweite und der Deckenstärke, der

¹ Stahlbetonbauteile, z.B. Decken, können schlaff oder vorgespannt bewehrt werden. Beim Einbau vor Ort kommt überwiegend schlaffe Bewehrung zum Einsatz, dabei wird der Bewehrungsstahl „schlaff“ in die Schalung eingelegt. Erst nach Erhärten des Betons, wenn das Bauteil nach dem Ausschalen belastet wird, übernimmt der Stahl die Zugkraft.

jeweils notwendige Bewehrungsanteil berechnet. Dementsprechend variiert der Bewehrungsanteil in den Varianten zwischen 73 kg/m^3 (20 cm Betondecke) und knapp 90 kg/m^3 (16 cm Betondecke). Wesentlich für den Bewehrungsanteil sind die einzusetzenden Durchmesser der Bewehrungsseile. Entscheidend dafür sind primär die statischen Anforderungen, aber die auf dem Markt erhältlichen Durchmesser sowie vereinfachte Abläufe in der Baupraxis (siehe dazu Detailberechnungen und die Zusammenstellung in Kapitel 13.2). Da Bewehrungsstäbe Zugkräfte aufnehmen, werden sie nicht mittig in der Decke angeordnet und benötigen jeweils eine Betonüberdeckung. Innenräume von Wohngebäuden sind einer niedrigen Expositionsklasse zugeordnet, weshalb eine Betonüberdeckung von 20 mm ausreicht. Der berechnete und für die Ökobilanzierung angenommene Bewehrungsanteil wird im Beschrieb der untersuchten Varianten im Kapitel 6 «Ausführungsvarianten und Erkenntnisse» jeweils erläutert.

In den Berechnungen zur Ökobilanz der Varianten 0 bis 4 (Kapitel 7.1) wurde der vorgegebene Standardhochbaubeton der Stadt Zürich angenommen (Recyclingbeton RC-C50, NPK A, mit Zementtyp CEM III/B) angenommen. Ein bedeutendes Optimierungspotential hinsichtlich der Gebäudeökobilanz liegt jedoch in der Auswahl der am Bau eingesetzten Betonsorten. In einem zweiten Schritt wurde deshalb eine Analyse durchgeführt, die aufzeigt, wie gross die Varianz der Ökobilanz aufgrund der Betonsortenwahl im Vergleich zu derjenigen mit der Reduktion der Deckenstärken sein kann (Kapitel 8.2 «Betonsorten»).

5.2 Akustik

Die Anforderungen an die Schalldämmung der Trennbauteile sind in der SIA Norm 181 (SIA, SIA Norm 181:2020 Schallschutz im Hochbau, 2020) definiert. Bei Neubauten von Wohnungen, die als Stockwerkeigentum fungieren sollen, gelten erhöhte Anforderungen an den Schallschutz. Die Mindestanforderungen zum Schutz gegen Aussenlärm für eine mittlere Lärmempfindlichkeit für Mietwohnungen in Mehrfamilienhäusern (MFH) als Ausgangslage für diese Studie betragen: $D_e \geq L_r^2 \text{ Tag} - 33 \text{ dB}$ (erhöhte Anforderungen 3 dB strenger) und $D_e \geq L_r \text{ Nacht} - 25 \text{ dB}$ (erhöhte Anforderungen 3 dB strenger). Bei potenziell angrenzenden lauten Nutzungen ist dem Baugesuch ein Schalldämmnachweis beizulegen, welcher Berechnungen zu betreffenden Konstruktionen enthält. Zu beachten sind **Schallnebenwege**, wie Schwachstellen bei Leitungen und Lüftungskanälen. Da bei Neubauten Nutzungsbeschränkungen unerwünscht sind, werden die Bauteile auf kritische Nutzungen ausgelegt und somit **tendenziell überdimensioniert**.

Heutzutage sind die eigenen vier Wände nicht nur Wohn-, sondern auch Rückzugs- und Erholungsort. Um alle bauphysikalischen Anforderungen, insbesondere in Bezug auf **Trittschall** zu gewährleisten, Speichermasse zu generieren sowie Heizsysteme zu integrieren werden häufig aufwändigere Fussbodenaufbauten ausgeführt, als die

² L_r ist der anzuwendende Beurteilungspegel laut AfU (Amt für Umwelt, Schweiz)

minimalen Schallschutzanforderungen erfordern würden. Der Standard-Fussbodenaufbau, der für alle Varianten als Ausgangslage angenommen wurde, richtet sich an die oben beschriebenen Mindestanforderungen und gliedert sich gemäss Tabelle 1.

Tabelle 1 Angenommener Fussbodenaufbau für die Fallstudie mit Material, Materialstärken und physikalischen Eigenschaften, welcher zur Ermittlung der Ökobilanz anhand der Daten der KBOB Liste (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023) herangezogen wurde.

Material	Dicke	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Gewicht
	(m)	(W/mK)	(kg/m ³)	(J/kgK)	(kg/m ²)
Parkett 3-Schicht	0.015	0.17	ca. 530	1700	7.9
Unterlagsboden Anhydrit	0.070	0.12	2000	1000	140.0
Polyethylenfolie (PE)	0.0002	-	920	-	0.2
Glaswolle	0.020	0.035	65	1030	1.3
EPS	0.020	0.033	30	1450	0.6
Polyethylenfolie (PE)	0.0002	-	920	-	0.2

Ein besonderes Augenmerk hinsichtlich der Akustik liegt zudem auf Wand-Deckenanschlüssen: Gemauerte Wände werden meistens mit einer Schallschutzmatte gegenüber der Betondecke akustisch abgekoppelt. Da Leitungen diese zumeist durchdringen, muss der Schallschutz hier gesondert betrachtet werden.

Einfache Schallnachweise zu Luft- und Trittschall nach SIA-Norm 181 (2020) zu den verschiedenen Varianten finden sich im 13.4 Schallberechnungen.

5.3 Gebäudetechnik

5.3.1 Heizung

Im Gegensatz zu Körpersystemen (z.B. Radiatoren), übertragen Flächentemperiersysteme thermische Energie nicht nur über Konvektion an vorbeiströmende Luftmassen, sondern primär über Strahlung. Die Strahlung wird gleichmässig über grosse Flächen abgegeben und bei Kontakt mit Festkörpern (Wände, Personen) wirksam. Die Temperatur der Raumluft kann bei hohem Komfort geringer ausfallen und es wird weniger Vorlauf benötigt. Daher eignen sich Flächenheizungen besonders für den Einsatz mit regenerativen Energien wie Geo- und Solarthermie in Kombination mit Wärmepumpen. Ein Vorteil gegenüber Radiatorheizungen ist die freie Raumgestaltung, konstruktiv sollte dafür jedoch die Wärmeleitfähigkeit des Bodenbelags bedacht werden. Flächenheizungen können in Form von Wand-, Decken- oder Fussbodenheizungen ausgeführt werden.

Fussbodenheizungen, welche im Unterlagsboden eingelegt werden, sind im Wohnungsbau mittlerweile **Standard**, daher ist dieses System in allen Varianten Bestandteil dieser Untersuchung. Es handelt sich hierbei um ein träges Heizsystem, welches zwar auf Temperaturänderungen langsamer reagiert, dafür jedoch als Speichermasse fungiert und somit während unbeheizter Phasen ein gleichmässiges Raumklima ermöglicht.

Auf alternative Systeme wie **Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS)** wird in dieser Studie nicht eingegangen, da sie im Wohnungsbau bisher kaum Anwendung finden. TABS könnten aber im Wohnbau ebenso Vorteile mitbringen, vor allem angesichts des Klimawandels und den steigenden Temperaturen im Sommer, da das System sehr effizient zur sanften Kühlung eingesetzt werden kann. Interessant könnten TABS zudem in der Gesamtemissionsbilanz werden, wenn dadurch auf den Unterlagsboden verzichtet werden kann (vgl. Kapitel 8.2 «Bodenaufbau und Unterlagsboden»).

Deckenheizungen sind interessante Alternativen zu Fussbodenheizungen, da sie weniger träge reagieren, mit deren Einsatz weniger Konvektion entsteht und eine angenehme Kühlung im Sommer erreicht wird. Sie werden ebenfalls nicht betrachtet, da sich die Anwendung derzeit vorwiegend auf Bürogebäude konzentriert. Die Voraussetzung für den komfortablen Einsatz von Deckenheizungen ist eine gute gedämmte Gebäudehülle respektive tiefe Heizlasten. Die Anwendung bei nicht gut gedämmten Gebäuden bzw. mit hohen Heizlasten ist mit Einbussen der Behaglichkeit verbunden (Nähe des Kopfes zur Wärmeabgabestelle).

Wandheizungen gehören ebenfalls zu den Flächentemperiersystemen, weisen ähnliche Eigenschaften auf und sind effizienter als Fussbodenheizungen, da mehr Strahlungswärme übertragen wird. Kühlung ist ebenfalls möglich. Nachteile dieses Systems ergeben sich durch die weniger flexible Raumgestaltung, kostenintensive Installation und Notwendigkeit ausreichender Dämmstärken in Wandebene. Wandheizungen können sich für Altbausanierungen anbieten, wenn die Aussenwände ausreichend gedämmt sind und werden bestenfalls mit Lehmputz kombiniert, um ein angenehmes Raumklima zu generieren.

5.3.2 Lüftung

Es gibt mehrere Varianten von Lüftungskonzepten, welche nicht im Detail erläutert werden. Allgemein kann zwischen zentralen und dezentralen Lüftungssystemen sowie mechanischer und natürlicher Lüftung in Kombination mit Ventilatoren (oder Verbundlüftern) und Fensterfalz unterschieden werden.

Die mechanische Zentrallüftung von Wohnungen wird auch als kontrollierte Wohnungslüftung (KWL) bezeichnet (Huber, 2022). Der Unterschied zur natürlichen Lüftung besteht darin, dass genau definierte Luftvolumenströme bewegt und infolgedessen eine gute Raumluftqualität gewährleistet werden kann. Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung können einen relevanten Mehrwert für die Energiebilanz von Gebäuden liefern.

Im SIA-Merkblatt 2023 (SIA, 2008) und der Broschüre «Gute Raumluf – Standardlüftungssysteme im Minergie-Wohnhaus» sind drei Grundtypen von Lüftungssystemen mit mechanischer Lüftung beschrieben, welche am weitesten verbreitet sind. Diese werden von Minergie als sogenannte Standardlüftungssysteme bezeichnet (Huber, 2022). Übliche Lüftungssysteme umfassen Fensterlüftung, einfache Abluftanlagen, einfache Lüftungsanlagen (auch als «Komfortlüftung» von Minergie bezeichnet und als Einzelwohnungsanlagen und Mehrwohnungsanlagen umsetzbar), Einzelraum-Lüftungsgeräte und Lüftungsanlagen mit Lufterwärmung.

Dezentrale Lüftungsgeräte lüften in der Regel nur einzelne Räume (oder Wohnungen), wie z.B. innenliegende Nasszellen. In Wohnräumen werden sie typischerweise in unmittelbarer Nähe des Lüftungsschachtes oder von Fenstern angebracht.

Einlagen von Lüftungsleitungen, insbesondere im Wohnungsbau, haben sich mit dem Einzug der kontrollierten Komfortlüftung in der Schweiz zu einem Standard entwickelt. Aufgrund der gewünschten Luftauslässe im Fassadenbereich wurden lange Leitungsführungen notwendig. Heute werden wieder einfachere Systeme mit kurzer Leitungsführung eingesetzt, die beispielsweise Luftauslässe über Türen beinhalten. Die heutige Tendenz zu Low-Tech-Ansätzen und Systemtrennung bietet neue Chancen für offene Leitungsführung und partiell abgehängte Deckenkonstruktionen. Auch innovative Materialien können sinnvollerweise in Zukunft zur Leitungsführung eingesetzt werden (Settembrini, et al., 2022).

Kreuzungen der Leitungen, insbesondere mit Abwasserleitungen, sollten vermieden werden, da infolgedessen die Erhöhung der Deckenstärke in der Regel notwendig wird. Flexible Rohre müssen eine glatte Innenoberfläche aufweisen; starre Rohrsysteme werden als Spiralfalzrohre mit genügender Festigkeit ausgebildet. Alle Leitungsabstände untereinander müssen mind. 2-mal den Aussendurchmesser betragen und sind gegen Auftrieb zu sichern.

Bei Anschlüssen an Verteiler und Dosen müssen Rohre zusätzlich an der Bewehrung fixiert werden, damit ein Lösen beim Vorgang des Betonierens ausgeschlossen werden kann. Für eingelegte Spiralfalzrohrsysteme sollten Formstücke mit Gummilippendichtung verwendet werden, die gegen das Eindringen von Beton mit Kleber oder einem Schutzschlauch (sofern keine Wärme- oder schalltechnische Dämmung notwendig ist) zu sichern sind. Auch bei eingelegten Luftkanälen muss der Betoneintritt durch ausreichende Stabilität verhindert werden (Suissetec, 2021).

Lüftungsleitungen haben hohe Anforderungen an Schall- und Brandschutz, Hygiene und Tragfestigkeit. Die stark schwankenden Temperaturen in Verbindung mit Luftfeuchtigkeit erfordern robuste und keimresistente Kanäle. Lüftungskanäle sollten daher einen geringen Strömungswiderstand, glattwandig und gut zu reinigen sein.

5.3.3 Sanitär

Einlagen von Sanitärleitungen (Abwasser, Kalt- und Warmwasser) sind in der Schweiz, im Gegensatz zu Europa, sehr verbreitet (Suissetec, 2021).

Für Ablaufleitungen gelten erhöhte Schallschutzanforderungen. Hier kommen meist Kunststoffleitungen (PE oder PE-S2-Leitungen) zum Einsatz; es sind ausschliesslich Materialien mit Anschlussmuffen möglich und Kalt- und Warmwasseranschlussleitungen sollen nur als flexible Kunststoffleitungen im Schutzrohr eingelegt werden, welche nach SIA 385/2 dimensioniert werden und möglichst kurz auszubilden sind. Die Norm SN 592 000 gibt minimale und optimale Werte zu Gefälle in Betondecken an, wenn Sanitärleitungen eingelegt werden. Kreuzungen mit Ablaufleitungen, vor allem bei Fallstrangumlenkungen, sind zu vermeiden.

Bei Leitungsverlegung ist insbesondere auf den Schallschutz zu achten, da hier mit einem erhöhten Geräuschpegel zu rechnen ist, der von Nutzenden zumeist als störend wahrgenommen wird.

5.3.4 Elektro

Elektroleitungen werden in der Schweiz in der Regel eingelegt. Die Verlegung erfolgt nach der Reihenfolge der beteiligten Gewerke am Bau. In der Regel befinden sich die Elektroleitungen allerdings über der Bewehrung und unterhalb der Ebene der Lüftungskanäle. In anderen Ländern ist eine Verlegung in, auf oder unter Putz Standard. Hierfür gibt es nur in seltenen Fällen eine exakte Plangrundlage. In der Studie wird von einer konventionellen Leitungsführung innerhalb von Decken (eingelegte Varianten 0, 1 und 2) oder einer sichtbaren Leitungsführung zu Deckenauslässen in Wandebene auf Putz ausgegangen (Varianten 3 und 4).

Bei der Verlegung ist auf einen Schutz gegen mechanische Beschädigung zu achten, um Personenunfälle zu vermeiden. Die Verlegung erfolgt ausschliesslich waag- oder senkrecht mit genügend Abstand zu warmen Rohrleitungen in vorgegebenen Installationszonen. Verbindungsstellen werden mit Hilfe von (Schraub-) Klemmen durchgeführt und müssen zugänglich bleiben. Im Wohnungsbau kommen kunststoffummantelte Kupferleitungen zum Einsatz (DIN, 2016).

Die benötigte Anzahl der Kabel variiert stark je nach Technisierungsgrad des Gebäudes («Smart Home»). Die Annahmen zur Verlegung der Elektroleitungen werden in den jeweiligen Kapiteln in 6 «Ausführungsvarianten und Erkenntnisse» beschrieben sowie im Kapitel 8.4 «Elektroleitungen» näher erläutert und quantifiziert.

5.4 Bewertungskriterien

Zur Beurteilung der verschiedenen untersuchten Varianten wurden in Tabelle 2 verschiedene Kriterien mit thematischer Relevanz definiert.

Tabelle 2 Kriterien zur Bewertung der verschiedenen Varianten

Begriff	Themen
Ökologie	Graue Energie und Treibhausgasemissionen, Umweltbelastung durch Betondecke oder erforderliche Zusatzmaterialien (Wände, Bodenaufbau, Gebäudetechnik)
Lebensdauer	Dauerhaftigkeit (z.B. Korrosion, Feuchte etc.), Reparierbarkeit, Möglichkeiten des Teilersatzes, Lebenszyklus
Zirkularität	Rückbaubarkeit und Recycling-Potential der verwendeten Komponenten ³
Brandschutz	Brandschutzanforderungen
Hygiene	Möglichkeiten der Reinigung, Oberflächenrauheit, mikrobiologische Eigenschaften
Ästhetik	Möglichkeiten der Gestaltung (Materialität, Farben), Einsatz ohne und mit Verkleidung (abgehängte Decken)
Realisierbarkeit	Aufwand der Umsetzung, Normenkonformität
Wirtschaftlichkeit	Initialkosten, langfristige Kosten, erwartete Lebensdauer, Möglichkeiten der Instandsetzung, Graue Kosten (Energie)
Flexibilität	Reversibilität, Anpassungsfähigkeit, Aufwand von Umbaumaßnahmen
Gebrauchstauglichkeit	Funktionalität, leichte/komplizierte Handhabung, Nutzerfreundlichkeit
Bauablauf	Einfachheit des Bauablaufs, Bau-/Planungskomplexität nach Bauphase
Schall	Erfüllung der technischen Anforderungen: Schalleigenschaften
Statik	Erfüllung der technischen Anforderungen: Statik; Erfordernis von zusätzlichen tragenden Wänden und höherem Bewehrungsanteil
Zukunftspotential	Mehrwert und Perspektiven

³ Die Abfallhierarchie wird in Medien oftmals in vier bis fünf R's ausgedrückt: 1.Refuse (Ablehnung), 2.Reduce (Reduktion), 3.Reuse (Wiederverwendung), 4. Repurpose (Weiterverwendung) und 5.Recycle (Verwertung). Diese Vereinfachung hilft, das Zirkularitätspotential besser einschätzen zu können und wird im Bericht aufgegriffen. Die Bestandteile wie auch weitere gängige Definitionen, z.B. die R's «Rethink» (Umdenken) und «Recovery» (Energetische Verwertung) aus den 10 R's des zirkulären Bauens werden im Kapitel 7.2 «Gesamtheitlicher Vergleich» erwähnt, aber in diesem Bericht nicht zum Beschrieb von Zirkularitätspotentialen verwendet.

6 Ausführungsvarianten und Erkenntnisse

6.1 Variante 0: 28cm Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt

6.1.1 Überblick

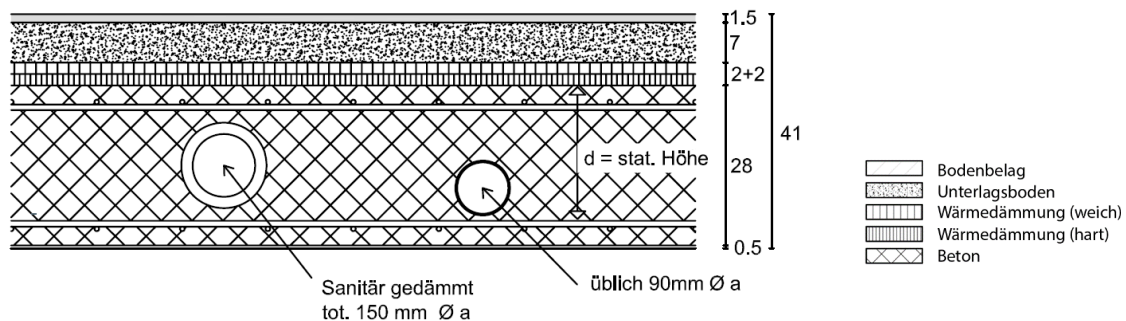


Abbildung 3: schematischer-Querschnitt zur Variante 0 mit eingelegten Sanitärleitungen à 110 mm + 20 mm Dämmungen und Lüftungsleitungen à 90 mm Durchmesser

6.1.2 Planung

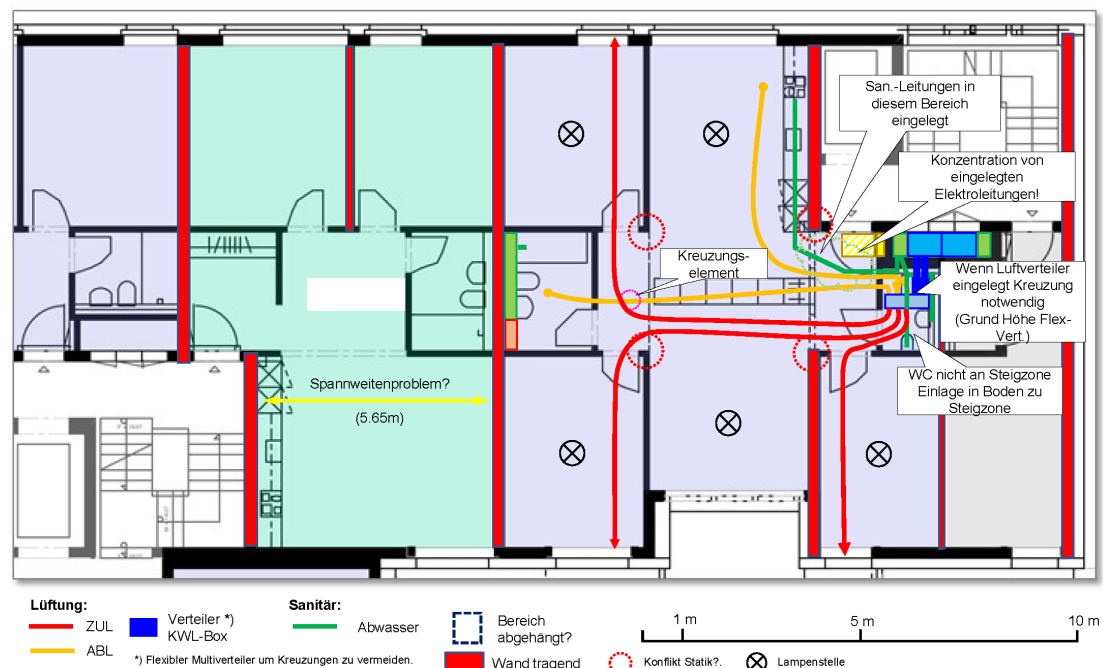


Abbildung 4: schematischer Grundriss zur Variante 0 «Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt»

In dieser Variante wurde die Betondecke anhand der eingelegten Gebäudetechnik dimensioniert. Entscheidend sind dabei die *Sanitärleitungen*. Es werden zwei Steigschächte vorgesehen, welche sich an den Nasszellen befinden. Die Sanitärleitungen der Küche als auch die Abwasserleitung der kleinen Nasszelle wurden bis zu 1.0 m (max. 1.5 m) in die Betondecke eingelegt, unter Berücksichtigung des notwendigen Gefälles. Um die Schallanforderungen zu erfüllen, muss das WC-Abwasser – in der Regel in PE-Rohren mit 11 cm Durchmesser geführt – mit 2 cm Dämmung ummantelt und

mindestens 6 cm Beton oberhalb und unterhalb der Leitungen überdeckt werden. Bei einer Distanz von 1.5 m und einem Gefälle von 2% entspricht die erforderliche Betonschicht 30 mm. In der Regel wird die Deckenstärke im gesamten Geschoss diesem Wert angepasst, um Planungsmehraufwand zu minimieren. Mit der dadurch entstehenden «Überdimensionierung» der **Betondeckenstärke auf insgesamt 28 cm** sollten dafür die **erhöhten Schallschutzanforderungen** i.d.R. erfüllbar sein.

Das *Lüftungskonzept* umfasst Zuluftöffnungen oberhalb der Fenster und Abluft durch die Nasszellen und die Küche. Die Lüftungskanäle wurden so eingelegt, dass Kreuzungen auftreten.

Die *Elektroleitungen* wurden in der Betondecke für die darunter liegende Wohnung eingelegt. Auf diese Weise werden die Lampenstellen vordefiniert.

Die *Bodenheizung* ist im Unterlagsboden integriert.

Durch die *Betonschicht von 28 cm* wird, mit einem verhältnismässig kleinen Mehraufwand bei der Bewehrung, eine grössere Spannweite ermöglicht als die i.d.R. aufgrund der Zimmergrösse kleinteilige Wohnungsbaustruktur eigentlich erforderlich ist und die Anzahl der tragenden Innenwände kann reduziert werden. Dies ist in Abbildung 4 sichtbar. Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Annahmen, wurde für die Beispielwohnung in Leutschenbach mit der Betonschicht von 28 cm, bei der angenommenen Spannweite von 7.15 m (Variante 0A) ein spezifischer Bewehrungsgehalt von 88 kg/m³ bzw. 25 kg/m² berechnet.

Zum direkten Vergleich der Variante 0 (28 cm Betondeckenstärke) mit den Varianten 1 bis 4 bei gleicher statischer Ausgangslage wurde eine Untervariante 0B mit einer Spannweite von 3.75 m ebenfalls berechnet. Dabei ergab sich ein Bewehrungsgehalt von 74 kg/m³ bzw. 21 kg/m² berechnet. Erläuterungen zur Ausführung und zur entsprechenden Ökobilanz der Variante 0B (28 cm) finden sich in den Kapiteln 8.1 «Spannweiten» sowie 13.2 «Statik - Ermittlung des Bewehrungsgehaltes».

Aus akustischer Sicht spricht nichts gegen diese Variante. Mit dem Unterlagsboden und der Betonstärke wird der einfache *Nachweis von erhöhten Luft- und Trittschallanforderungen erbracht* (vgl. Schallberechnungen im Anhang 13.2.1). Ein besonderes Augenmerk muss auf der richtigen Ausführung der Details liegen.

Aus ökologischer Sicht schneidet die Variante 0A im Vergleich zu den Varianten 1 bis 4 in allen Bewertungskriterien (PE, THGE, UBP) am schlechtesten ab. Die ermittelten Werte für die **Treibhausgasemissionen sind ungefähr 7% höher als die Referenzvariante 1** (siehe Kapitel 7.1 «Ökobilanzen»).

6.1.3 Zusammenfassung

Tabelle 3 liefert eine umfassende Bewertung der Variante 0A anhand der vordefinierten Kriterien. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der ökologische Nachteil gegenüber der Referenzvariante 1 und somit auch der restlichen Varianten besonders heraussticht. Aus wirtschaftlicher Sicht und aus Überlegungen zum Schallschutz bietet die Variante hingegen durchaus Vorteile, was das häufige Antreffen von solchen Deckenaufbauten bei heutigen Wohnneubauten bezeugt.

Tabelle 3 Bewertung der Variante 0A anhand der vordefinierten Kriterien

Begriff	Positiv	Besonderheit	Negativ
Ökologie	Durch die ausgeprägte Deckenstärke und Armierung kann (im untersuchten Beispiel) die Ökobilanz der Innenwände durch deren Reduktion verbessert werden		Betondecke mit der ungünstigsten Ökobilanz. Summierte Gewichtserhöhung kann zusätzlich Auswirkungen auf die Foundation und Gesamtbilanz haben
Lebensdauer	Beton als Schutz der Leitungen	Norm-Lebenszyklen der technischen Installationen entsprechen nicht denjenigen der Tragstruktur. In der Realität werden eingelegte Leitungen jedoch über die Norm-Lebenserwartung genutzt	Erschwerte Zugänglichkeit durch fehlende Systemtrennung kann zu eingeschränkten Reparaturmöglichkeiten führen. Identifizierung von Problemstellen ist schwierig.
Zirkularität	Innenwände können entfallen oder als wiederverwendbare Elemente geplant werden		Abbruch der Geschossdecke: Reuse (R3) der Verteilleitungen unmöglich, selbst wenn deren Norm-Lebenszyklus noch nicht erreicht ist; Materialrecycling wird aber weitgehend praktiziert.
Brandschutz	Höchster Schutz von Wohnung zu Wohnung (vertikal). Die Brandschutzanforderungen werden jedoch mit jeder Variante erfüllt.		
Hygiene	Keine Staubablage auf die eingelegten Leitungen	Langfristige Innen-Reinigung von eingelegten Rohren ist heute in der Praxis derjenigen in abgehängten Decken oder sichtbar geführten Leitungen gleichzusetzen.	Ersatz von allenfalls defekten, beschädigten, hygienisch nicht einwandfreien Leitungen nicht möglich. Identifizierung von allfälligen Problemstellen schwierig. Sicherstellung der Hygiene vor Einbau und während dem Betonieren.
Ästhetik	Durchgehende Sichtbetonunterdecke möglich, Planungsfreiheit		
Realisierbarkeit	In Betondecken können alle Leitungen eingelegt werden	Entspricht dem Baustandard (CH)	Sorgfalt in der Ausführung (Leitungsabstände etc.) besonders wichtig: Montagefehler können nach dem Betonieren kaum korrigiert werden

Sind 16cm Beton genug?

Wirtschaftlichkeit	Einlegen ist initial i.d.R. die günstigste Ausführungsvariante (Beton), einfache Reinigung von Deckenoberfläche, PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre		Fehlende Systemtrennung kann sich bei langfristigen Anpassungen der technischen Systeme und Bedürfnisse bzw. bei Umnutzungen negativ auswirken. Unter Umständen ist bei einer Nachrüstung ein Systemwechsel notwendig (z.B. Aufputzinstallation bei vorliegendem Raum)
Flexibilität	Erhöhte Deckenstärke ermöglicht höhere Flexibilität in der späteren Anordnung von Innenwänden. (Im Wohnbau wurde bisher die Anordnung der Innenwände jedoch selten angepasst.)		Lüftung: Einlassstellen vorgegeben – Nachrüstung nur Aufputz möglich Elektro: Lampenstellen / Steckdosen vorgegeben Anpassungen bei neuen Bedürfnissen nur Aufputz möglich
Gebrauchstauglichkeit	Einfache Reinigung der Oberflächen Volle Raumhöhe nutzbar		Elektro: Lampenauslässe in früher Planungsphase vorgegeben, Korrektur muss Aufputz erfolgen
Bauablauf	Einfachere Ausführungsplanung hinsichtlich der ästhetischen Komponente (weniger anspruchsvoll, weil keine sichtbaren Leitungen)	Risiken in der Ausführung (Baumeisterarbeiten i.d.R. weniger präzise als der Innenausbau realisierbar)	Ev. grösserer Planungsaufwand in der früheren Planungsphase (vor Definition der Baumeisterarbeiten), hoher Koordinationsbedarf beim Einlegen, Präzision im Handwerk, Fehler sind nur aufwändig korrigierbar.
Schall			Übertragungsgefahr bei mangelhafter Ausführung, v.a. Sanitäranlagen zwischen Wohnungen.
Statik	Tragende Innenwände können reduziert werden	Auswirkung des höheren Gewichts auf horizontale Kräfte	Womöglich aufwändigere Fundation
Zukunftspotential	Beton zur CO ₂ -Speicherung? (jedoch heute technisch bedingt noch nicht in grossen Mengen absehbar) CO ₂ -Anteil nachteilig bei allfälliger Reglementierung von Maximalwerten im Bau im Hinblick auf Netto-Null-Absenkpfade		

6.2 Variante 1: 22 cm Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt

6.2.1 Überblick

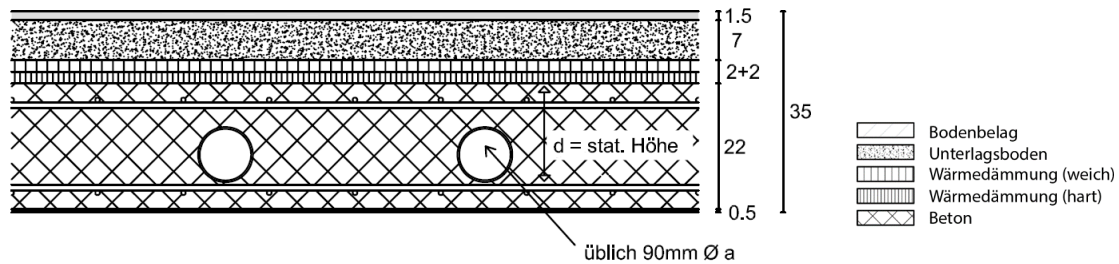


Abbildung 5: schematischer-Querschnitt zur Variante 1 mit eingelegten Lüftungsleitungen à 90 mm Durchmesser

6.2.2 Planung

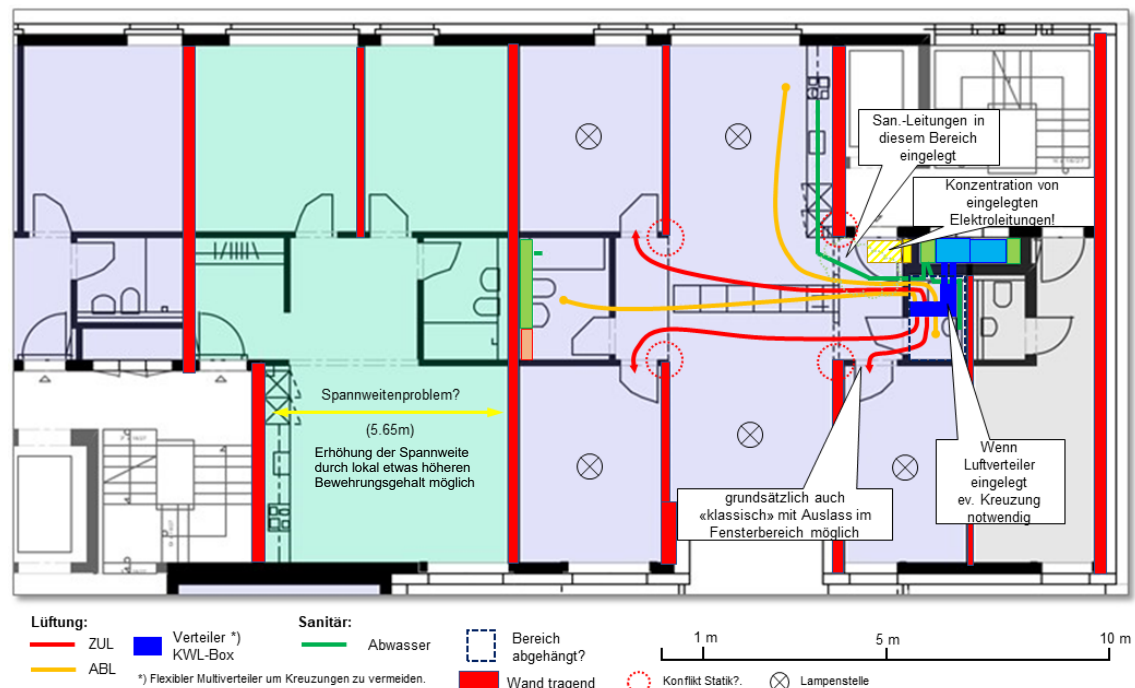


Abbildung 6: schematischer Grundriss zur Variante 1 «Leitungen optimiert eingelegt»

In Absprache mit den miteinbezogenen Fachleuten wurde in dieser Variante explizit auf eine «Überdimensionierung» als schallmässiger Sicherheitsgedanke verzichtet, sodass alle notwendigen Gebäudetechnikelemente korrekt eingelegt werden und die Mindest-Schallschutzanforderungen dadurch problemlos eingehalten werden können. Mit der daraus resultierenden **Betondeckenstärke von 22 cm** und einer sorgfältigen Planung

sowie sachgemässer Ausführung sollten auch die **erhöhten Schallschutzanforderungen** erfüllbar sein.

Die *Sanitärleitungen* wurden nicht in die Decke eingelegt, sondern grundsätzlich in Installationswänden oder Schächten geführt. Die Erschliessung der Küchenapparate erfolgte im Wand- oder Sockelbereich des Küchenmobiliars. Zwischen der Küche und dem Hauptschacht können Sanitärleitungen (Kalt-, Warm- und Abwasser) bis zu einer Distanz von 1 m in einem Bodenkanal in der Höhe des Unterlagsbodens verlegt werden. Die maximale Distanz ergibt sich durch das notwendige Gefälle des Küchenabwassers.

Das *Lüftungskonzept* umfasst Zuluftöffnungen oberhalb der Zimmertüren und Abluft durch die Nasszellen und die Küche. Die Lüftungskanäle wurden so eingelegt, dass keine Kreuzungen auftreten.

Die *Elektroleitungen* wurden für die unten liegende Wohnung eingelegt, sodass die Lampenstellen vordefiniert sind.

Die *Bodenheizung* ist (wie in den anderen Beispielen ebenfalls) im Unterlagsboden integriert.

Es konnte somit eine *Betonstärke von 22cm* definiert werden. Die Betondeckenstärke wurde anhand der eingelegten Lüftungs- und Elektroleitungen dimensioniert. Um einen besseren Vergleich zwischen den untersuchten Varianten zu ermöglichen, wurde für die Varianten 1 bis 4 sowie für die Variante 0B dieselbe Spannweite (3.75 m) angenommen und die dafür Bewehrung entsprechend berechnet. Einzig bei der Variante 0A wurde eine andere Spannweite definiert (7.15 m), weil dort mit einem vergleichsweise geringen Mehraufwand an Bewehrung eine grössere Spannweite möglich ist und sinnvoll erscheint. Eine Spannweite von 6 m (wie in der Nachbarwohnung) wäre bei der Variante 1 mit dem gleichen angenommenen Bewehrungsgehalt laut Experten jedoch durchaus möglich. In dieser und den darauffolgenden Varianten werden aufgrund der gesamtheitlichen statischen Optimierung die zentralen Schottwände der Wohnung tragend ausgebildet. Dies ist im Vergleich von Abbildung 6 zu Abbildung 4 sichtbar. Aus diesen Annahmen ergibt sich ein notwendiger Bewehrungsgehalt von 80 kg/m^3 bzw. 18 kg/m^2 . Dieser optimierte Bewehrungsgehalt beinhaltet ein abwechselndes Verlegen von zwei unterschiedlichen Stab-Durchmessern, was im Hochbau kein standardmässiges Vorgehen ist. Diese Variante wurde explizit für das Fallbeispiel Leutschenbach berechnet und kann nicht ohne statische Überprüfung auf andere Grundrisse übertragen werden. Bei Ausführung ohne abwechselnden Stab-Durchmessern würde ein Bewehrungsgehalt von 96 kg/m^3 resultieren. (vgl. Detailberechnung im Abschnitt 13.2)

Bei sachgemässer Detailausführung spricht aus akustischer Sicht nichts gegen diese Variante. Mit dem Unterlagsboden und der Betonstärke werden gemäss einem einfachen *Nachweis die Luft- und Trittschallanforderungen erfüllt* (vgl. Schallberechnungen im Anhang 13.2.1). Ein besonderes Augenmerk muss auf der richtigen Ausführung der Details liegen.

Diese Variante ist in der Gegenüberstellung der Varianten im Abschnitt 7 als Variante 1 aufgeführt. Die **Werte in der Ökobilanz (Kapitel 7.1) für diese Variante sind durchgehend niedriger als in den Varianten 0A und 0B** «Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt», ausschlaggebend ist hierbei die Reduktion der Betonmasse. Die positive Auswirkung lässt sich auf die energie- und treibhausgasintensive sowie umweltbelastende Zementherstellung zurückführen.

6.2.3 Zusammenfassung

Tabelle 4 liefert eine umfassende Bewertung der Variante 1 anhand der vordefinierten Kriterien. Abschliessend kann festgestellt werden, dass die optimierte Variante grundsätzlich bessere Ergebnisse liefert als die Variante 0. Aus wirtschaftlicher Sicht sind keine bedeutenden Unterschiede zu erwarten. Mit einer sachgemässen Ausführung werden mit der Deckenstärke i.d.R. die erhöhten Schallschutzanforderungen ebenfalls erfüllt. Als Nachteil manifestiert sich die geringere maximalen Spannweite.

Tabelle 4 Bewertung der Referenzvariante anhand der Bewertungskriterien

Begriff	Positiv	Besonderheit	Negativ
Ökologie	Reduzierte Betonstärke (-20% gegenüber V0) führt zu verbesserter Ökobilanz	verbesserte Ökobilanz der Innenwände prinzipiell möglich durch andere Konstruktion	Schlechtere Ökobilanz als V3 und V4, jedoch mit potentiell höherer Schalleistung
Lebensdauer	Beton als Schutz der Leitungen	Norm-Lebenszyklen der technischen Installationen entsprechen nicht denjenigen der Tragstruktur. In der Realität werden eingelegte Leitungen jedoch über die Norm-Lebenserwartung genutzt	Erschwerte Zugänglichkeit durch fehlende Systemtrennung kann zu eingeschränkten Wartungsmöglichkeiten führen
Zirkularität			Abbruch der Geschossdecke: Reuse (R3) der Verteilungen unmöglich, selbst wenn deren Norm-Lebenszyklus noch nicht erreicht ist; Materialrecycling wird aber weitgehend praktiziert
Brandschutz	Hoher Schutz von Wohnung zu Wohnung (vertikal). Die Brandschutzanforderungen werden jedoch mit jeder Variante erfüllt.		
Hygiene	Keine Staubablage auf nicht eingelegten Leitungen	Langfristige Innen-Reinigung von eingelegten Rohren ist praktisch derjenigen in abgehängten Decken oder sichtbar geführten Leitungen gleichzusetzen.	Ersatz von allenfalls defekten, beschädigten, hygienisch nicht einwandfreien Leitungen nicht möglich. Identifizierung von allfälligen Problemstellen schwierig. Sicherstellung der Hygiene vor Einbau und während dem Betonieren.
Ästhetik	Durchgehende Sichtbetonunterdecke möglich, Planungsfreiheit		

Sind 16cm Beton genug?

Realisierbarkeit	In Betondecken können alle Lüftungsleitungen eingelegt werden	Entspricht technisch dem Baustandard (CH). Das optimierte Einlegen (keine Kreuzungen von Lüftungsleitungen) bedarf einer sorgfältigeren Planung als die Variante 0	Sorgfalt in der Ausführung (Leitungsabstände etc.) besonders wichtig: Montagefehler können nach dem Betonieren kaum korrigiert werden
Wirtschaftlichkeit	Einlegen ist initial i.d.R. die günstigste Ausführungsvariante (Beton), einfache Reinigung von Deckenoberfläche, PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre		Fehlende Systemtrennung kann sich bei langfristigen Anpassungen der technischen Systeme und Bedürfnisse bzw. bei Umnutzungen negativ auswirken. Unter Umständen ist bei einer Nachrüstung ein Systemwechsel notwendig (z.B. Aufputzinstallation bei vorhandenem Raum)
Flexibilität		Sanitäranlagen an Installationswänden.	Lüftung: Einlassstellen vorgegeben – Nachrüstung nur Aufputz möglich Elektro: Lampenstellen / Steckdosen vorgegeben Anpassungen bei neuen Bedürfnissen nur Aufputz möglich.
Gebrauchstauglichkeit	Einfache Reinigung der Oberflächen Volle Raumhöhe nutzbar		Elektro: Lampenauslässe in früher Planungsphase vorgegeben, Korrektur muss Aufputz erfolgen.
Bauablauf	Einfachere Ausführungsplanung hinsichtlich der ästhetischen Komponente (weniger anspruchsvoll, weil keine sichtbaren Leitungen)	Risiken in der Ausführung (Baumeisterarbeiten i.d.R. weniger präzise als der Innenausbau realisierbar)	Ev. grösserer Planungsaufwand in der früheren Planungsphase (vor Definition der Baumeisterarbeiten), Koordinationsbedarf beim Einlegen, Präzision im Handwerk, Fehler sind nur aufwändig korrigierbar.
Schall	Erhöhte Schallanforderungen erreichbar	Bei sorgfältiger Ausführung unproblematisch (Standard)	
Statik		Deckenaufbau ist etablierter Baustandard, wobei eine explizite Optimierung des Bewehrungsgehalts mit abwechselnden Eisendurchmesser selten ist	Ev. Schwächung der Decke durch Einlagen
Zukunftspotential		Bekannte, etablierte Standardausführung	

6.3 Variante 2: 20cm Abgehängte Decke, Beton nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert

6.3.1 Überblick

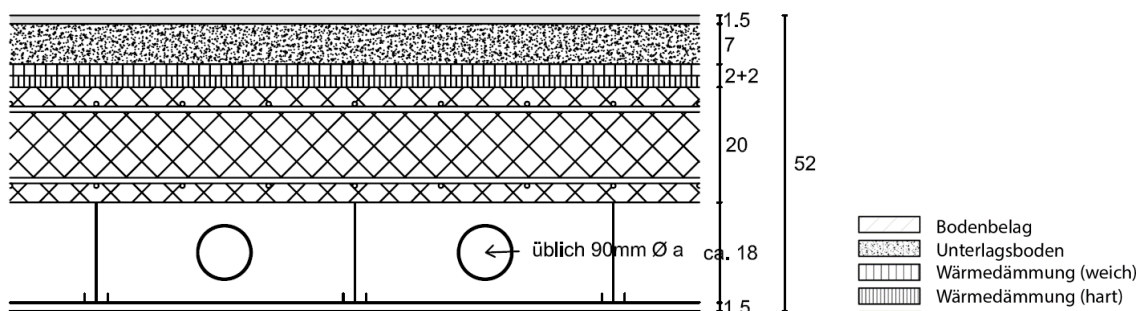


Abbildung 7: schematischer Querschnitt zur Variante 2. Die Lüftungsleitungen à 90 mm Durchmesser werden nicht eingelegt, sondern in einer abgehängten Decke geführt.

6.3.2 Planung

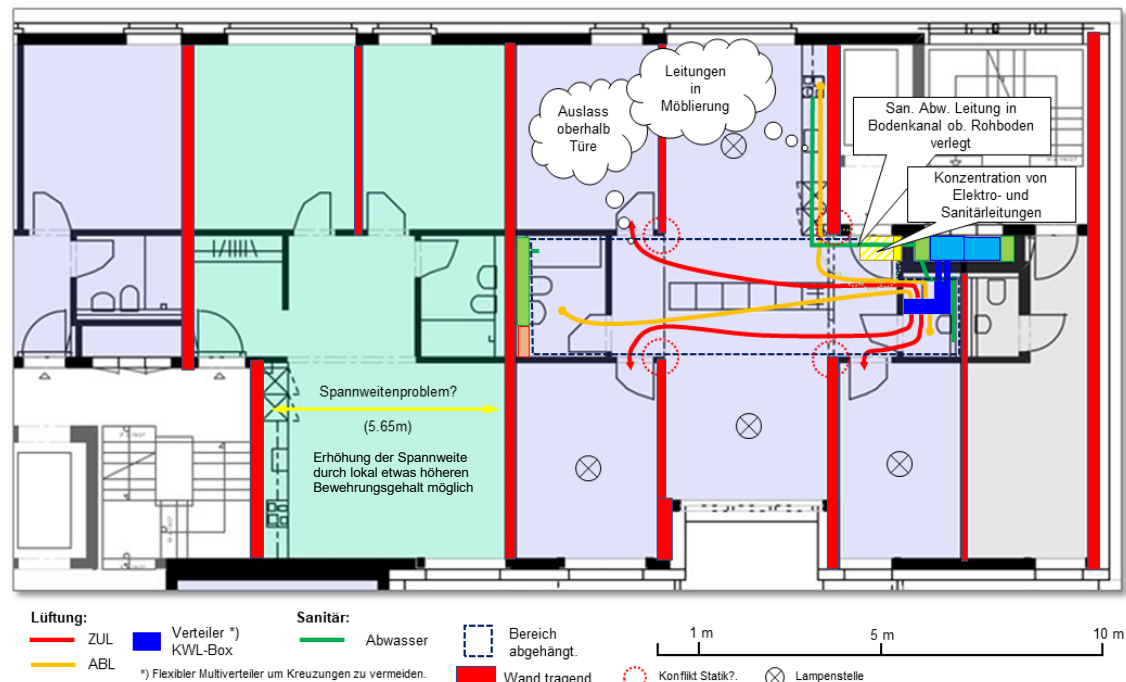


Abbildung 8 schematischer Grundriss zur Variante 2 «Abgehängte Decke, Betondecke nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert»

In dieser Variante wird eine *abgehängte Decke* eingesetzt. Die abgehängte Decke wird als Metallunterkonstruktion mit Gipskartonplatte als Abdeckung angenommen und im

Korridorbereich sowie in den Nasszellen vorgesehen. In diesen Nebenbereichen wurde eine Reduktion der Raumhöhe in Kauf genommen. In den Zimmern, der Küche und im Wohnraum ist wie bei den anderen Varianten eine Raumhöhe von 2.40 m geplant. Eine abgehängte Decke über die gesamte Wohnfläche ist aus Lüftungstechnischer Sicht nicht nötig und würde den Materialaufwand entsprechend erhöhen. Dies würde die Ökobilanz der Variante auch aufgrund der notwendigen Mehrhöhe der Wände merklich verschlechtern.

Die *Sanitärleitungen* wurden nicht in die Decke eingelegt, sondern grundsätzlich in Installationswänden oder Schächten geführt. Die Erschliessung der Küchenapparate erfolgte im Wand- oder Sockelbereich des Küchenmobiliars. Zwischen der Küche und dem Hauptschacht können Sanitärleitungen (Kalt-, Warm- und Abwasser) bis zu einer Distanz von 1 m in einem Bodenkanal in der Höhe des Unterlagsbodens verlegt werden. Die maximale Distanz ergibt sich durch das notwendige Gefälle des Küchenabwassers.

Die *Lüftungsleitungen* wurden aus Kunststoff (PE-Rohre) angenommen, da sie nicht sichtbar geführt werden. Sie sind in der abgehängten Decke platziert. Die Zuluftöffnungen befinden sich über den Türen, die Abluft wird in den Nasszellen und der Küche angesaugt und abgeführt.

Die *Elektroleitungen* wurden jeweils in der Decke für die darunter liegende Wohnung eingelegt oder im Bereich der abgehängten Decke geführt.

Die *Bodenheizung* ist im Unterlagsboden integriert.

In dieser Variante wurde die Betondecke nach Erfahrungswerten anhand der gängigen **Mindest-Schallanforderungen** dimensioniert. Damit die Schallschutzanforderungen erfüllt werden, wurde eine **Betondicke von 20 cm** definiert. Die erhöhten Anforderungen werden nicht erfüllt.

Die Spannweite sowie die tragende Ausbildung der Schotten entsprechen den Erfordernissen von Variante 1. Es wird ein Bewehrungsgehalt von 73 kg/m³ bzw. 15 kg/m³ benötigt. Der geringere Bewehrungsgehalt als in V1 lässt sich darauf zurückführen, dass kleinere Durchmesser der Bewehrungsstäbe eingesetzt werden kann und keine Lüftungsleitungen in die Betondecke integriert werden.

Aus akustischer Sicht spricht nichts gegen diese Variante, wenn in der Wohnung die Mindest-Schallanforderungen angestrebt werden. Mit dem Unterlagsboden und der Betonstärke werden gemäss einem einfachen *Nachweis die Luft- und Trittschallanforderungen erfüllt* (vgl. Schallberechnungen im Anhang 13.2.1). Ein besonderes Augenmerk muss auf der richtigen Ausführung der Details liegen.

Diese Variante ist in der Gegenüberstellung der Varianten im Abschnitt 7 als Variante 2 aufgeführt. Während in der Ökobilanz (Kapitel 7.1) die Werte für den Beton gegenüber der Variante 1 abnehmen, nehmen diejenigen für die optische Kaschierung der

Haustechnik mithilfe der abgehängten Decke hingegen zu. Variante 2 schneidet in der Ökobilanz vergleichbar bzw. leicht schlechter ab wie Variante 1 mit einem optimiertem Bewehrungsgehalt. Die Differenz beträgt bei den Treibhausgasemissionen und der Primärenergie weniger als 1%, bei den Umweltbelastungspunkten ca. 3%.

6.3.3 Zusammenfassung

Tabelle 5 liefert einen Überblick über sämtliche Bewertungskriterien. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich bei der Variante 2 bei Anwendung eines CO₂-optimierten Betons die Reduktion der Deckenstärke um 2 cm gegenüber der Variante 1 aus ökologischer Sicht nicht auszahlt beim Materialmehraufwand für die abgehängte Decke. Bei der Wirtschaftlichkeit und aus Sicht des Schallschutzes sind ebenfalls Nachteile zu erwarten.

Tabelle 5 Bewertung der Variante abgehängte Decke anhand der Bewertungskriterien

Begriff	Positiv	Neutral / besonders	Negativ
Ökologie	Der Erstellungsaufwand für die abgehängte Decke im Korridorbereich ist vergleichbar mit dem Aufwand für 2 cm mehr Beton über die gesamte Wohnung (V1).	Abhängig von Materialwahl und Konstruktionsweise der abgehängten Decke (Holzprofile und Lehmbauplatten können Werte senken).	Allenfalls vermeidbarer Erstellungsaufwand für abgehängte Deckenkonstruktion.
Lebensdauer	Systemtrennung zwischen Tragstruktur und Gebäudetechnik (Lüftung, Elektro) ist gewährleistet und entspricht dem Trend allgemeiner Empfehlungen und Richtlinien.	Bei entsprechender Ausführung der abgehängten Decke sind die Lüftungsleitungen für Wartung zugänglich	Schutz der Leitungen durch Beton entfällt. In der Realität werden eingelegte Leitungen über die Norm-Lebenserwartung genutzt
Zirkularität	Abgehängte Decke und Lüftungselemente sind demonzierbar; trennbare Materialgruppen. Reusepotential teilweise gegeben. (Kunststoffleitungen werden mit der Zeit hart und können i.d.R. nicht wiederverwendet werden)	GK-Platten und PE-Leitungen können einfach einem Recyclingprozess (R5) zugeführt werden.	Reuse (R3) der GK-Platten möglich, aber unwahrscheinlich, Entsorgung der GK-Platte ist noch Baupraxis PE-Leitungen werden in der Praxis analog den eingelegten dem Recyclingprozess zugeführt, auch wenn sie die Norm-Lebensdauer nicht erreicht haben.
Brandschutz		Brandschutzanforderungen werden erfüllt	
Hygiene	Keine Staubablage auf sichtbar verlegten Leitungen Vereinfachte Reinigung der Oberflächen (abgehängte und rohe Decke) kann bessere Hygiene ermöglichen Ersatz von ev. defekten, beschädigten, hygienisch nicht einwandfreien Leitungen möglich.	Langfristige Innen-Reinigung von Leitungen in abgehängten Decken ist praktisch denjenigen eingelegter oder sichtbar geführter Rohre gleichzusetzen. Abgehängte Decke und Lüftungselemente sind demonzierbar	Identifizierung von allfälligen Problemstellen schwieriger als bei sichtbar geführten Leitungen. Sicherstellung der Hygiene beim Einbau der abgehängten Decke.
Ästhetik	Versteckte Technik. Planungsfreiheit	Sichtbetonunterdecke in Wohnbereich und Zimmer möglich.	Materialwechsel vom Gangbereich zu Zimmer und Wohnbereich kann als störend empfunden werden.

Sind 16cm Beton genug?

			Reduzierte Raumhöhe in Teilbereichen.
Realisierbarkeit	In der abgehängten Decke können alle Lüftungsleitungen einfach nach Beendigung des Rohbaus verlegt werden. (weniger Koordination in der frühen Bauphase)	Entspricht technisch dem Baustandard (v.a. EU, CH).	Zusätzliche Koordination im Innenausbau.
Wirtschaftlichkeit	PE-Lüftungsleitungen sind günstiger als sichtbare Leitungen; langfristige Anpassungen am Grundriss / Instandsetzungen durch Systemtrennung möglich.	Allenfalls künftiger Reuse von Komponenten möglich (Gebäude als Materiallager)	Initiale Mehrkosten durch abgehängte Decke. Abgehängte Decke weniger robust als Betondecke: allfälliger Reparaturaufwand langfristig.
Flexibilität	Bereich der abgehängten Decke künftig anpassbar und auf neue Bedürfnisse adaptierbar (z.B. Lüftung)	Sanitäranlagen an Installationswänden.	Tragende Wände determinieren den Grundriss, Elektro: Lampenstellen fix (in Zimmer und Wohnbereich)
Gebrauchstauglichkeit	Einfache Reinigung der Oberflächen	Thermische Aktivierung der Speichermasse eingeschränkt (im vorliegenden Beispiel jedoch nur im Gangbereich)	Elektro: Lampenauslässe in früher Planungsphase vorgeben.
Bauablauf	Einfachere Ausführungsplanung hinsichtlich der ästhetischen Komponente (weniger anspruchsvoll, weil keine sichtbaren Leitungen) Spätere Bauphase: Einfache Anbringung; weniger Präzision notwendig		Früh Lichtauslässe planen, Koordinationsbedarf im Bereich der abgehängten Decke (Lüftung, Elektro)
Schall		Bei sorgfältiger Ausführung unproblematisch (Standard) GT-Leitungen in der «eigenen» Wohnung. Keine potentiellen «Schwachstellen» durch Sanitär- oder Lüftungseinlagen	
Statik	Einfachere Ausführung durch Systemtrennung. Keine Schwächung durch Einlagen		
Zukunftspotential	Künftiger Einsatz alternativer ökologischerer Materialien (z.B. Lehmbauplatte statt GK-Platte der abgehängten Decke)	Anpassbarkeit des Lüftungskonzepts in Zukunft möglich bei wechselnden Bedürfnissen (siehe Covid)	

6.4 Variante 3: 20 cm Leitungen sichtbar, Beton nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert

6.4.1 Überblick

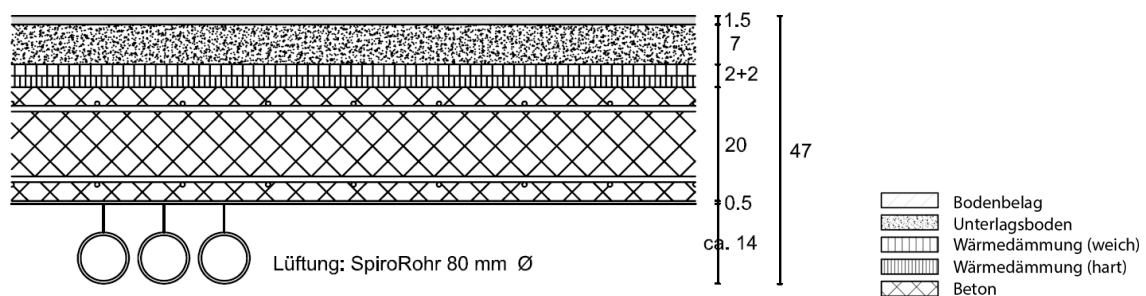


Abbildung 9: schematischer-Querschnitt zur Variante 3. Die Lüftungsleitungen (Spiro-Rohre à 80 mm Durchmesser) werden nicht eingelegt und sichtbar geführt.

6.4.2 Planung

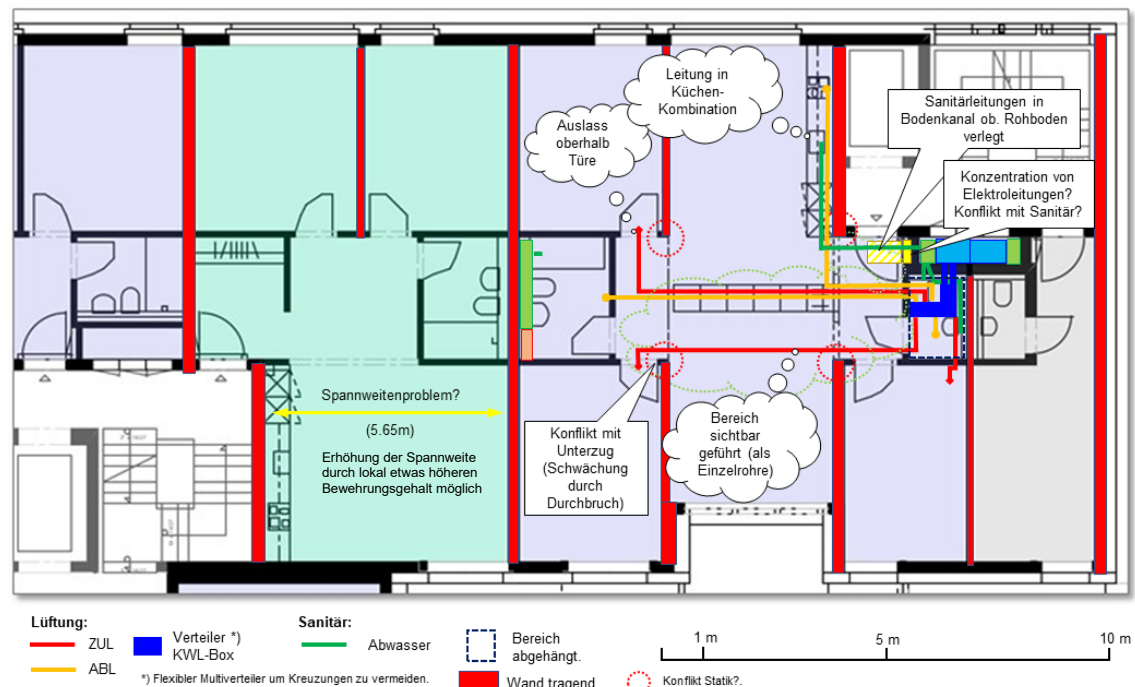


Abbildung 10: schematischer Grundriss zur Variante 3 «Leitungen sichtbar, Betondecke nach Schall dimensioniert»

In dieser Variante wurde die Betondecke ebenfalls nach Erfahrungswerten anhand der gängigen Schallmindestanforderungen dimensioniert. Die erhöhten Schallanforderungen werden nicht eingehalten.

Die *Sanitärleitungen* werden in Installationswänden oder Schächten verlegt.

Die *Lüftungsleitungen* sind sichtbar geführt und können aus verzinktem Stahl oder alternativen Materialien bestehen. Alternative Materialien für Lüftungskanäle sind beispielsweise Karton oder Holzwerkstoffe. Diese sind jedoch noch nicht Stand der Technik (Settembrini, et al., 2022). Die Luftauslässe der Zuluft befinden sich über den Türen und die Abluft wird in den Nasszellen und der Küche angesaugt.

Es werden ebenfalls keine *Elektroleitungen* in die Betondecke eingelegt. Die Elektroleitungen werden horizontal über der Dämmebene im Unterlagsboden verteilt. Im Bereich von tragenden Wänden werden die Leitungen sichtbar entlang der Wände zu den Steckdosen geführt, in Leichtbauwänden ist die Verlegung auch innerhalb der Wand möglich. Es werden keine Lichtauslässe an der Decke definiert, dafür gibt es hohe Wandsteckdosen. Auf die Ausführung und die Ökobilanz der unterschiedlichen Elektroverteilungskonzepte in den untersuchten Varianten wird im Kapitel 8.4 «Elektroleitungen» vertieft eingegangen.

Die *Bodenheizung* ist, wie in sämtlichen Varianten, im Unterlagsboden integriert.

Damit die Schallschutzmindestanforderungen ohne Zusatzberechnungen erfüllt werden, wurde durch Experten eine **Betondicke von 20 cm** definiert. Die Betondeckenstärke bleibt gegenüber der Variante 2 unverändert, weil die unter Umständen schalldämm-massverbessernde abgehängte Decke nur im Korridorbereich vorgesehen wird.

Die Ausführung der Wohnung in Schottenbauweise mit der Annahme, dass die Deckenstärke 20 cm beträgt, führt zu einem benötigten Bewehrungsgehalt von 73 kg/m^3 bzw. 15 kg/m^2 . Der niedrige Bewehrungsgehalt als in V1 ist daher möglich, dass kleinere Durchmesser der Bewehrungsstäbe eingesetzt werden können und keine Lüftungsleitungen in die Betondecke integriert werden. (vgl. Detailberechnung im Abschnitt 13.2)

Aus akustischer Sicht ist es möglich, die Mindestanforderungen von Trittschall zu erreichen, wenn das Bauteil mit mindestens einer 20 mm starken Steinwolle-Bodenmatte sowie 60 mm Anhydritunterlagsboden konzipiert ist. Mit dem vorgeschlagenen Bodenaufbau und der Betonstärke von 20 cm werden gemäss einem einfachen *Nachweis die Luft- und Trittschallanforderungen erfüllt* (vgl. Schallberechnungen im Anhang 13.2.1). Ein besonderes Augenmerk muss auf der richtigen Ausführung der Details liegen. Für mehr Präzision ist die exakte Berechnung der Schallnebenwege in der Detailplanung erforderlich. Auch eine Verbesserung des Trittschalls durch die Verwendung anderer Materialien (z.B. Glaswolle) mit höherer dynamischer Steifigkeit müssten zusätzlich berechnet werden.

Diese Variante ist in der Gegenüberstellung der Varianten im Abschnitt 7 als Variante 3 aufgeführt. Variante 3 schneidet in der Ökobilanz (Kapitel 7.1) durchgehend besser ab als die vorherigen Varianten 0, 1 und 2. Die Reduktion gegenüber der Variante 2 beträgt hinsichtlich der Treibhausgasemissionen rund 1%. Es konnte vor allem der benötigte

Erstellungsaufwand der abgehängten Decke reduziert werden. Die Materialsuffizienz durch den Verzicht auf die zusätzliche Deckenschicht zahlt sich dementsprechend aus. Da die offene Leitungsführung allerdings qualitativ hochwertige Lüftungskanäle erfordert, ist die Reduktion nur geringfügig.

Da die Elektroleitungen nicht mehr in der Decke geführt werden, befinden sich keine Lampenauslässe direkt in der Decke; Die Lampenstelle kann dagegen frei gewählt werden, indem ein Elektrokabel ab einer Wandsteckdose unterhalb der Decke zur gewünschten Stelle geführt wird. Hier stellt sich die Frage nach der Nutzerakzeptanz für solche alternative Konzepte.

6.4.3 Zusammenfassung

Tabelle 6 liefert einen Überblick über sämtliche vordefinierten Bewertungskriterien. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Variante 3 aus ökologischer Sicht besser abschneidet als die Varianten 0 bis 2. Gegenüber der Referenzvariante 1 sind jedoch Mehrkosten zu erwarten sowie Nachteile hinsichtlich des Schallschutzes vorhanden. Die Frage der Nutzerakzeptanz gegenüber den sichtbar geführten Leitungen gilt es projektspezifisch zu evaluieren.

Tabelle 6 Bewertung der schalldimensionierten Decke mit offener Leitungsführung anhand der Bewertungskriterien

Begriff	Positiv	Neutral / besonders	Negativ
Ökologie	Reduktion des Materialaufwands gegenüber Var. 0 bis 2 (weniger Beton, keine abgehängte Decke), aufwändigere Werte für die Gebäudetechnik selbst, jedoch gesamthaft bessere Ökobilanz	Abhängig von Materialwahl der Lüftungsverteilung (z.B. Karton statt Metall) könnten Werte gesenkt werden.	Fehlende Erfahrung mit alternativen Materialien könnten sich negativ auf deren Lebensdauer und somit auf die Ökobilanz auswirken.
Lebensdauer	Systemtrennung zwischen Tragstruktur und Gebäudetechnik (Lüftung, Elektro) ist gewährleistet. Spirorohre für die Lüftungsanlagen gelten als hochwertige, langlebige Materialisierung.	Elektro- und Lüftungsleitungen sind für eine allfällige Wartung besser zugänglich	Schutz der Leitungen durch Beton entfällt. In der Realität werden eingelegte Leitungen über die Norm-Lebenserwartung genutzt. Spirorohre gelten aber auch so als sehr langlebig.
Zirkularität	Elektro- und Lüftungselemente sind einfach demonierbar; trennbare Materialgruppen Reuse-Potential der gebäudetechnischen Systeme ist gegeben.	Die Rückführung der Metallrohre in den Recyclingprozess (R5) funktioniert heute gut.	Reuse (R3) der Gebäudetechnik wäre möglich, heute aber unwahrscheinlich, da Recycling die Baupraxis bildet. Es fehlen Anreize (normativ und ökonomisch) zur Implementierung von Reuse, da ein solches planungsintensiv und heute noch unsicher ist (zeitliche Verfügbarkeit, Haftung etc.)
Brandschutz		Brandschutzanforderungen werden mit der Variante erfüllt. Materialabhängigkeit:	

Sind 16cm Beton genug?

		Leitungen müssen kantona- nale Brandschutzanforde- rungen erfüllen; allg. un- problematisch im Innenaus- bau.	
Hygiene	Ersatz von ev. defekten, be- schädigten, hygienisch nicht einwandfreien Leitungen problemlos möglich. Zugänglichkeit erleichtert die Aussen-Reinigung.	Langfristige Innen-Reini- gung von sichtbar verlegten Leitungen ist in der Praxis wohl nicht besser als die eingelegter oder in abge- hängten Decken verlegten Rohre, da eine Demontage der Rohre zur Reinigung un- wahrscheinlich ist.	Staubablage auf sichtbar verlegten Leitungen möglich
Ästhetik	Nicht Baustandard, kann als exklusive Lösung geschätzt werden. Durchgängige Deckenflä- chen möglich.	Wichtigkeit des Gesamtkon- zepts im Umgang mit der Gebäudetechnik. Neue Ästhetik von sichtba- rer Verlegung und Reuse- Konzepte im Architektur- Trend	Nutzendenakzeptanz nicht immer gegeben. Erhöhter Planungsaufwand und Kompetenzen für ästhe- tische Lösungen nötig
Realisierbarkeit	Logische, nachvollziehbare Konstruktionsprinzip der Gebäudetechnik (für Nut- zende, Ausführende und Planende), insbesondere bei künftigem Anpassungs- bedarf.	Entspricht nicht dem Baustandard (CH), gebaute Beispiele zeigen jedoch die Realisierbarkeit auf.	Zusätzlicher Planungsauf- wand und Koordination im Innenausbau.
Wirtschaftlichkeit	langfristige Anpassungen am Grundriss / Instandset- zungen durch Systemtren- nung möglich.	Allenfalls künftiger Reuse von Komponenten möglich (Gebäude als Materiallager)	PE-Lüftungsleitungen sind günstiger als sichtbare Lei- tungen; diese erfordern den Einsatz hochwertiger Mate- rialien, präzise Verlegung. (Ästhetik) erfordert Pla- nungsmehraufwand
Flexibilität	Installationen künftig an- passbar und auf neue Be- dürfnisse adaptierbar (z.B. Lüftung) Vereinfachte Handhabung durch Bewohnende, z.B. Verschiebung der Elektro- verteilung	Elektro: Keine festgelegten Lichtauslässe	Tragende Wände determi- nieren den Grundriss.
Gebrauchstauglichkeit	keine falsch positionierte Lampenstellen		Mehraufwand der äusseren Reinigung (Staubablage). Partielle Einschränkung der Durchgangshöhen
Bauablauf	Qualitätssicherung in der Ausführung aufgrund der sichtbaren Leitungen, An- schlüsse usw.		Allgemeiner Planungsmehr- aufwand erforderlich. Erhöhte Arbeitsqualität er- forderlich in der Ausführung (Zeitbedarf, dafür in einer späteren Bauphase)
Schall		Bei sorgfältiger Ausführung Mindestanforderungen er- füllt GT-Leitungen in der «eige- nen» Wohnung. Keine allfäl- ligen «Schwachstellen» durch Einlagen.	

Sind 16cm Beton genug?

Statik	Einfachere Ausführung durch Systemtrennung. Keine Schwächung durch Einlagen.	
Zukunftspotential	Künftiger Einsatz alternativer ökologischerer Materialien (z.B. Karton statt Spirorohre für die Lüftung)	Anpassbarkeit des Lüftungskonzepts in Zukunft möglich bei wechselnden Bedürfnissen.

6.5 Variante 4: 16 cm Leitungen sichtbar, Betondecke nach Statik dimensioniert

6.5.1 Überblick

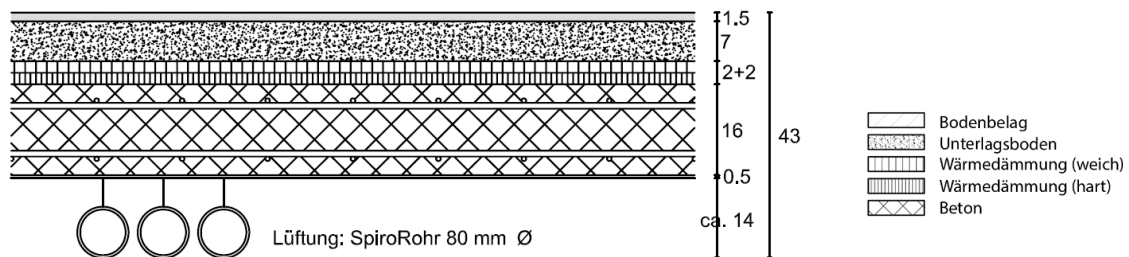


Abbildung 11: schematischer Querschnitt zur Variante 4. Die Lüftungsleitungen (Spiro-Rohre à 80 mm Durchmesser) werden nicht eingelegt und sichtbar geführt. Im Vergleich zur Variante 3 reduziert sich die Deckenstärke um 4 cm. Dafür werden die Mindest-Schallschutzanforderungen womöglich nicht mehr eingehalten.

6.5.2 Planung

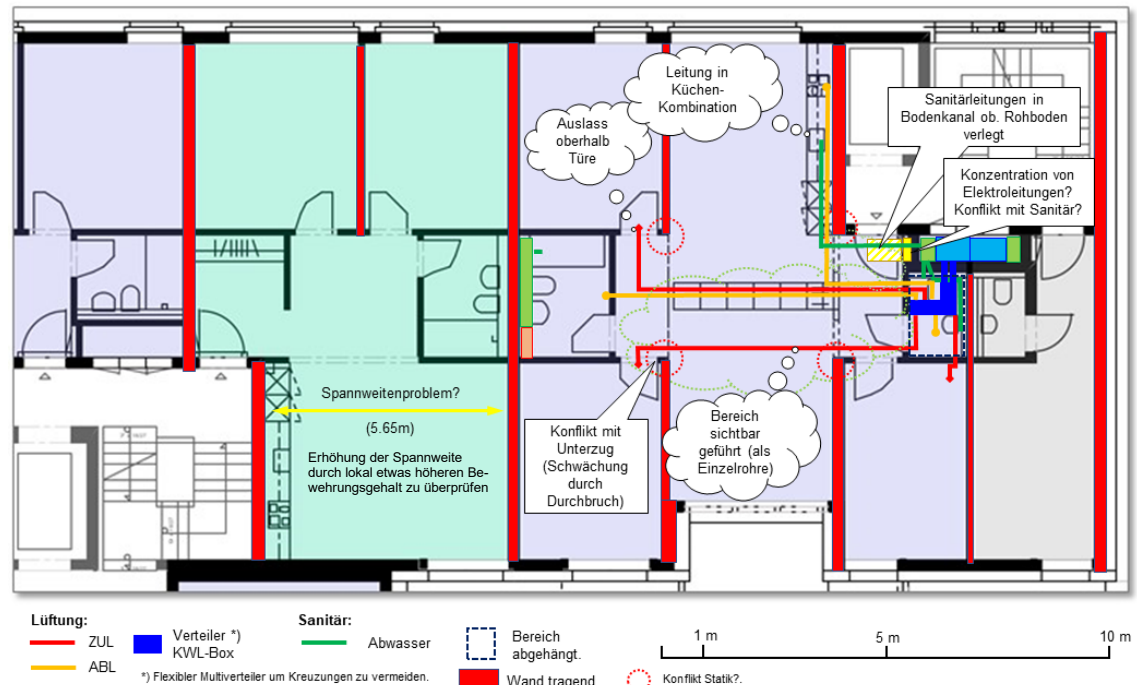


Abbildung 12: schematischer Grundriss zur Variante 4 «Leitungen sichtbar, Betondecke nach Statik dimensioniert»

In dieser Variante wurde die Betondecke ausschliesslich anhand der minimalen Anforderungen an die Statik (Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit) dimensioniert.

Die *Sanitärleitungen* werden in Installationswänden oder Schächten geführt.

Die *Lüftungsleitungen* sind sichtbar geführt (wie in Variante 3). Die Luftauslässe der Zu- und Abluft befinden sich über den Türen und die Abluft wird in den Nasszellen und der Küche angesaugt.

Es werden keine *Elektroleitungen* in die Betondecke eingelegt. Die Elektroleitungen werden, wie in der Variante 3, horizontal über der Dämmebene im Unterlagsboden verteilt. Im Bereich von tragenden Wänden werden die Leitungen sichtbar entlang der Wände zu den Steckdosen und Lichtschaltern geführt; in Leichtbauwänden ist die Verteilung auch innerhalb der Wand möglich. Es werden keine Lichtauslässe an der Decke definiert, dafür gibt es hohe Wandsteckdosen. Auf die Ausführung und die Ökobilanz der unterschiedlichen Elektroverteilungskonzepte in den untersuchten Varianten wird im Kapitel 8.4 «Elektroleitungen» vertieft eingegangen.

Die *Bodenheizung* ist, wie in allen Varianten bis auf die Zusatzvariante V5 (vgl. Kapitel 8.3 «Bodenaufbau und Unterlagsboden»), im Unterlagsboden integriert.

Mit zentralen, tragenden Schotten der Wohnung und der Annahme, dass die Dicke der **Betondecke 16 cm** beträgt, wird ein Bewehrungsgehalt von 89 kg/m^3 bzw. 14 kg/m^2 benötigt. Der höhere Bewehrungsgehalt ergibt sich daraus, dass die Betondecke 4 cm dünner ist als in Variante 3 bei vergleichbaren erforderlichen Durchmessern der Bewehrungsstäbe.

Aus akustischer Sicht ist es theoretisch möglich, die Mindestanforderungen von Trittschall und Luftschall nach SIA 181 auch mit der dünneren Betonschicht als in den vorherigen Varianten einzuhalten. Mit dem vorgeschlagenen Bodenaufbau (7 cm Unterlagsboden und 2+2 cm Trittschalldämmung) sowie der Betonstärke von 16 cm werden gemäss einem einfachen Nachweis die Luft- und Trittschallanforderungen erfüllt (vgl. Schallberechnungen im Anhang 13.2.3). Mit gängigen Softwaretools konnten auch die Schallnebenwege für diese spezifische Variante ermittelt werden. Ausgehend von Grundriss und System (Materialisierung, Raumhöhen) wurden die Mindestanforderungen an Luft- und Schallschutz ebenfalls erfüllt. Bei einem höheren Detaillierungsgrad der Ausführung müssten diese jedoch erneut überprüft werden. Für mehr Präzision ist die exakte Berechnung der Schallnebenwege in der Detailplanung erforderlich. Laut Fachplanende ist die erforderliche Ausführungsqualität zur Erfüllung der Anforderungen so hoch und eher schwierig zu erreichen, dass das Risiko von Haftungsfolgen bei Nichteinhaltung der Mindestschallanforderungen i.d.R. nicht eingegangen wird.

Diese Variante ist in der Gegenüberstellung der Varianten im Abschnitt 7 als Variante 4 aufgeführt. Sie schneidet in der Ökobilanz (Kapitel 7.1) insgesamt durchgehend besser ab als all die anderen Varianten. Die wesentliche Verbesserung gegenüber der Variante 3 begründet sich in der Reduktion des Betonanteils; Die Reduktion zur Variante 3 beträgt hinsichtlich der Treibhausgasemissionen nahezu 5 %. Die Zusammenfassung liefert einen Überblick über das Abschneiden in den restlichen Bewertungskriterien. Die

Gefahr der potenziellen Nichteinhaltung der Mindest-Schallanforderungen wirkt sich dabei entsprechend negativ aus.

6.5.3 Zusammenfassung

Tabelle 7 liefert einen Überblick über sämtliche vordefinierten Bewertungskriterien. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Variante 4 mit Blick auf die Ökobilanz eine merkliche Verbesserung darstellt. Aus Sicht des Schallschutzes dürfte sie nicht unproblematisch sein. Bei Konzepten ohne identische übereinander liegende Geschosse ist die Einhaltung der Mindestanforderungen nicht garantiert. In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wirkt sich die Notwendigkeit von hochwertigen Materialien für die sichtbare Führung der Lüftungsleitungen nachteilig aus.

Tabelle 7 Bewertung der statikoptimierten Decken mit offener Leitungsführung anhand der Bewertungskriterien

Begriff	Positiv	Neutral / besonders	Negativ
Ökologie	Reduktion des Materialaufwands (Beton) wirkt sich positiv aus. Beste Ökobilanz.	Abhängig von Materialwahl der Lüftungsverteilung (z.B. Karton statt Metall) könnten Werte zusätzlich gesenkt werden.	Fehlende Erfahrung mit alternativen Materialien könnten sich negativ auf deren Lebensdauer und somit auf die Ökobilanz auswirken.
Lebensdauer	Systemtrennung zwischen Tragstruktur und Gebäudetechnik (Lüftung, Elektro) ist gewährleistet. Spirorohre für die Lüftungsanlagen gelten als hochwertige, langlebige Materialisierung.	Elektro- und Lüftungsleitungen sind für eine allfällige Wartung bestens zugänglich	Schutz der Leitungen durch Beton entfällt. In der Realität werden eingelegte Leitungen über die Norm-Lebenserwartung genutzt. Spirorohre gelten aber auch so als sehr langlebig. Erfahrung an neue Konstruktionen mit solch dünnen Betondecke fehlt. Akzeptanz der Nutzenden bei allfälliger Rissbildung?
Zirkularität	Elektro- und Lüftungselemente sind einfach demonierbar; trennbare Materialgruppen Reuse-Potential der gebäudetechnischen Systeme ist gegeben.	Die Rückführung der Metallrohre in den Recyclingprozess (R5) funktioniert heute gut.	Reuse (R3) der Gebäudetechnik wäre möglich, heute aber unwahrscheinlich, da Recycling die Baupraxis bildet. Es fehlen Anreize (normativ und ökonomisch) zur Implementierung von Reuse, da ein solches planungsintensiv und heute noch unsicher ist (zeitliche Verfügbarkeit, Haftung etc.)
Brandschutz		Mindestanforderungen zum Brandschutz werden erfüllt. Materialabhängigkeit: Leitungen müssen kantonale Brandschutzanforderungen erfüllen; allg. unproblematisch im Innenausbau.	
Hygiene	Ersatz von ev. defekten, beschädigten, hygienisch nicht einwandfreien Leitungen problemlos möglich.	Langfristige Innen-Reinigung von sichtbar verlegten Leitungen ist in der Praxis wohl nicht besser als die eingelegter oder in	Staubablage auf sichtbar verlegten Leitungen möglich

Sind 16cm Beton genug?

	Zugänglichkeit erleichtert die Aussen-Reinigung.	abgehängten Decken verlegten Rohre, da eine Demontage der Rohre zur Reinigung unwahrscheinlich ist.	
Ästhetik	Nicht Baustandard, kann als exklusive Lösung geschätzt werden. Durchgängige Deckenflächen möglich.	Wichtigkeit des Gesamtkonzepts im Umgang mit der Gebäudetechnik. Neue Ästhetik von sichtbarer Verlegung und Reuse-Konzepte im Architektur-Trend	Nutzendenakzeptanz nicht immer gegeben. Erhöhter Planungsaufwand und Kompetenzen für ästhetische Lösungen nötig
Realisierbarkeit	Logische, nachvollziehbare Konstruktionsprinzip der Gebäudetechnik (für Nutzende, Ausführende und Planende), insbesondere bei künftigem Anpassungsbedarf.	Erfahrung mit 16 cm Decken aus Bauten bis in den 70er Jahre.	Entspricht nicht der Norm und wahrscheinlich auch nicht dem Gesetz (Schall). Nur mit grossem Planungs- und Nachweisaufwand bewilligbar.
Wirtschaftlichkeit	langfristige Anpassungen am Grundriss / Instandsetzungen durch Systemtrennung möglich.	Allenfalls künftiger Reuse von Komponenten möglich (Gebäude als Materiallager). Wahrscheinlich nicht günstiger als die 20 cm Varianten.	PE-Lüftungsleitungen sind günstiger als sichtbare Leitungen; diese erfordern den Einsatz hochwertiger Materialien, präzise Verlegung. (Ästhetik) erfordert Planungsmehraufwand
Flexibilität	Anpassbarkeit des Lüftungskonzepts in Zukunft möglich	Elektro: Keine fixen Leuchten Stellen	Keine statischen Reserven für allfällige künftige strukturelle Anpassungen.
Gebrauchstauglichkeit	keine falsch positionierte Lampenstellen		Mehraufwand der äusseren Reinigung (Staubablage). Partielle Einschränkung der Durchgangshöhen. Ev. problematisch bei schallempfindlichen Nutzenden.
Bauablauf	Qualitätssicherung in der Ausführung aufgrund der sichtbaren Leitungen, Anschlüsse usw.		Planungsmehraufwand im Bereich Bauphysik und Architektur (Schall, Baustruktur, Detaillierung). Erhöhte Arbeitsqualität erforderlich in der Ausführung
Schall		GT-Leitungen in der "eigenen" Wohnung	Schallnebenwege müssen gesondert berechnet werden: Erfüllung der Anforderungen nur bei entsprechender Planung (sowohl konzeptionell als auch Detaillierung) und Ausführung. Trittschall kritisch.
Statik	Einfachere Ausführung durch Systemtrennung. Keine Schwächung durch Einlagen.	Mit alternativen Deckenkonstruktionen könnten statisch noch dünnere Decken möglich sein. (z.B. Rippendecken)	Heute nicht mehr üblich. (Know-How und «Risikobereitschaft»?)
Zukunftspotential		Bei Anforderungen an THGE in Gebäuden im Hinblick auf den Netto-Null-Ab senkpfad (z.B. maximale CO2-Budgets) könnte die	

Sind 16cm Beton genug?

Lösung an Bedeutung gewinnen.
Eröffnet Diskussion zu Schallschutzanforderungen vs. CO2-Bilanz

7 Gegenüberstellung der Varianten

7.1 Ökobilanzen

Die Ökobilanz für die 5 Varianten wurde anhand der Daten aus der KBOB-Liste (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023) erstellt. Innerhalb der Systemgrenze liegen die für den Vergleich der Varianten wesentlichen Konstruktionselemente der analysierten Wohnung: Decken- und Fussbodenaufbau, Lüftungs-, Elektro- und Sanitärverteilung sowie Innenwände. Der Betrachtungszeitraum der Analyse beträgt 60 Jahre, was der herkömmlichen Berechnungsmethode der SIA entspricht. Die angenommene Lebensdauer der Bauteile orientiert sich grundsätzlich am SIA Merkblatt 2032, Anhang C (2013). Auf Basis von Erfahrungswerten wurden im spezifisch analysierten Fall folgende übergeordnete Annahmen getroffen:

Der Fussbodenaufbau wurde mit 60 Jahren Lebensdauer angenommen, ausgenommen des Parketts (30 Jahre). Laut SIA 2032:2010 müssten die Bodenaufbauten (insbesondere der Heizestrich) nach 30 Jahren ausgetauscht werden. In Wohnungsbauten wird jedoch erfahrungsgemäss die Anordnung der Innenwände bei Mauerwerk-Innenwänden selten angepasst. Ein Ersatz des Unterlagsbodens drängt sich dementsprechend i.d.R. nicht auf. Ebenso wurden die nichttragenden Innenwände analog den tragenden mit 60 Jahren Lebensdauer angenommen und weichen somit von der Norm ab. Die in den Betondecken (60 Jahre) eingelegte Gebäudetechnik wurde entgegen den Angaben der SIA 2032:2010 ebenfalls mit einer Lebensdauer von 60 Jahre eingerechnet, da diese im Wohnungsbau kaum angepasst werden würde. Die abgehängte Deckenkonstruktion und die darin geführten Leitungen wurden mit 30 Jahren Lebensdauer berechnet, ebenso alle sichtbar geführten Leitungen der Gebäudetechnik sowie der Putz in allen angenommenen Deckenvarianten. Tragende Wände aus Beton wurden inkl. Bewehrung (90 kg/m^3) angenommen. Diese Annahmen beruhen auf Erfahrungswerten der miteinbezogenen Fachleute für die spezifischen Bauteile. In der Praxis können diese Annahmen situationsabhängig variieren.

Die Veränderung der angenommenen Werte hat einen massgeblichen Einfluss auf die bilanzierten Bauteile. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass weder der Unterlagsboden noch die Decken vor Lebensende eines Gebäudes abgerissen werden als Teil einer Instandsetzungsmassnahme. Zusammenfassend sind die Annahmen zur Lebensdauer der Bauteile in Tabelle 8 aufgelistet. Diese zeigt ebenfalls auf, welche Bauteile in der Wohnung für den Variantenvergleich als relevant eingestuft wurden und bei der vereinfachten Ökobilanz mitberücksichtigt wurden und welche nicht (letzte in grauer kursiver Schrift). Da in sämtlichen Varianten zahlreiche Bauteile identisch oder zumindest in sehr ähnlicher Form ausgeführt werden dürften, liegen diese ausserhalb der untersuchten Systemgrenze. Es handelt sich hierbei beispielsweise um die Gebäudehülle (Fassade), die Fundation sowie allfällige statische Verstärkungen, gewisse Bestandteile der Haustechnik (Armaturen, Apparate, Schachtwände, Luftverteiler, KWL-Box und Heizungsverteilung). Zudem wurden Innenwände unverputzt angenommen.

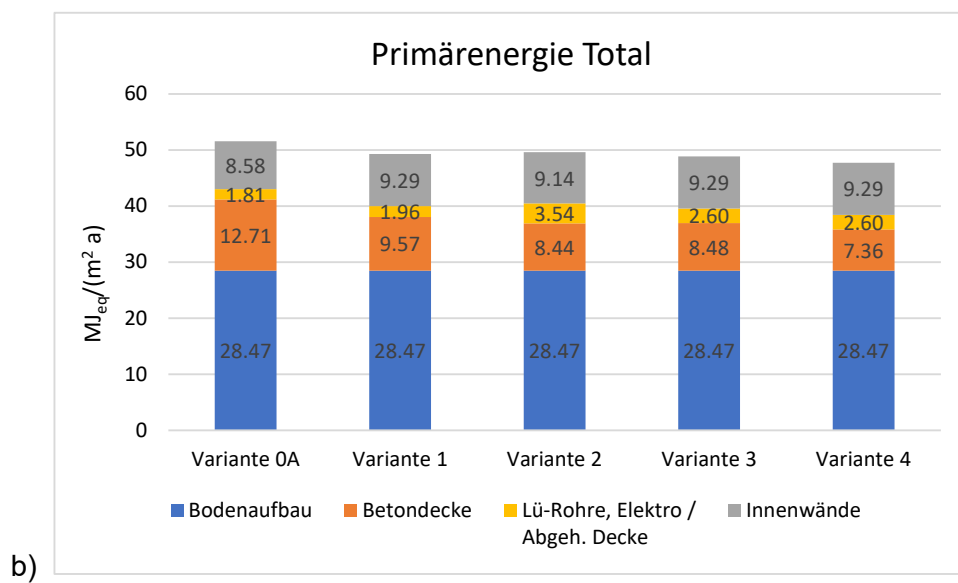
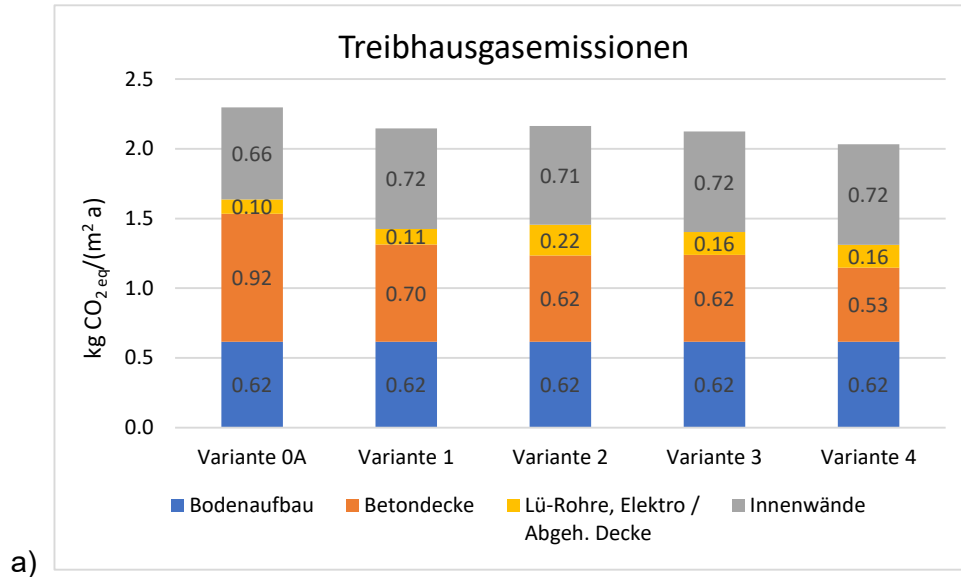
Sind 16cm Beton genug?

Tabelle 8 Übersicht der angenommenen Werte für die Lebensdauer der in der Ökobilanz berücksichtigten und nicht berücksichtigten Bauteile. Letztere sind in kursiver Schrift und in einem Grauton aufgelistet.

Kategorie	Bauteil	Lebensdauer [Jahre]	Einbezug [Ja/Nein]
<i>Lüftung</i>	<i>Horizontal zu Wohnung</i>	30	<i>Nein</i>
Lüftung	innerhalb Wohnung, offen oder in abgehängter Decke	30	Ja
Lüftung	innerhalb Wohnung, eingelegt	60	Ja
<i>Lüftung</i>	<i>Lüftungsgerät (zentral)</i>	20	<i>Nein</i>
<i>Lüftung</i>	<i>KWL-Boxen in Wohnung</i>	15	<i>Nein</i>
<i>Lüftung</i>	<i>Diverse Elemente</i>	15	<i>Nein</i>
<i>Heizung / Elektro</i>	<i>Anschlüsse Heizung, Elektro</i>	30	<i>Nein</i>
<i>Heizung</i>	<i>Bodenheizung</i>	60	<i>Nein</i>
Elektro	innerhalb Wohnung, Installationsrohre Elektro, eingelegt	60	Ja
Elektro	innerhalb Wohnung, Installationsrohre Elektro, sichtbar	30	Ja
Elektro	innerhalb Wohnung, Installationskabel Elektro	30	Ja
<i>Sanitär</i>	<i>Anschlüsse / Leitungen Sanitär</i>	30	<i>Nein</i>
Bau	Rohbetondecke	60	Ja
Bau	Trennwände tragend	60	Ja
Bau	Trennwände nichttragend	60	Ja
<i>Bau</i>	<i>Wandbekleidung (Putz, Anstich)</i>	30	<i>Nein</i>
Bau	Unterlagsboden	60	Ja
Bau	Parkett	30	Ja
Bau	Abgehängte Decke	30	Ja
Bau	Deckenbekleidung (Putz)	30	Ja

Die verschiedenen Lösungsansätze der Varianten werden in der jeweiligen Ökobilanz widerspiegelt. Die Berechnung der Ökobilanz ist in Anhang 13.1 detaillierter beschrieben.

Sind 16cm Beton genug?



Sind 16cm Beton genug?

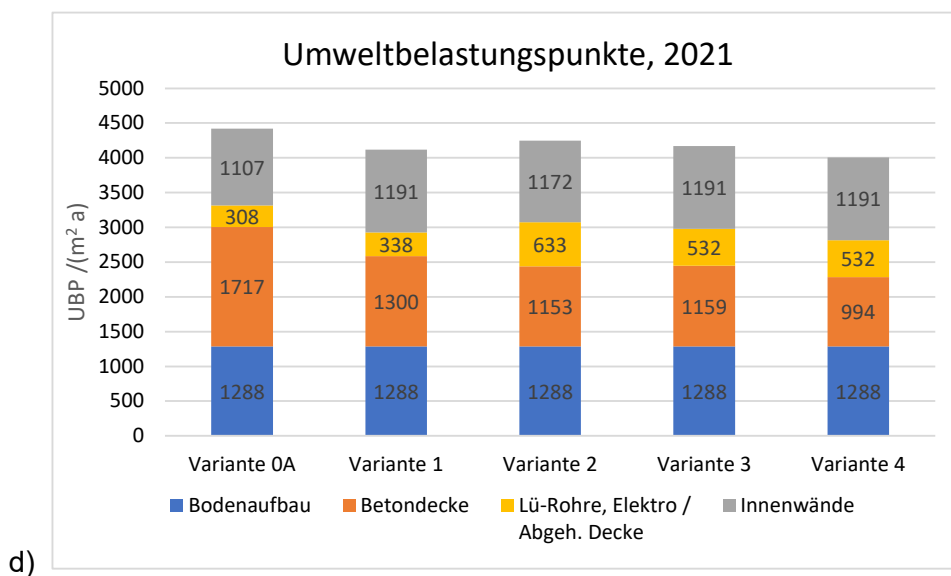
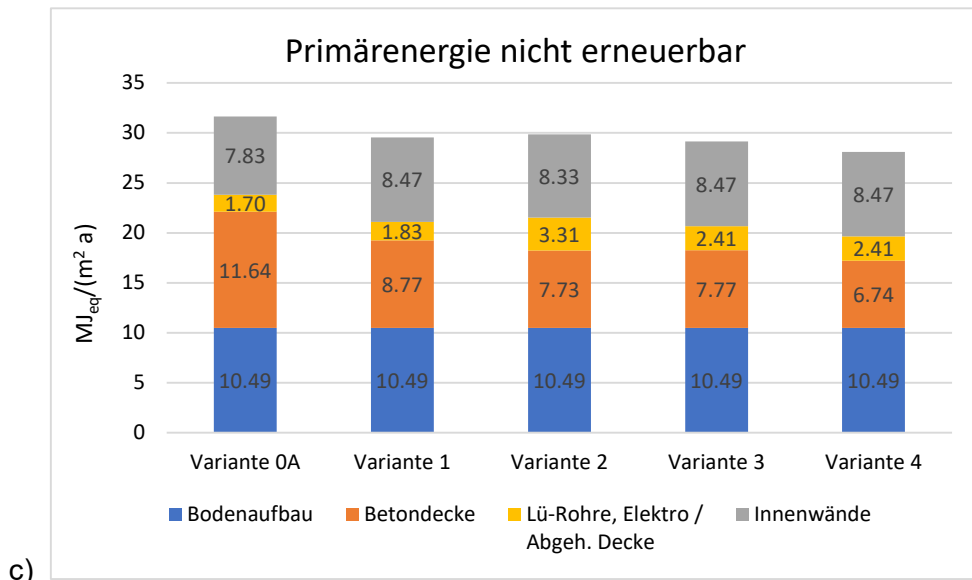


Abbildung 13 a, b, c und d; Aufwand in der Ökobilanz für die 5 untersuchten Varianten (V0A: «28cm Beton, 88kg/m³ Stahl»; V1: «22cm Beton, 80kg/m³ Stahl»; V2: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, abgehängte Decke»; V3: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, sichtbare Leitungen»; V4: «16cm Beton, 89kg/m³ Stahl») anhand von Treibhausgasemissionen (a), Primärenergie total (b), Primärenergie nicht erneuerbar (c) und Umweltbelastungspunkten (d). Der Bodenaufbau wurde dabei, in Abweichung vom SIA Merkblatt 2032, Anhang C (2013), mit einer doppelten Lebensdauer von 60 Jahre angenommen. Da die abgehängte Decke in Variante 2 nur in Nasszellen und Gangbereich angenommen wurden, betragen die Innenwände wie in den anderen Varianten 2.40 m mit Ausnahme der Wände zwischen Korridor und Nasszellen, was die leichte Wertabweichung zu den anderen Varianten begründet. Die Variante 1 wird im Text und in den folgenden Darstellungen als Referenzvariante betrachtet.

Tabelle 9 quantifiziert die Werte aus dem Ökobilanzvergleich (Abbildung 13) pro Variante und zeigt die prozentualen Abweichungen zur Referenzvariante 1 «Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt und mit optimierter Bewehrung (22 cm Beton, 80 kg/m³ Stahl)» (V1). Die Variante 0A «28 cm Beton, 88 kg/m³ Stahl» (V0A) hat insgesamt die

schlechteste Bilanz. Vor allem die Werte für die Treibhausgasemissionen sind (mit etwa 7%) deutlich höher als für die Referenzvariante 1. Die Variante 4 «16 cm Beton, 89 kg/m³ Stahl» (V4) weist die tiefsten Werte auf. Diese betragen bei den Treibhausgasemissionen 5% weniger als bei der Referenzvariante 1.

Tabelle 9 Vergleich der fünf Varianten hinsichtlich ihrer Umweltbelastung für die Erstellung angegeben in Umweltbelastungspunkten (UBP), Primärenergie total (PEtot), Primärenergie nicht erneuerbar (PEne) und Treibhausgasemissionen (THG). Die Variante 1 «Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt» wird als Referenzvariante mit 100% angegeben

	Variante 0A <i>28 cm Beton, 88 kg/m³Stahl Leitungen suboptimal eingelegt</i>	Variante 1 <i>22 cm Beton, 80 kg/m³Stahl Leitungen optimal eingelegt (Referenz)</i>	Variante 2 <i>20 cm Beton, 73 kg/m³Stahl Lüftungsleitungen in abgehängter Decke</i>	Variante 3 <i>20 cm Beton, 73 kg/m³Stahl Leitungen sichtbar geführt</i>	Variante 4 <i>16 cm Beton, 89 kg/m³Stahl Leitungen sichtbar geführt</i>
THG [kgCO ₂ eq/m ² a]	2.308	2.147	2.163	2.124	2.032
3%	+7%	100%	+1%	-1%	-5%
PEtot [MJeq/ m ² a]	51.6	49.3	49.6	48.8	47.7
%	+5%	100%	+1%	-1%	-3%
PEne [MJeq/ m ² a]	31.7	29.6	29.9	29.2	28.1
%	+7%	100%	+1%	-1%	-5%
UBP [UBP'21/ m ² a]	4420	4117	4247	4170	4004
%	+7%	100%	+3%	+1%	-3%

Der Mehraufwand für die Erstellung der abgehängten Decke in Gipskarton im Korridorbereich (V2 «20 cm mit abgehängter Decke») ist insgesamt vergleichbar mit den 2 cm zusätzliche Betondeckenstärke über die gesamte Wohnung (V1 «22 cm»). V2 schliesst bei den Treibhausgasemissionen und bei der Primärenergie leicht schlechter ab wie die Referenzvariante 1 (ca. 1%). Bei den Umweltbelastungspunkten ist der Unterschied deutlicher (ca. 3%). Dabei wurden die PE-Lüftungsrohre in V1 mit einer Lebensdauer von 60 Jahre und die PE-Lüftungsrohre in V2 mit einer Lebensdauer von 30 Jahre angenommen wurden. Es gilt jedoch zu bedenken, dass die beiden Varianten bezüglich Leistung nicht direkt vergleichbar sind, insbesondere bezüglich Schallanforderungen. Auch ist zu beachten, dass die Referenzvariante (V1) bei nicht optimierter Bewehrung (Bewehrungsgehalt 96 kg/m³) in der Ökobilanz ungünstiger abschneidet als Variante 2 (bei den Treibhausgasemission etwas mehr als 1% schlechter). (vgl. Kapitel 13.2)

Die Oberflächenbehandlung der abgehängten Decke und der Betondecke spielen in der Bilanz eine untergeordnete Rolle. Für die Berechnung wurde eine Abspachtelung der Fugen bei der abgehängten Decke angenommen. Die Betondecken könnten roh belassen werden. Trotzdem wurde für alle Deckenflächen ein Glattstrich (Einschichtputz aus

5 mm Gips-/Weissputz) angenommen, um eine vergleichbare Ansicht der Deckenoberfläche zu ermöglichen. Dieser macht bei der Referenzvariante mit $0.028 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2\text{a}$ rund 1.3% der Treibhausgasemissionen der Referenzvariante V1 aus (vgl. Tabelle im Kapitel 13.1.3). Ein allfälliger stärkerer Putzaufbau (z.B. mehrschichtig) wurde, wie bei den Wänden, in der Bilanzierung nicht berücksichtigt.

Die Verwendung von Spirorohren bei einer offenen Leitungsführung (V3 «20 cm sichtbar») wirkt sich auf die Ökobilanz der Lüftungsverteilung in der Wohnung im Vergleich zu den PE-Rohren in V2 («20 cm abgehängt») negativ aus (etwa 50% mehr THG und 40% mehr PEnE). Dennoch schliesst V3, also die sichtbare Leitungsführung, gesamtheitlich besser ab als V2, weil sich bei letzterer der Mehraufwand für die abgehängte Decke intensiver als die hochwertigere Materialisierung (verzinktes Stahlblech anstelle von PE) auswirkt und somit Ausschlag gebend ist.

Abbildung 14 zeigt die prozentualen Anteile an den grauen Treibhausgasemissionen der Hauptbauteile *Decke*, *Fussbodenaufbau*, *Wände* und *Rohrleitungen* am Beispiel der Referenzvariante 1 (V1). Mehr als ein Drittel der Treibhausgasemissionen des betrachteten Systems entfällt auf die armierte Betondecke. Die Wände machen ebenfalls mehr als ein Drittel und der Bodenaufbau auch noch nahezu 30% der Emissionen aus. Die Rohrleitungen der Lüftung (in diesem Fall PE-Rohre) und die eingelegte Elektroverkabelung gehen bei den Treibhausgasemissionen mit 3% unwesentlich in die Bilanz ein.

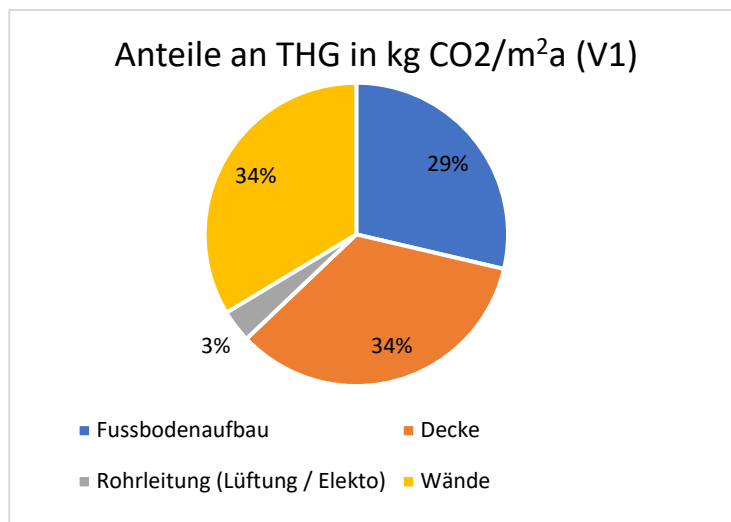


Abbildung 14 Anteile der Bauteile an den Treibhausgasemissionen anhand der untersuchten Deckenvariante V1

Im Zuge einer ganzheitlichen Betrachtung der Ökobilanz muss das Ziel sein, nicht nur die Betondecke, sondern auch andere beteiligte Bauteile wie tragende und nicht tragende Wände und den Fussbodenaufbau zu optimieren und in ihrer Wechselwirkung miteinander zu betrachten. Idealerweise erfolgt die Optimierung in der Entwurfsphase. Die Möglichkeiten dazu sind vielfältig. Die *Konstruktionsweise der Abhangdecke* birgt beispielsweise Einsparpotenzial hinsichtlich des Erstellungsaufwands durch ein

alternatives Materialisierungskonzept: Eine Unterkonstruktion aus Holz in Kombination mit nicht brennbaren Lehmbaudeckenplatten als Ersatz für eine Stahlunterkonstruktion mit Gipskartonplatten kann eine Lösung darstellen, die jedoch weniger filigran ist und in den Teilbereichen mit abgehängter Decke zu Verlust an lichter Höhe führen kann. Auch *Alternativen zum Unterlagsboden*, welche gar eine Systemtrennung gewährleisten, sind verfügbar. Es gibt beispielsweise Holzsysteme oder Lehmplatten mit Hohlräumen zur Rohrverlegung im Trockenbausystem. Entsprechende Vergleichsberechnungen zur Ökobilanz solcher alternativen Systeme im Vergleich zum konventionellen Aufbau finden sich im Kapitel 8.2 «Bodenaufbau und Unterlagsboden». Ein analoger Ansatz würde sich für die Konstruktion der *Innenwände* anbieten; eine Ausführung der nicht tragenden Wände in Trockenbauweise könnte sich ebenfalls in einer positiven Bilanz widerspiegeln. Die Optimierung der Materialwahl stellt quantitativ eine kurzfristig nachweisbare und sinnvolle Einsparmöglichkeit bei den Treibhausgasemissionen am Gebäude dar. Konzeptionelle Optimierungen im Sinne einer kreislaufgerechten Planung können hingegen langfristig einen bedeutenden Hebel darstellen, wenn dadurch die Lebensdauer der einzelnen Bauteile verlängert oder gar eine langfristige Nutzung der Räumlichkeiten selbst ermöglicht wird.

Zur Einordnung der Ergebnisse in den übergeordneten Kontext wurde für einzelne Varianten das Optimierungspotential verschiedener konstruktiver Anpassungen in Bezug auf die Ökobilanz untersucht. Der folgende Abschnitt und die Tabelle 10 stellen eine Analyse zum Potential bei Innenwänden dar.

Obwohl die *Variante 0A* «28 cm» (V0A) im Quervergleich der Varianten am schlechtesten abschnitt, kann sie Vorteile liefern, wenn beim Projekt eine höhere Flexibilität und somit weniger Innenwände gewünscht sind. Da im untersuchten Beispiel sowohl tragende (17,5 cm) als auch nicht tragende Innenwände (11,5 cm) in Mauerwerk ausgeführt werden, ist der Vorteil weniger ablesbar. Es könnten bis zu 25% Primärenergie und 28% Treibhausgasemissionen, bezogen auf die Wandkonstruktion, eingespart werden, wenn zwei Drittel der nichttragenden Innenwände aus Mauerwerk entfallen würden und die Wohnungsaufteilung z.B. durch Möblierung sichergestellt würde (mit entsprechendem Verlust im Schallbereich). Dies würde im betrachteten System gesamthaft eine Verbesserung um 8% (THG) bzw. 6% (PEne) bei der Variante 0A bedeuten, wenn die nichttragenden Zimmerwände nicht ausgeführt werden würden.

Durch den Wegfall von tragenden Mauerwerkwänden (17,5 cm) in der Variante 0A gegenüber der Variante 1 und dem entsprechenden Einsatz von nichttragenden Wänden (11,5 cm) stattdessen, konnten, bezogen auch die Wandkonstruktion, ebenfalls bereits ca. 8% an Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Würde bei der *Variante 1* auf sämtliche nichttragende Innenwände verzichtet werden, könnten rechnerisch rund 20% Treibhausgasemissionen bei der Wandkonstruktion eingespart werden. Im betrachteten System würde dies für Variante 1 gesamthaft eine Verbesserung um ca. 7% bedeuten. Selbstverständlich ist dabei die Frage, wie die Abtrennung zwischen den Nutzungen innerhalb der Wohnung gewährleistet werden würde

(z.B. durch Möblierung, einfache Kartonwände oder Vorhänge) und was es bedeuten würde, wenn diese Elemente auch in die Ökobilanz einfließen würden.

Tabelle 10 Optimierungspotential einzelner Varianten mit prozentualen Auswirkungen auf Umweltbelastungspunkte (UBP), Primärenergie total (PE_{tot}), Primärenergie nicht erneuerbar (PE_{ne}) und Treibhausgasemissionen (THG). Angegeben sind jeweils die Ökobilanzwerte der Innenwände sowie das prozentuale Einsparpotential für den Bereich der Innenwände und gesamthaft für die jeweilige Variante.

Variante	THG [kgCO ₂ eq/(m ² a)]	PE _{tot} [MJeq/(m ² a)]	PE _{ne} [MJeq/(m ² a)]	UBP [UBP'21/(m ² a)]	Hinweis
V0A (Wände)	0.661	8.58	7.85	1'107	Wände Beton tragend 19m Wände MW nicht tragend 25m
V0A optimiert	0.478	6.43	5.90	852	Wände Beton tragend 19m
%-Einsparung	28% / 8%	25% / 4%	25% / 6%	23% / 6%	(zwei Drittel der nicht tragenden Wände entfallen)
Wand / gesamt					
V1 (Wände)	0.722	9.29	8.47	1'191	Wände Beton tragend 19m Wände MW tragend 11m Wände MW nicht tragend 14m
V0 Vgl. V1	8%	8%	7%	7%	Ersparnis durch 28cm Decke:
%-Einsparung					V0 im Vergleich mit V1 (Wände)
V1 optimiert	22% / 7%	20% / 4%	20% / 6%	19% / 5%	Wände Beton tragend 19m
%-Einsparung					Wände MW tragend 11m
Wand / gesamt					(nicht tragende Wände entfallen)

Das unterschiedliche Potential im Umgang mit den Innenwänden basiert auf die unterschiedliche Spannweite der Variante V0A (7.15 m) gegenüber den restlichen Varianten (3.75 m). Um einen direkten Vergleich der Decken bei gleichbleibenden Spannweiten zu ermöglichen, wurde im Kapitel 8.1 «Spannweiten» die Ökobilanz der Variante V0B (28 cm Stärke, 3.75 m Spannweite) dargestellt.

Rekapitulierend kann gesagt werden, dass anhand der untersuchten Strategien und innerhalb der betrachteten Systemgrenze mit der Variante 4 (V4 «16 cm») insgesamt 0,3 kgCO₂eq./m² pro Jahr gegenüber der Variante 0 (V0A «28 cm») eingespart werden konnten. Wird dieser Wert zu einer einfachen Abschätzung direkt mit dem Erstellungsrichtwert für die Nutzungskategorie Mehrfamilienhaus aus dem Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie» (SIA, 2017) verglichen, der 9 kgCO₂eq./m²_{EBF} beträgt, macht die Differenz zwischen den Varianten nahezu 3.0% des Richtwerts für die grauen Treibhausgasemissionen aus. Die Differenz zwischen V4 und der Referenzvariante 1 («22 cm») beträgt 0,11 kgCO₂eq./m², was im Vergleich zum SIA-Erstellungsrichtwert für MFH rund 1.3% ausmacht. Der einfache Zahlenvergleich zeigt das approximative Potenzial einer Verjüngung der Betondeckenstärke im Wohnungsbau in der Netto-Null-Diskussion auf. Es gilt dabei jedoch immer zu beachten, dass die Quantifizierung anhand eines einzelnen Beispiels durchgeführt wurde und die verschiedenen Varianten nicht dieselben

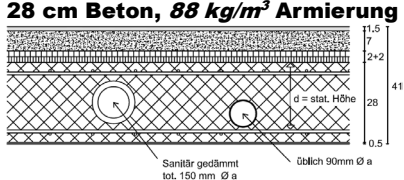
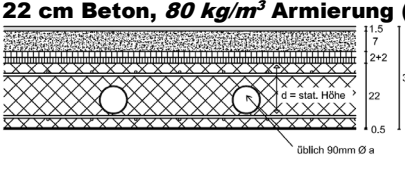
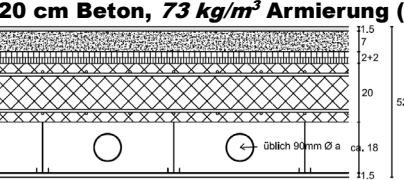
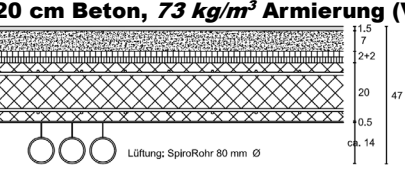
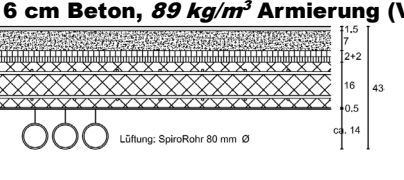
Leistung erbringen (z.B. bezüglich Schalls, Kosten oder Bauprozesse). Ein weiter gehender, gesamtheitlicher Vergleich der Varianten wird deshalb im Kapitel 7.2 angestrebt.

7.2 Gesamtheitlicher Vergleich

In diesem Abschnitt werden die 5 Ausführungsvarianten der Deckenkonstruktion anhand der vordefinierten Bewertungskriterien zusammenfassend gegenübergestellt. Tabelle 11 liefert eine stichwortartige Übersicht. Darauffolgend werden die wichtigsten Punkte und Trade-offs zusätzlich erläutert.

Sind 16cm Beton genug?

Tabelle 11 Übersicht über die Vor- und Nachteile der untersuchten Varianten bezüglich der definierten Bewertungskriterien. Besonders vorteilhafte oder nachteilige Aspekte sind farblich hervorgehoben.

	 28 cm Beton, 88 kg/m³ Armierung (V0A)	 22 cm Beton, 80 kg/m³ Armierung (V1)	 20 cm Beton, 73 kg/m³ Armierung (V2)	 20 cm Beton, 73 kg/m³ Armierung (V3)	 16 cm Beton, 89 kg/m³ Armierung (V4)
Kriterium	alle Leitungen eingelegt	optimiert eingelegt	in abgehängter Decke	sichtbar	sichtbar
Ökologie	- ungünstigste Ökobilanz: - ev. stärkere Fundation nötig + Verzicht auf tragende Innenwände möglich, dadurch Verbesserung der Ökobilanz	+ rund 20% weniger Beton als V0	+/- Materialabhängig (System abgehängte Decke) + Erstellungsaufwand für abgehängte Decke i.d.R. kleiner als für 2cm Beton	+ Materialreduktion, keine abgehängte Decke +/- Materialabhängig: verzinkte Stahlrohre v.a. bei UBP im Nachteil	+ beste Ökobilanz durch Materialminimierung
Lebensdauer	- erschwerte Zugänglichkeit (ohne Systemtrennung) dadurch eingeschränkte Reparaturen Identifizierung von Problemstellen schwierig + Beton als Schutz der Leitungen: eingelegte Leitungen i.d.R. länger als Normalter genutzt	- erschwerte Zugänglichkeit (ohne Systemtrennung) dadurch eingeschränkte Reparaturen Identifizierung von Problemstellen schwierig + Beton als Schutz der Leitungen: eingelegte Leitungen i.d.R. länger als Normalter genutzt	- Schutz durch Beton entfällt z.T. erschwerte Zugänglichkeit und Sichtung durch abgehängte Decke + Systemtrennung ermöglicht Anpassung von beschädigten Leitungen, Reuse der Kunststoffleitungen wird heute aber kaum praktiziert	- Schutz durch Beton entfällt + gute Zugänglichkeit und Sichtung Systemtrennung ermöglicht Anpassung von beschädigten Leitungen (Lüftung + Elektro)	- Schutz durch Beton entfällt + gute Zugänglichkeit und Sichtung Systemtrennung ermöglicht Anpassung von beschädigten Leitungen (Lüftung + Elektro) - Langzeiterfahrung fehlt (Wartung + Lebensdauer)
Zirkularität	- Reuse von eingelegten Leitungen unmöglich Recycling funktioniert heute jedoch weitgehend + Freier Grundriss (kaum tragende Innenwände), potentieller Einsatz von Reuse-Wandelemente	- Reuse von eingelegten Leitungen unmöglich Recycling funktioniert heute jedoch weitgehend	+ Systemtrennung gewährleistet Demontage, Trennbarkeit +/- Reuse von GK-Platten und Kunststoffleitungen heute noch keine Praxis	+ Systemtrennung gewährleistet Demontage, Trennbarkeit, gegeben Reusepotential gross +/- Heutiges Metall-Recycling die Regel, Reuse Elektroleitungen in Einzelfällen praktiziert	+ Systemtrennung gewährleistet Demontage, Trennbarkeit, gegeben Reusepotential gross +/- Heutiges Metall-Recycling die Regel, Reuse Elektroleitungen in Einzelfällen praktiziert
Brandschutz	+ Erhöhter Schutz	+ guter Schutz (jede Variante erfüllt Anforderungen)	+/- Brandschutzanforderungen erfüllt	+/- Brandschutzanforderungen erfüllt Lüftungsmaterialien: Leitungen innerhalb der Wohnung keine Vorschriften	+/- Anforderungen erfüllt, geringster Schutz Lüftungsmaterialien: Leitungen innerhalb der Wohnung keine Vorschriften
Hygiene	+ Keine Staubablage auf eingelegte Leitungen - Identifizierung/ Ersatz v. Problemstellen schwierig +/- in der Praxis langfristige Reinigung wrs. nicht schlechter als bei sichtbar verlegten Leitungen	+ Keine Staubablage auf eingelegte Leitungen - Identifizierung/ Ersatz v. Problemstellen schwierig +/- in der Praxis langfristige Reinigung wrs. nicht schlechter als bei sichtbar verlegten Leitungen	+ Keine Staubablage auf sichtbare Leitungen +/- in der Praxis langfristige Reinigung wrs. nicht schlechter als bei sichtbar verlegten Leitungen	- Staubablage auf sichtbare Leitungen möglich + Identifizierung/ Ersatz von Problemstellen unproblematisch Zugänglichkeit erleichtert die Reinigung	- Staubablage auf sichtbare Leitungen möglich + Identifizierung/ Ersatz von Problemstellen unproblematisch Zugänglichkeit erleichtert die Reinigung
Ästhetik	+ durchgehende Sichtbetonunterdecke möglich + Planungsfreiheit	+ durchgehende Sichtbetonunterdecke möglich	+ versteckte Technik, Planungsfreiheit - Materialwechsel zwischen Räumen reduzierte Raumhöhe in Teilbereichen	- Akzeptanz durch Nutzende nicht immer gegeben + ermöglicht durchgehende Deckenflächen und «neue technische Ästhetik» (Trend Architektur)	- Akzeptanz durch Nutzende nicht immer gegeben + ermöglicht durchgehende Deckenflächen und «neue technische Ästhetik» (Trend Architektur)
Realisierbarkeit	+ Oft anzutreffende Lösung in der CH technisch u. in der Ausführung bekannte Lösung	+ entspricht Baustandard CH technisch u. in der Ausführung bekannte Lösung	+ entspricht Baustandard nördliche EU, tw. CH ...technisch u. in der Ausführung bekannte Lösung	+ logisches, nachvollziehbares Konstruktionsprinzip auch für künftige Anpassungen - entspricht nicht dem Baustandard im Wohnbau, jedoch Anwendung im Büro/Gewerbebereich	+ logisches, nachvollziehbares Konstruktionsprinzip auch für künftige Anpassungen - entspricht nicht der Norm u. wrs. Gesetz (Schall!) benötigt zusätzlicher Nachweis, Planungsaufwand
Wirtschaftlichkeit	+ Initial günstigste Lösung PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre - allfällige langfristige Anpassungen können kostspielig sein	+ Initial günstige Lösung PE-Rohre günstiger als verzinkte Stahlrohre - allfällige langfristige Anpassungen können kostspielig sein + Maximale Raumhöhe möglich	+/- PE initial günstiger als sichtbare Leitungsführung- grossflächige abgehängte Decke kann Mehrkosten verursachen	- initial teuerste Lösung + langfristiges Einsparungspotential bei allenfalls notwendigen künftigen Anpassungen - Einsatz hochwertiger Materialien erforderlich - Planungsmehraufwand	- initial teure Lösung (dünnst mögliche Betonstärke ist heute ökonomisch nicht anstrebenswert) + langfristiges Einsparungspotential möglich - Einsatz hochwertiger Materialien erforderlich - grosser Planungsmehraufwand
Flexibilität	+ flexible Grundrissgestaltung - technische Systemanpassungen / Nachrüstung kaum möglich oder Aufputz (Lüftungsauslässe)	- technische Systemanpassungen / Nachrüstung kaum möglich oder Aufputz (Lüftungsauslässe)	+ Bereich abgehängte Decke anpassbar und auf neue Bedürfnisse adaptierbar - Lampenauslässe in Zimmer/Wohnen fix	+ Installationen auch künftig flexibel + Auslässe spät definierbar Lampenstellen nicht vorgegeben	+ Installationen auch künftig flexibel + Auslässe, Lampenstellen spät definierbar - keine statischen Reserven
Gebrauchstauglichkeit	+ einfachere Oberflächenreinigung - Vorgegebene Lampenstellen	+ einfachere Oberflächenreinigung + optimal nutzbare Raumhöhe - Vorgegebene Lampenstellen	+ einfache Oberflächenreinigung - Vorgegebene Lampenstellen in Zimmer/Wohnen - eingeschränkte Raumhöhe im Gangbereich - thermische Aktivierung Speichermasse gemindert	- Aufwändige Reinigung - partiell eingeschränkte Raumhöhe (Leitungen)	- Aufwändige Reinigung - partiell eingeschränkte Raumhöhe (Leitungen) + effizienteste Konstruktion (Raum-/Gebäudehöhe) - problematisch bei schallempfindlichen Nutzenden
Bauablauf	+ geringer ästhetischer Planungsaufwand - Koordinationsbedarf - benötigt präzise Ausführung, irreversibel	+ geringer ästhetischer Planungsaufwand - grösserer Koordinationsbedarf zur Optimierung - benötigt präzise Ausführung, irreversibel	+ geringer ästhetischer Planungsaufwand - Koordinationsbedarf im Bereich der abgehängten Decke	- Hoher Planungsaufwand - ästhetisch präzise Ausführung + Qualitätssicherung durch sichtbare Ausführung	- Hoher Planungsaufwand (Architektur + Bauphysik) - ästhetisch präzise Ausführung + Qualitätssicherung durch sichtbare Ausführung
Schall	- Übertragungsgefahr bei mangelhafter Ausführung (v.a. Sanitärleitungen der oberen Wohnung) + erhöhte Schallanforderungen i.d.R. möglich	+ erhöhte Schallanforderungen möglich (in Liegenschaften der Stadt Zürich werden diese jedoch nicht angestrebt bzw. gefordert)	+ Bei sachgemässer Ausführung unproblematisch zur Einhaltung der Mindestanforderungen Leitungen in eigener Wohnung	+ Bei sachgemässer Ausführung unproblematisch zur Einhaltung der Mindestanforderungen Leitungen in eigener Wohnung	- benötigt entsprechendes Konzept (Architektur + Details), nicht bei jedem Konzept anwendbar - Akkurate Berechnung der Schallnebenwege nötig
Statik	+ Innenwandreduktion - ev. Fundationsverstärkung nötig ev. Schwächung der Decke durch Einlagen	+/- Deckenaufbau ist etablierter Baustandard, wobei explizite Optimierung des Bewehrungsgehalts mit abwechselnden Eisendurchmesser selten ist	+ Einfache Ausführung durch Systemtrennung keine Schwächung durch Einlagen	+ Einfache Ausführung durch Systemtrennung keine Schwächung durch Einlagen	+ Einfache Ausführung durch Systemtrennung keine Schwächung durch Einlagen - heute nicht mehr üblich, Risikobereitschaft?
Zukunftspotential	+/- ev. künftig Beton als CO ₂ -Speicher - Bei Gesetzgebung zu CO ₂ im Gebäude nachteilig +/- Entwicklung im Bereich CO ₂ -armer Zement	+/- ev. künftig Beton als CO ₂ -Speicher	+ Lüftungskonzept flexibel, adaptierbar + Reusepotential vorhanden künftiges Einbringen von ökologischen Materialien gut möglich	+ Steigerung Nutzerakzeptanz durch gute Beispiele + Materialentwicklung: z.B. Zink-Magnesium statt Verzinkung, alternative Lüftungsmaterialien (z.B. Karton statt Spirorohre)	+ Bei strengeren Anforderungen zu CO ₂ gefragt +/- eröffnet Diskussion zu Schallanforderungen

Ökologie, Lebensdauer und Zirkularität

Die *Ökobilanzuntersuchung* im vorgängigen Kapitel hat aufgezeigt, dass durch eine Verjüngung der Betondeckenstärke, insbesondere bei der untersuchten 16 cm Betondecke, eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Gebäude erzielt werden kann. Die Berechnung der Emissionen stützen dabei auf anerkannte Regeln und Annahmen der Ökobilanzierung sowie der Baupraxis ab, so auch die angenommene *Lebensdauer* der analysierten Bauteile. Der Einfluss auf die Ökobilanz durch Verkürzung oder Verlängerung der Lebensdauer der einzelnen Bauteile wurde nicht explizit untersucht. Diese hat jedoch eine zentrale Bedeutung bei der Quantifizierung der Gebäudeemissionen. Einfach gesagt: Kann die Nutzungsdauer eines Bauteils gegenüber der Normvorgabe verdoppelt werden, halbiert sich dadurch die errechnete Umweltbelastung.

Zirkularität bedeutet, ein Produkt so lange wie möglich und mit möglichst hoher Qualität im Kreislauf zu halten; Diese Wirtschaftsform baut auf Werterhaltungskreisläufen auf, welche in verschiedenen Prozessen beschrieben werden können. Diese Prozesse können von der grössten zur geringsten Umweltwirkung folgendermassen geordnet werden (in Anlehnung an United Nations Environment Programme UNEP, 2022):

1. Rethink/Refuse/Reduce des Designs: Hierbei handelt es sich um die Verringerung des Materialverbrauchs, insbesondere des Rohstoffverbrauchs welches den gesamten Lebenszyklus mit einbezieht; sollte bereits in den frühesten Phasen der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung als übergreifendes Leitprinzip angewandt werden.
2. Reduce/Reuse: Aus Nutzer- und Produzentenperspektive bedeutet es Reduktion und Wiederverwendung.
3. Repair/Refurbish/Remanufacture: Aus der Perspektive der Nutzenden und der zwischengeschalteten Unternehmen behandelt dieser Prozess die Rücknahme, Reparatur, Wiederaufbereitung und Wiederaufarbeitung.
4. Repurpose/Recycle: Betrifft vermehrt Prozesse von Unternehmen zu Unternehmen. Produkte erfahren Wiederverwendung und Wiederverwertung.

Somit entsteht eine Hierarchisierung, welche mit den verschiedenen «R's» beschreiben werden kann: Rethink, Refuse, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose und Recycle. Zur Vereinfachung wurde in diesem Bericht mit den fünf gängigen «R's» (R1.Refuse (Ablehnung), R2.Reduce (Reduktion), R3.Reuse (Wiederverwendung), R4. Repurpose (Weiterverwendung) und R5.Recycle (Verwertung)) gearbeitet.

Wenn eine *Systemtrennung* von Tragwerk und Gebäudetechnik gewährleistet ist, können im Grundsatz alle Bauteile gemäss ihres individuellen Lebenszyklus repariert, saniert, ausgetauscht und wieder aufbereitet werden. Es werden alle eingesetzten Materialien möglichst lang genutzt und können sortenrein getrennt und hochwertig recycelt werden. Auf die Zirkularitätshierarchie bezogen bedeutet es, dass R3-R5 erfüllt werden.

Hat die Zirkularität auf den ersten Blick keinen direkten Einfluss auf die Ökobilanz, spielt sie jedoch in der Berechnung eine entscheidende Rolle: Nebst der Verlängerung der Lebensdauer der Bauteile kann auch das einfacher umsetzbare stoffliche Recycling am Lebensende einen positiven Effekt auf die Ökobilanz haben (V2, V3, V4).

Konzeptionelle Optimierungen im Sinne einer kreislaufgerechten Planung können langfristig einen bedeutenden Hebel darstellen, wenn dadurch auch eine langfristige Nutzung der Räumlichkeiten selbst ermöglicht wird. Die Vorteile der (überdimensionierten) Decke mit eingelegten Leitungen besteht dagegen hauptsächlich in der Überbrückung grösserer Spannweiten und dem damit einhergehenden Verzicht auf zusätzliche tragende Innenwände sowie der Möglichkeit, einen freien Grundriss zu generieren (V0A). Im Hinblick auf künftige Nutzende und sich ändernden Bedürfnisse ist eine Flexibilität der Grundrissgestaltung für eine kreislaufgerechte Planung nicht unerheblich. Die Besitzenden/Investierenden können, ohne grosse Veränderung in der Bausubstanz vornehmen zu müssen, eine individuelle bedürfnisgerechte Raumaufteilung umsetzen. Demgegenüber wirkt sich bei eingelegter Gebäudetechnikverteilung (V0, V1) die irreversible Festlegung der Lüftungs- und Lichtauslässe besonders nachteilig aus.

Instandsetzung und Hygiene

Je einfacher sich die Demontage der Bauteile gestaltet, desto weniger Kosten entstehen i.d.R. bei Instandsetzungsarbeiten. Dieser Punkt gilt auch für allfällige Hygienemassnahmen im Betrieb, welche womöglich durch die Diskussionen in der Covid-Pandemie einen noch höheren Stellenwert erhalten haben. Die Varianten 2-4 bieten einen einfacheren Zugang zum gebäudetechnischen Verteilsystem und somit vielfältigere Optionen Identifizierung von Schwachstellen, der Reinigung oder der nachträglichen Anpassungen aufgrund neuer Bedürfnisse.

Es gilt jedoch auch zu beachten, dass die Innen-Reinigung von Rohren auch bei nicht eingelegten Rohren in der Praxis kaum durch die Demontage von Rohren durchgeführt wird. Somit ist wohl die Innen-Reinigung von eingelegten Rohren faktisch derjenigen in abgehängten Decken oder sichtbar geführten Leitungen gleichzusetzen. Zudem bieten frei verlegte Rohre Flächen für zu reinigenden Staubablagen.

Bauphysik (Statik, Brandschutz, Schallschutz)

Sämtliche Varianten (V0-V4) erfüllen im ausgewählten Beispielgrundriss die aktuellen Anforderungen an *Statik* und *Brandschutz*. Die statischen Voraussetzungen sind bei im Wohnungsbau heute üblichen Spannweiten mit 16 cm Stahlbetondecken leicht zu erfüllen, wenn der Bewehrungsgehalt entsprechend angehoben wird. Der dafür zusätzlich notwendige Bewehrungsanteil bleibt dabei verhältnismässig gering und verschlechtert die Ökobilanz nicht in bedeutender Weise.

Die Erfüllung der *Schallschutzanforderungen* bedingt hingegen eine sorgfältige Planung und Ausführung. Da bestehen zwischen den Varianten auch bedeutende Unterschiede. Bilden V0 und V1 die Basis für die Erfüllung von erhöhten Schallanforderungen, ist dies

bei den restlichen Varianten kaum möglich. Bei 16 cm Betondecke (V4) sind selbst die Mindestanforderungen nur mit erhöhtem Planungsaufwand bei Anschlussdetails und Grundrissgestaltung zu erfüllen. Grundsätzlich werden jedoch die erhöhten Anforderungen in den Wohnungen der Stadt Zürich nicht angestrebt bzw. vorgeschrieben.

Schallwirksame Bauteile wie Trittschalldämmung, Randdämmstreifen oder Rohrummantelungen sind durchgehend auszuführen. Wichtiger als der Schichtenaufbau selbst sind Anschlussdetails. Kleine Unterbrüche können schalltechnisch schwerwiegende Folgen haben und zu kostspieligen Haftungsfragen führen. Bei komplexen Grundrissen oder speziellen Ausführungsdetails führt dies zu einer aufwändigeren Planung bzw. zu zusätzlichen Schallnachweisen. Dieser Planungsmehraufwand wird oftmals durch die Schaffung von Reserven in den Normdetails oder auch durch eine Überdimensionierung der Aufbauten kompensiert.

Die Varianten mit eingelegten Leitungen (V0 und V1) gehören heute zum Standard und sollten demnach insgesamt nicht fehleranfälliger als die Varianten mit einer klaren Systemtrennung (V2-V4) sein. Bei nicht sachgemässer Ausführung besteht generell die Übertragungsgefahr von Luft- und Trittschall sowie durch Leitungen verursachte Störgeräusche in Nachbarswohnungen. Durch den Einsatz von mehr Betonmasse werden allfällige Mängel in der Baupraxis i.d.R. eher kompensiert.

Realisierbarkeit

Die Realisierbarkeit aller untersuchten Varianten (V0-V4) ist technisch gegeben. Bezüglich der Variante 1 ist darauf zu achten, dass die Elektroleitungen im Bereich der Bewehrungsebene praxistauglich verlegt werden. Eine exakte Planung der Gewerke ist die Voraussetzung für die Optimierung der Betondeckenstärke. Auf Kreuzungen in der Lüftungsverteilung kann i.d.R. verzichtet werden, daraufhin werden die Leitungen allerdings oftmals länger. Aufgrund des geringen Gewichts von PE-Rohren und dem Wegfall von Betonmasse, bleibt der Einfluss auf die Ökobilanz unwesentlich.

Alle Varianten erfordern selbstverständlich eine hohe Planungstiefe und eine exakte Ausführung, Koordination der Gewerke und Kontrolle im Bau. In Varianten 1 und 2 muss die detaillierte Planung der gebäudetechnischen Installationen (Dimensionierung, Leitungsführung, Auslässe usw.) im Vergleich zu den anderen Varianten früh erfolgen. Spätere Anpassungen sind kaum noch möglich. Bei der sichtbaren Leitungsführung (V3 und V4) ist die akkurate Planung und Sorgfalt in der Ausführung ebenfalls notwendig und verlangt i.d.R. eine zusätzliche ästhetische Qualität. Sie erfolgt jedoch möglicherweise später, dafür wird allerdings eine höhere, langfristige Flexibilität erreicht. Die sichtbaren Leitungen führen womöglich im Betrieb aber auch zu Mehraufwand für die Nutzenden in der Reinigung.

Die Realisierbarkeit der 16 cm Variante (V4) hängt stark vom bauphysikalischen Nachweis ab (Luft- und Trittschall) und der entsprechenden Einhaltung von Normvorgaben sowie Nutzungsvereinbarungen oder Verträge. Dafür ist ein erhöhter Planungsaufwand

bei den Konstruktionsdetails notwendig, aber auch in der frühen räumlichen Konzeption des Projektes. Eine nicht konsequente konstruktive sowie strukturelle Umsetzung kann bei dieser Variante nicht durch «Betonreserven» kompensiert werden. Dies erhöht das Risiko von Haftungsfällen bedeutend und mindert das Realisierungspotential dementsprechend.

Zukunftspotential

Alternative Materialisierung und Vorfabrikation

Aber auch Für die sichtbare Leitungsverlegungen könnten sich künftige ansprechende Alternativen zu den metallischen Spirorohren finden. Lüftungskanäle aus nachwachsenden Rohstoffen, wie Karton oder Bambus können beispielsweise eingesetzt werden (Settembrini, et al., 2022). Auch in der Abhangdecke können alternative Lüftungsmaterialien zum Kunststoff zur Anwendung kommen. Durch gute Praxisbeispiele könnte die Akzeptanz von Nutzenden für sichtbare Leitungsführung im Wohnungsbau künftig gesteigert werden. Potenzial liegt zudem in Betonfertigteilen als Hohldecken (Hohlkammer-Fertigdecke). Die Systemtrennung bleibt damit im Ansatz erhalten, allerdings ist die Revisionierbarkeit der einzelnen Komponenten ebenfalls eingeschränkt. Durch die Hohlkammern kann bis zu 50% Betonmasse eingespart werden (Albert, Denk, Mertens, & Nitsch, 2007). Bisherige Erfahrungen mit Hohldecken zeigten jedoch, dass sich die Beton- und Gewichtsreduktion wirtschaftlich zu wenig auszahlte. Zudem erhöhen sie wieder die Betrachtung bzw. den Aufwand zum Schallschutznachweis. Nicht zuletzt deshalb ist das Anwendungsgebiet von solche Deckensystemen heute noch gering.

CO₂-optimierter Beton

Mit CO₂-optimierten Betonen können durch Reduktion des Zementanteils in der Betonmischung und mithilfe von Substitutionsmaterialien (Sekundärrohstoffe wie Hüttensand aus der Stahlproduktion, Kalkstein, Tone o.Ä.), derzeit etwa 30-65% der Treibhausgasemissionen eingespart werden (WWF, 2019). In der Stadt Zürich wird dieser Ansatz mit entsprechenden Vorgaben bereits praktiziert. Eine Untersuchung dazu wurde im Abschnitt 8.2 «Betonarten» erstellt.

Die Wichtigkeit von CO₂-optimierten Konzepten wird sich bedeutend erhöhen, falls – z.B. im Rahmen der Definition eines Netto-Null-Absenkpfeils – künftig Vorgaben zu maximalen Treibhausgasemissionen bei der Gebäudeplanung allgemein einzuhalten sein werden. Die Stadt Zürich verfolgt solche Ansätze bereits. Der Umgang mit Beton als Baumaterial wird dabei künftig zunehmend mitentscheidend zur Erfüllung von Bauauflagen sein.

8 Vertiefte Analysen

Ist im Kapitel 7 «Gegenüberstellung der Varianten» zur Optimierung der Ökobilanz das Variieren der Betondeckenstärken im Vordergrund gestanden, werden in diesem Kapitel alternative Massnahmen durchleuchtet, die zu einer Reduktion der Treibhausgase in Gebäuden führen können.

8.1 Spannweiten

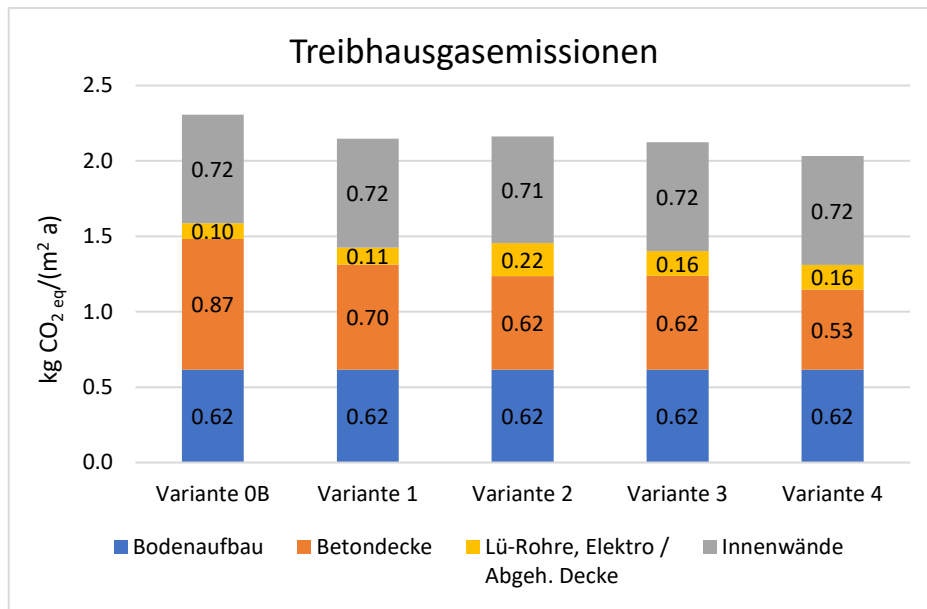
In den Berechnungen zur Ökobilanz der Varianten 0 bis 4 (Kapitel 7.1) wurde für die Variante 0A mit einer Betondeckenstärke von 28 cm von einer Spannweite von 7.15 m ausgegangen. Dadurch wird, mit einem verhältnismässig kleinen Mehraufwand bei der Bewehrung, eine Reduktion der Anzahl der tragenden Innenwände möglich, was die Flexibilität erhöht. Diese Variante wurde als Variante 0A bezeichnet und benötigt einen spezifischer Bewehrungsgehalt von 88 kg/m³ bzw. 25 kg/m².

Um einen Vergleich aller Varianten (Varianten 0 bis 4) auch mit gleicher Spannweite darzustellen, wurde die Variante 0 mit einer Betondeckenstärke von 28 cm auf für eine Spannweite von 3.75 m berechnet. Diese Variante 0B kommt mit einem geringeren spezifischen Bewehrungsgehalt von 74 kg/m³ bzw. 21 kg/m² aus, benötigt dafür aber eine tragende Wand mehr. Abbildung 15 zeigt den Vergleich der Variante 0B bis Variante 4 bezüglich den verursachten Treibhausgasemissionen, der Umweltbelastungspunkte sowie der für die benötigten Primärenergie.

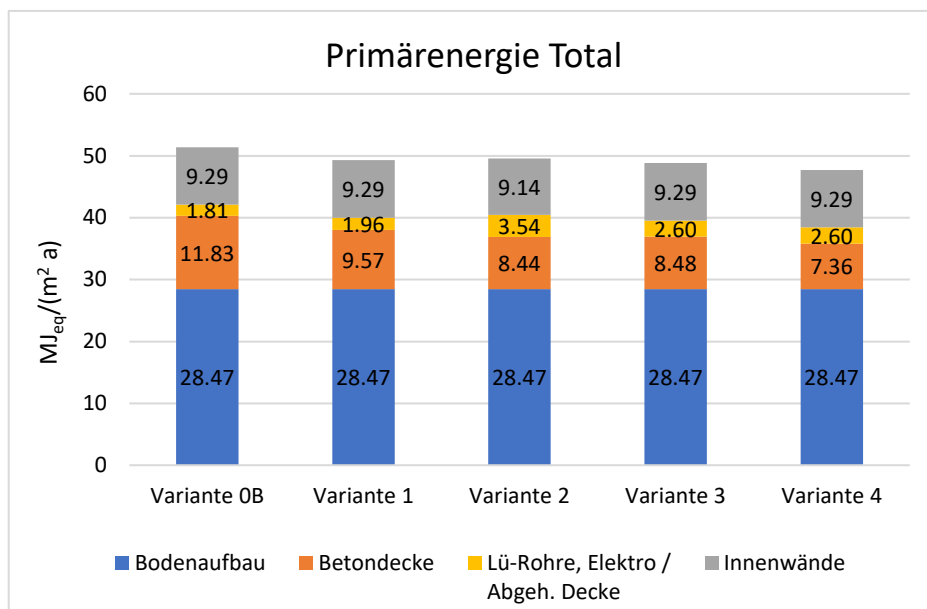
Im Vergleich ist Variante 0A (7.15 m Spannweite) und Variante 0B (3.75 m Spannweite) faktisch identisch (z.B. für Indikator Treibhausgasemissionen: Var 0A: 2.30 kg CO_{2eq}/(m² a); Var 0B: 2.31 kg CO_{2eq}/(m² a)). Insofern macht es baupraktisch keinen Sinn bei einer Betondeckenstärke von 28 cm auf die zusätzliche Flexibilität zu verzichten, die sich durch die erhöhte Spannweite ergibt.

Sind 16cm Beton genug?

a)



b)



Sind 16cm Beton genug?

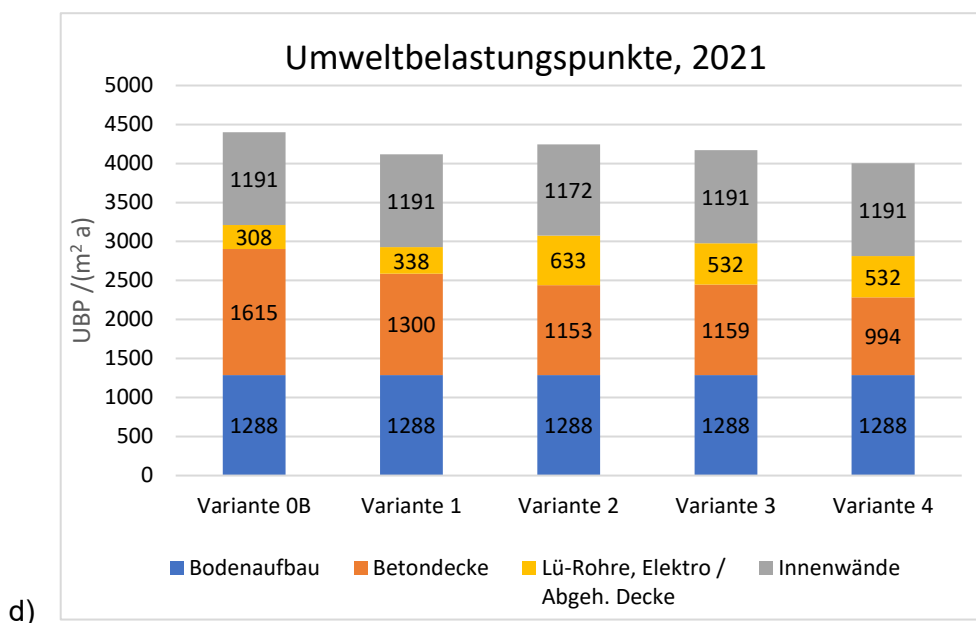
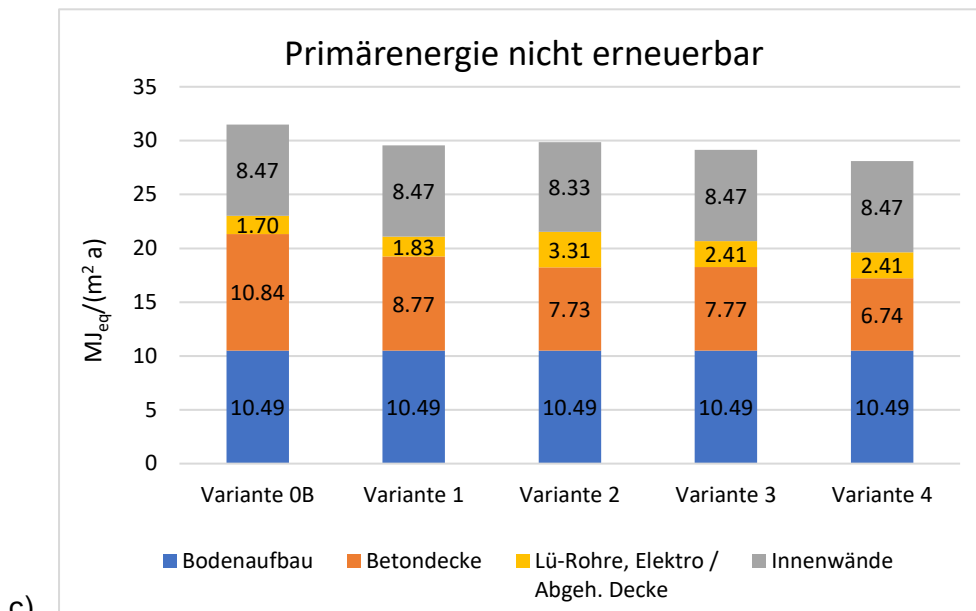


Abbildung 15: a, b, c und d; Aufwand in der Ökobilanz für die 5 untersuchten Varianten (V0B: «28cm Beton, 74kg/m³ Stahl»; V1: «22cm Beton, 80kg/m³ Stahl»; V2: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, abgehängte Decke»; V3: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, sichtbare Leitungen»; V4: «16cm Beton, 89kg/m³ Stahl») anhand von Treibhausgasemissionen (a), Primärenergie total (b), Primärenergie nicht erneuerbar (c) und Umweltbelastungspunkten (d). Der Bodenaufbau wurde dabei, in Abweichung vom SIA Merkblatt 2032, Anhang C (2013), mit einer doppelten Lebensdauer von 60 Jahre angenommen. In dieser Darstellung haben alle Varianten dieselbe Spannweite (3.75 m).

8.2 Bodenaufbau und Unterlagsboden

Die Ökobilanzierungen im Kapitel 7.1 haben gezeigt, dass der statisch nicht relevante Teil der untersuchten Deckenkonstruktionen einen beträchtlichen Teil deren Erstellungsaufwands ausmacht. In der Variante 4 (vgl. Kapitel 6.5) betragen die grauen Treibhausgasemissionen für die Bodenschichten über den tragenden Betondecken rund 30% der Gesamtemissionen des betrachteten Deckensystems. Die 70 mm Anhydrit-Unterlagsboden machen dabei über 10% aus und sie wurden in dieser Studie mit einer Nutzungsdauer von 60 Jahre eingerechnet. Wenn sie, analog dem Parkett und den gängigen Normen, mit einer Nutzungsdauer von 30 Jahre angenommen worden wäre, hätte der Unterlagsboden einen noch grösseren Einfluss auf die Ökobilanz gehabt.

Um diesen Einfluss vertieft zu untersuchen wird eine Sensitivitätsbetrachtung mit folgenden Varianten vom Bodenaufbau durchgeführt:

- Basisaufbau mit 70mm Unterlagsboden *Anhydrit* (siehe Tabelle 1 im Kapitel 5.2 sowie Abbildung 16)
- Variante mit *Zementunterlagsboden*, 85mm stark als Alternative zum Anhydrit (Abbildung 17)
- Variante mit Unterlagsboden im *Trockenaufbau* mit einem Unterlagsbodenelement aus *Holz*, welches für das Einlegen der Bodenheizschlaufen vorbereitet ist, so wie auf dem Markt bereits zur Verfügung steht (Abbildung 18)

Der Aufbau der Variante mit *Zementunterlagsboden* wird identisch wie beim Unterlagsboden aus Anhydrit angenommen. Die grössere Stärke ergibt sich aus dem Unterschied typischer Nenndicken wie Sie sich aus den Anforderungen in SIA 251:2008 ergeben. Der Aufbau für die Variante mit *Trockenaufbau* in Holz ist in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 12 Angenommener Fussbodenaufbau für die Variante mit Trockenaufbau mit einem Unterlagsbodenelement aus Holz. Material, Materialstärken und wichtige Eigenschaften, welcher zur Ermittlung der Ökobilanz anhand der Daten der KBOB Liste (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023) herangezogen wurde.

Material	Dicke	Dichte	Gewicht
	(m)	(kg/m ³)	(kg/m ²)
Parkett 3-Schicht	0.015	ca. 530	7.9
UB-Element aus Buchenholz	0.045	675	30.4
Holzfaserdämmplatte	0.020	148	3.0
Dämmung Glaswolle	0.020	65	1.3
Holzfaserplatte	0.010	240	2.4
Kalksandschüttung	0.04 (0.01...0.1)	1400	56 (14...140)

Bei dem in Tabelle 13 beschriebenen Aufbau hat die Stärke der notwendigen Ausgleichsschüttung einen relevanten Einfluss auf das Ergebnis. Die in der Tabelle angegebene, und in der Berechnung der Sensitivität berücksichtigte Stärke beinhaltet den Bereich zwischen minimaler Schütthöhe (gemäss Hersteller Schüttung) und der

Sind 16cm Beton genug?

Schütthöhe wie im Datenblatt der Systemherstellers angegeben (zur Optimierung des Schallschutzes).

Zudem wird eine Zusatzvariante 5 zu den Deckenkonstruktionen in die Betrachtung mit-einbezogen, mit sichtbar geführten Leitungen sowie einer Betondeckenstärke von 16 cm und gänzlich *ohne Unterlagsboden* (Abbildung 19).

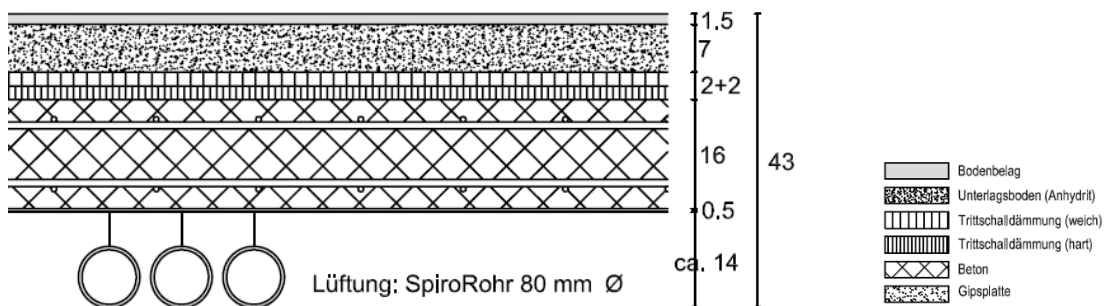


Abbildung 16: Querschnitt Variante 4 «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» mit 70 mm Anhydrit-Unterlagsboden

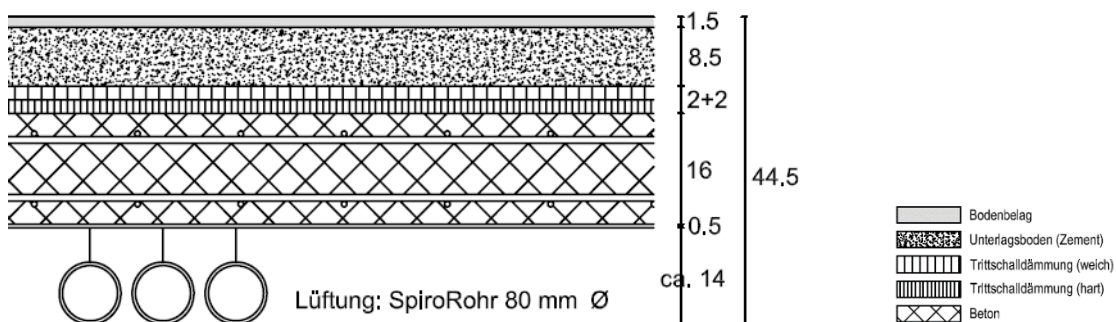


Abbildung 17: Querschnitt Zusatzvariante 4b «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» mit 85 mm Zement-Unterlagsboden

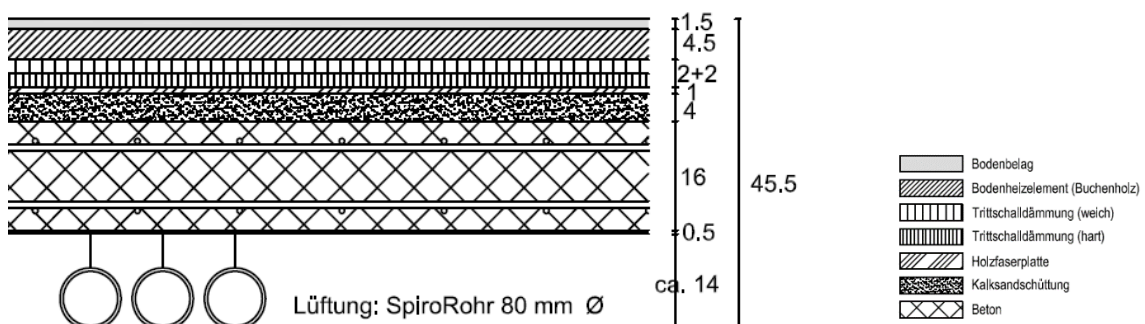


Abbildung 18: Querschnitt Zusatzvariante 4c «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» mit Unterlagsbodenelement aus Holz im Trockenaufbau gemäss Tabelle 13

Sind 16cm Beton genug?

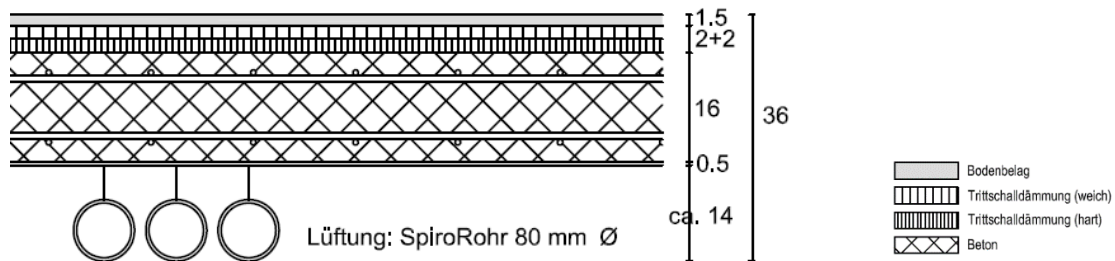


Abbildung 19: Querschnitt Zusatzvariante 5 «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» ohne Unterlagsboden

Die Zusatzvariante 5 basiert auf die den Bodenaufbau der Variante 4. Sie soll so die potenziell minimale Gesamtdeckenstärke repräsentieren. Eine Deckenkonstruktion ohne Unterlagsboden könnte jedoch auch auf die anderen Varianten appliziert werden.

Bei Varianten ohne Unterlagsboden ändert sich zwingend das System der Wärmeverteilung (im wahrscheinlichsten Fall von der Fussbodenheizung im Unterlagsboden zu Radiatoren an der Wand). Die Standardwerte für die aufgewendete Primärenergie unterscheiden sich für diese beiden Heizsysteme bei der Annahme einer gleichen Lebensdauer zwar kaum (Radiatoren benötigen etwas weniger nicht erneuerbare Primärenergie), aber bei den emittierten Treibhausgasemissionen und der Auswertung mithilfe der Methode der ökologischen Knappheit gibt es eine klare Differenz; Die Umweltbelastungspunkte für die Radiatoren sind, bei Annahme einer gleichen Lebensdauer gut 70% höher als die Umweltbelastungspunkte der Fussbodenheizung und bei den Treibhausgasemissionen liegt der Unterschied bei knapp 30% (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023). Die Vorteile der Radiatoren liegen in der gewährleisteten Zugänglichkeit und somit in der Anpassbarkeit. Da sie aber eine kleinere Fläche als die Fussbodenheizung aufweisen, benötigen sie im Betrieb i.d.R. höhere Temperaturen und setzen eine gut gedämmte Gebäudehülle voraus. Ohne Unterlagsboden wird zudem das Schalldämmmass des Deckenaufbaus bedeutend geschwächt. Mit der Zusatzvariante 5 ist demzufolge die Erfüllung der heutigen Mindestschallanforderungen im Normalfall nicht möglich.

Abbildung 20 zeigt den Einfluss der untersuchten Varianten für den Bodenaufbau für die vier Konzeptvarianten anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Die Spannweite zwischen der günstigen und ungünstigen Berechnungsvariante wird dabei durch den Fehlerbalken in der Graphik gezeigt. Je nach Variante ist die Variationsbreite im Bereich von gut 12% (Variante 0A) bis knapp 14% (Variante 4) der gesamten Treibhausgasemissionen der jeweiligen Variante. Dabei ist der günstigste Aufbau in Variante 4 (Trockenaufbau mit einem Bodenheizelement aus Holz mit geringer Ausgleichsschüttung) nur unwesentlich (knapp 2%) schlechter als der Aufbau ohne Unterlagsboden der zusätzlichen Variante 5. Im Unterschied zu Variante 5 kann bei den in Variante 1 bis 4 untersuchten Aufbauten eine Bodenheizung eingebaut werden.

Mit Bezug auf die Systemtrennung ist es erwähnenswert, dass mit dem untersuchten Trockenaufbau die Systemtrennung und der sortenreine Rückbau in einfacher Weise gewährleistet ist.

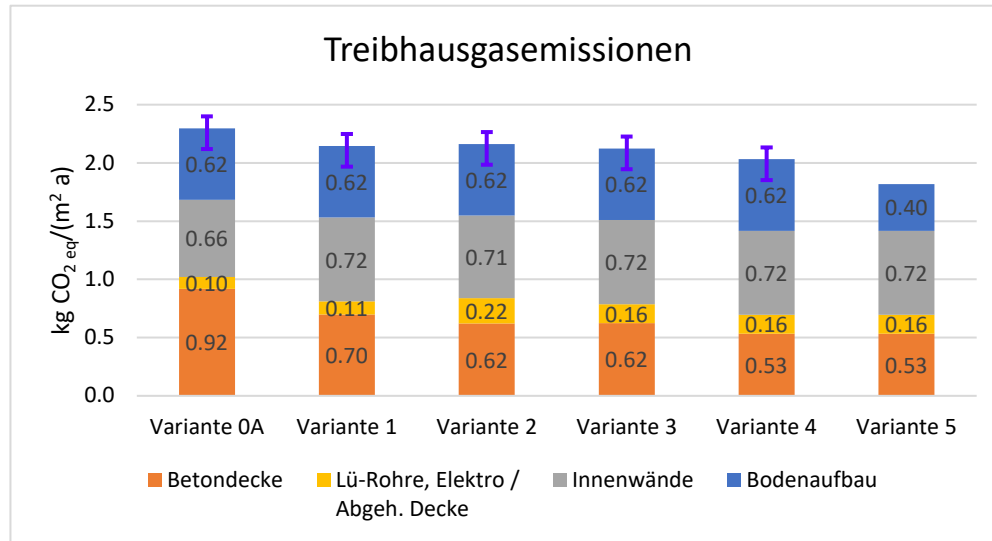


Abbildung 20: Einfluss der untersuchten Varianten für den Bodenaufbau für die 4 verschiedenen Varianten anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Die Spannweite des Fehlerbalkens zeigt die Ergebnisvariation zwischen den betrachteten Aufbauten. Vergleichs halber ist in der Abbildung auch die Variante 5 ohne Unterlagsboden dargestellt.

Wird der Vergleich der Varianten für den Bodenaufbau mit anderen Indikatoren durchgeführt (Umweltbelastungspunkte, Primärenergie) ist die Differenz des günstigsten Aufbaus in Variante 4 zur Variante 5 mit einer Differenz von 3-6% grösser. Dazu anzumerken ist, dass beim Indikator der nichterneuerbaren Primärenergie die Basisvariante mit dem Anhydrit Unterlagsboden am ungünstigsten abschneidet. Beim Indikator der Primärenergie gesamt weist das Bodenheizelement aus Holz aufgrund des hohen erneuerbaren Energieanteils in der Konstruktion die höchsten Werte auf.

8.3 Betonsorten

In den Berechnungen zur Ökobilanz der Varianten 0 bis 4 (Kapitel 7.1) wurde standardmässig die vom AHB verwendete Recyclingbetonsorte NPK A, CEM III/B, RC-C50 angenommen. Zur Untersuchung welche Auswirkung der Wahl der Betonsorte im Vergleich zur untersuchten Verjüngung der Betondecke haben kann, wurden alternative Betonzusammensetzungen untersucht. Als ungünstigere Variante wird dabei der Standardhochbaubeton aus der KBOB-Liste (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023) angenommen. Dieser entspricht einem Beton NPK C z.B. C30/37 mit einer Mischung aus 45% CEM II/A, 45% CEM II/B CH-Mix und 10% CEM I. Als günstigere Variante wird ein Beton mit CO₂-Einspeicherung untersucht. Dieser entspricht einem Beton NPK A, CEM

Sind 16cm Beton genug?

III/B, RC-C50, z.B. System Neustark. Bei dieser Variante wird die CO₂-Einspeicherung in Abbildung 15 mit eigerechnet, um den deren Einfluss auf die Ökobilanz aufzuzeigen. Ohne Einbezug der CO₂-Einspeicherung würde dieser Beton ähnlich (bzw. minim schlechter) wie die Standardvariante abschneiden.

Tabelle 12 zeigt die für die Basisberechnung und diese Sensitivitätsbetrachtung verwendeten Betonzusammensetzungen.

Tabelle 13 Für die Sensitivitätsbetrachtung der Betonsorten hinsichtlich der Ökobilanz verwendete Betontypen

Kennwert	Standardvariante AHB Standardbeton	Günstigere Variante (mit Einspeicherung)	Ungünstigere Variante Standardbeton KBOB *)
Anwendungsbereich	Hochbaubeton, NPK A	Hochbaubeton, NPK A	Hochbaubeton NPK C entsprechend (z.B. C30/37)
Zementtyp	CEM III/B	CEM III/B	Mix aus 45% CEM II/A; 45% CEM II/B CH-Mix, 10% CEM I
Betonbezeichnung	Recyclingbeton RC-C	Recyclingbeton RC-C	Beton aus Primärrohstoffen
Rohdichte	2190 kg/m ³	2190 kg/m ³	2300 kg/m ³
In Beton einge- speichertes CO ₂	0 kg/m ³	10 kg/m ³	0 kg/m ³
Zusammensetzung Zuschlagstoffe			
Anteil natürliche Gesteinskörnung Ru	50%	50%	90%
Anteil Betongranulat Rc	50%	50%	5%
Anteil Mischgranulat Rb	0%	0%	5%

*) Unspezifischer Hochbaubeton (Durchschnitt der NPK-Betonsorten für Anwendung im Hochbau); KBOB ID 01.002

Die Berechnung der Ökobilanzdaten für den AHB-Standardbeton sowie die günstigere Variante wurde mit dem Betonsortenrechner für Planer:innen⁴ (v3, Oktober 2022) erstellt. Die Ökobilanzdaten für die ungünstigere Variante stammen aus den Daten für den Hochbaubeton (ID 01.002) der KBOB-Liste Version 4 (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023).

Abbildung 21 zeigt den Einfluss der alternativ eingesetzten Betonsorten für die 5 im Bericht mit dem «AHB-Standardbeton» untersuchten Varianten anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Die Spannweite zwischen der günstigen und ungünstigen Berechnungsvariante wird dabei durch den Fehlerbalken in der Graphik gezeigt. Je nach Variante weist die günstigere Betonvariante (mit Einberechnung der CO₂

⁴ Online verfügbar unter: https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLBetonsorten22d_v6/Oekobilanzrechner_Betonsorten_Planende_2022_deutsch_v6_UVEK2022.htm

Einspeicherung) im Bereich von 2.0% (Variante 4, «16 cm») bis 2.5% (Variante 0A, «28 cm») tiefere gesamte Treibhausgasemissionen im Vergleich zum AHB-Standardbeton auf. Mit der ungünstigeren Betonvariante (KBOB Standardbeton) resultiert eine Erhöhung der gesamten Treibhausgasemissionen der jeweiligen Variante um 22.7% (Variante 4, «16 cm») bis 28.5% (Variante 0A, «28 cm») im Vergleich zum AHB-Standardbeton.

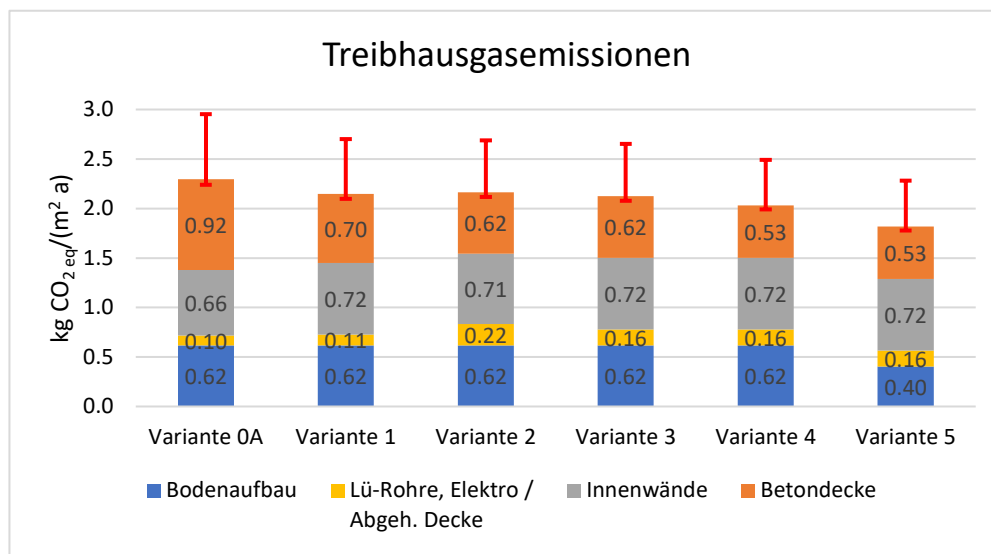


Abbildung 21 Einfluss der eingesetzten Betonsorte für die 5 verschiedenen Varianten anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Spannweite des Fehlerbalkens zeigt die Variation zwischen den betrachteten Betonsorten.

Fazit:

Der Sensitivitätsuntersuchung zeigt eindrücklich, dass die Wahl einer treibhausgasreduzierten Betonsorte beim Indikator der Treibhausgasemissionen von grosser Relevanz ist. Mit der Wahl einer ungünstigeren Betonsorte («KBOB Standardbeton») würde die im Vergleich der Betondeckenstärkenvarianten am besten abschneidende Variante 4 («16 cm») rund 11.3% mehr Treibhausgasemissionen aufweisen als die am schlechtesten abschneidende Variante 0A («28 cm») mit der günstigeren Betonsorte (mit CO₂ Einspeicherung). Mit dem «AHB-Standardbeton» gerechnet schneidet die Variante 0A immer noch 8.5% besser ab als die Variante 4 («16 cm») mit dem «KBOB-Standardbeton»). Detaillierte Angaben zu den Berechnungen finden sich im Kapitel 13.1 Ökobilanzen. Die Analyse legt ansehnlich dar, wie gross das Optimierungspotential der Betonsortenwahl im Vergleich zu derjenigen mit der Reduktion der Deckenstärken sein kann. Vorschriften zu CO₂-optimierten Betonsorten machen in Zusammenhang mit dem Netto-Null-Ziel nicht nur Sinn, sie sind zur Zielerreichung wahrscheinlich unentbehrlich.

8.4 Elektroleitungen

Um den Einfluss der Elektroinstallationen sowie des Umgangs mit Elektroleitungen innerhalb der Wohnung auf das Gesamtergebnis des Deckenvergleichs aufzuzeigen, wurden die Aufwendungen für die Elektroverteilung der Installationen von Licht und Steckdosen in die Ökobilanz miteinbezogen.

Da der Aufwand für diese Installationen sehr stark vom effektiven Ausbau abhängig ist, wurde für die Abschätzung eine grobe Planung der Standorte und der Anzahl der Lampenstellen, Steckdosen und Schalter erstellt. Die Planung wurde sowohl für die Varianten mit eingelegter bzw. Unterputz UP ausgeführter Elektroverteilung (V0, V1) als auch für die Varianten, bei denen die Elektroleitungen Aufputz AP (anstatt in der Wand) bzw. über dem Rohboden (kreuzungsfrei in der unteren Trittschalldämmschicht unterhalb des Unterlagsbodens verlegt anstatt in der Betondecke eingelegt) geplant werden (V3, V4). Die Variante 2 mit abgehängter Decke im Gangbereich unterscheidet sich in der Installationsbilanz unwesentlich von den Varianten 0 und 1 mit eingelegter Leitungsführung.

Bei Konzepten, bei welchen Elektroleitungen nicht in den Betondecken geführt werden, wird häufig auf fixe Lampenstellen an der Decke verzichtet. Stattdessen werden Steckdosen an der Wand, direkt unterhalb des Deckenanschlusses geplant. Der Anschluss der allfälligen Deckenlampe ab der Steckdose wird von den Bewohnenden selbst bewerkstelligt. Das schränkt die Auswahl von ästhetisch befriedigenden Lampenlösungen unter Umständen ein, dafür kann die Lampenstelle mit der Möblierung selbst bestimmt werden.

Wird die horizontale Elektroverteilung in der Wohnung in der Trittschalldämmebene unterhalb des Unterlagsbodens geplant, also nicht im Mauerwerk oder in der Betonwand geführt, sind die Leitungen ab Boden zu den Steckdosen AP bzw. sichtbar geführt. Abbildung 23 zeigt die angenommenen Wandsteckdosen für die Deckenlampen, Dreifachsteckdosen und Lichtschalter für die Varianten 3 und 4 zur Ermittlung der sichtbar geführten Elektroleitungen innerhalb der Wohnung. Abbildung 22 zeigt eine konventionelle Anordnung der Deckenlampen, Lichtschalter und Dreifachsteckdosen für die Varianten 0 und 1. Der Standard der Installationen wurde bei Varianten gleich angenommen.

Eine Ausführung mit sichtbarer Leitungsführung bringt i.d.R. einen bedeutenden Planungsmehraufwand und Mehrkosten mit sich. Eine kreuzungsfreie Leitungsführung in der Dämmschicht und die Einhaltung der Schallanforderungen sind dementsprechend anspruchsvoll, ebenfalls die Einhaltung der Vorschriften in den Nasszellen. Die Leitungsführung und die Übergänge vom Korridor zu den Zimmern können aufwändig sein und längere Distanzen bedeuten. Die schwierigen Umstände haben jedoch oftmals auch eine Reduktion des Installationsgrades zur Folge. Wichtig ist, dass der gTHG-reiche Unterlagsboden nicht stärker gebaut werden muss als ohne im UB eingelegt Elektrorohre. Solche Aspekte sind sehr projektspezifisch und wurden bei der Ökobilanzierung nicht

detailliert berücksichtigt. Die Annahmen zu den zwei Beispielplanungen und die daraus bestimmten Leitungslängen sind im Anhang in Kapitel 13.3 dargestellt.

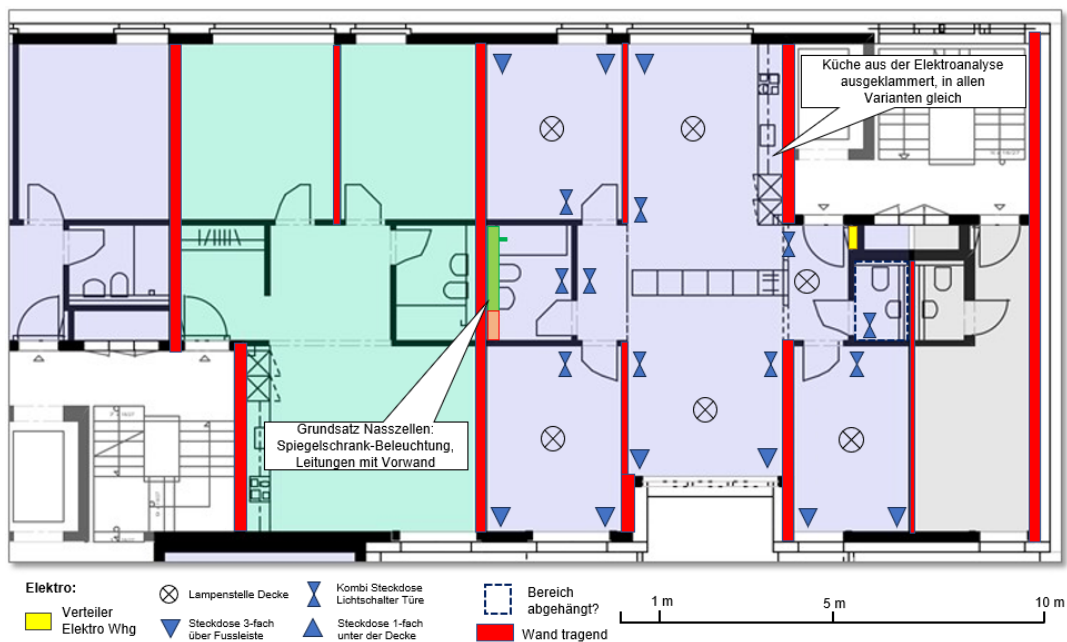


Abbildung 22: schematischer Grundriss zu den Variante 0 und 1 mit konventioneller, grundsätzlich eingelegter Elektroinstallationsausführung. Eingezeichnet sind die Lampenstellen an der Decke, Lichtschalter und Dreifach-Steckdosen in den Räumen (i.d.R. 20 cm über dem Boden).

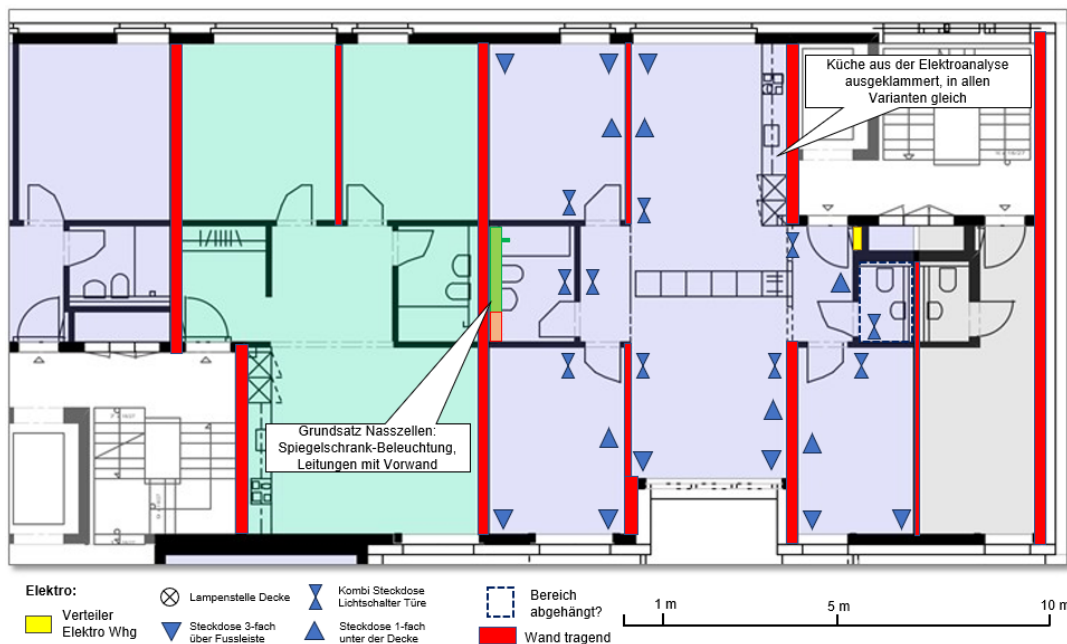


Abbildung 23: schematischer Grundriss zu den Variante 3 und 4 mit nicht im Beton eingelegter und an der Wand sichtbaren Elektroinstallationsausführung. Eingezeichnet sind die Wand-Steckdosen unmittelbar unterhalb der Decke für die Deckenlampen, Lichtschalter und Dreifach-Steckdosen in den Räumen (i.d.R. 20 cm über dem Boden).

Sind 16cm Beton genug?

Die im Kapitel 7.1 Ökobilanzen berücksichtigten Aufwendungen für die Elektroleitungen sind in den Balkendiagrammen der Abbildung 13 und in der folgenden Abbildung 24 im Bereich «Lü-Rohre, Elektro, Abgeh. Decke» enthalten.

Da bei den Aufputz geführten Leitungen je nach ästhetischem Anspruch an die sichtbare Verkabelung ein Unterschied in den für die Installationsrohre verwendeten Materialien auftreten kann, wurde eine Analyse zum Einfluss auf die Ökobilanz durch eine unterschiedliche Materialisierung durchgeführt. Dazu werden zusätzlich Materialisierungsvariationen für die Variante 3 separat für den Indikator der Treibhausgasemissionen dargestellt. Vergleichshalber sind in Abbildung 24 und Abbildung 25 die Emissionen für die Erstellung der Variante 1 («22 cm Beton», GT eingelegt), der Variante 2 («20 cm Beton», abgehängte Decke) sowie der Materialisierungsvariationen zur Variante 3 dargestellt mit folgenden Annahmen zur sichtbaren Elektroinstallation:

- Standard Variante 3: Aufputz Installationsrohr M20 KIR Rohr aus Polypropylen
- Variante 3 ALU: Aufputz Installationsrohr M20 aus Aluminium
- Variante 3 INOX: Aufputz Installationsrohr M20 aus Inox V2A

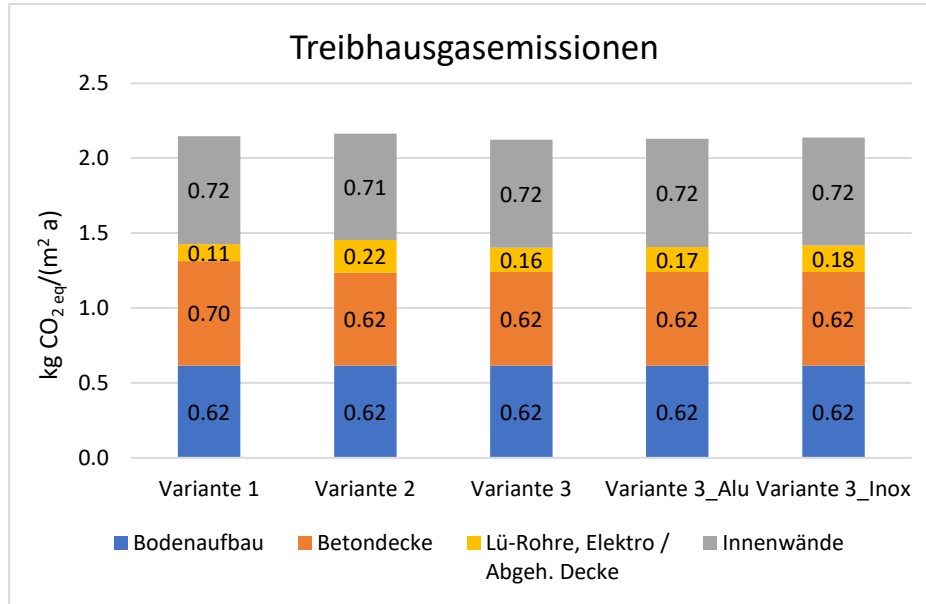


Abbildung 24: Einfluss für die untersuchten Varianten der Materialisierung der Aufputz geführten Elektroleitungen anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Graphik beinhaltet die Gesamtbilanz inkl. Bodenaufbau, Betondecken und Wände.

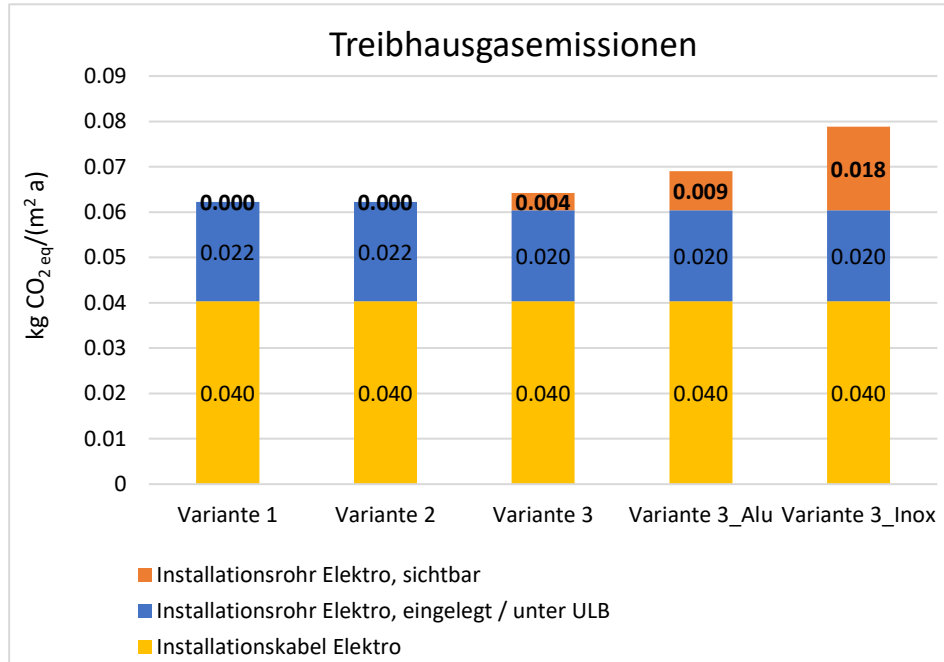


Abbildung 25: Einfluss für die untersuchten Varianten der Materialisierung der Aufputz geführten Elektroleitungen anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Graphik beinhaltet nur die Materialien für die Elektroverteilung. Bei den eingelegten Installationsrohren wurde bei der Führung unterhalb des Unterlagsbodens eine Mehrlänge von 10% gegenüber dem Einlegen in der Betondecke angenommen. Bei letzterem verkürzen sich die Wege, weil keine Rücksicht auf die Zimmerwände genommen werden muss.

Abbildung 25 und die Ökobilanztabellen der untersuchten Varianten im Kapitel 13.1 zeigen, dass die betrachtete Elektroinstallation für Steckdosen, Lichtschalter und Lampenstellen innerhalb der Wohnung einen untergeordneten Beitrag an die gesamten Treibhausgasemissionen leisten. Bei den Varianten 1 («22 cm», optimiert eingelegt) und 2 («20 cm», abgehängte Decke) beträgt der Anteil der Elektroinstallation etwa 2.9% der Gesamtemissionen der Variante. Bei der Variante 3 in der Standardausführung (Installationsrohre aus Polypropylen) machen die betongetrennte und zu grossen Teilen sichtbar verlegte Elektroinstallation ebenfalls etwa 3% der Gesamtemissionen der Variante aus. Mit der ungünstigsten Materialvariation (Installationsrohre aus Inox V2A) beträgt der Anteil 3.7% der Gesamtemissionen der Variante 3.

Abbildung 26 zeigt die Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Elektroinstallationskonzepten im direkten Vergleich. Die sichtbare Verlegung bedeutet bei gleichbleibender UB-Stärke mit der ungünstigsten Materialisierung (Inox V2A) bei den getroffenen Annahmen zu den Leitungslängen knapp 27% mehr Emissionen für die Elektroinstallation als die konventionell mit Einlegen ausgeführte Variante 1. Aufgrund der Ergebnisse drängt sich bei einer sichtbaren Verlegung die Verwendung von Alurohren auf. Deren Ökobilanz ist ähnlich derjenigen von Kunststoffrohren ähnlich, das Versprödungsrisiko durch Tageslicht entfällt hingegen.

9 Fazit und Ausblick

9.1 Fazit

Sind 16 cm Betonstärke genug? Grundsätzlich ja! Wie erwartet hat sich gezeigt, dass die Variante mit den 16 cm Deckenstärke zu den kleinsten Treibhausgas-Emissionen führt. Bezüglich Wirtschaftlichkeit, Schalldämmung und Ästhetik sind bei 16 cm dicken Betondecken aber Kompromisse notwendig.

Aus **statischer Sicht** stellt die Dimensionierung von 16 cm Betondecken für übliche Spannweiten im Wohnungsbau bei Projekten mit einem konsequenten Lastabtragungskonzept kein Problem dar. Eine statisch notwendige Erhöhung des Bewehrungsgehalts ist für die Treibhausgasemissionen der Deckenkonstruktion insgesamt weniger ausschlaggebend als der Beton selbst. Ressourcenschonung kann dementsprechend durch Materialsuffizienz erreicht werden.

Bezüglich Schalltrennung sind Deckenstärken von 16 cm aus Sicht des Luft- und Trittschalls theoretisch umsetzbar. Anhand von Schallnachweisen nach SIA sowie gängigen digitalen Werkzeugen zur Berechnung der Schallnebenwege erfüllt eine 16 cm Decke im Idealfall knapp die Mindestanforderungen an den Schallschutz. Dies erfordert eine saubere Detailplanung und Ausführung, aber auch eine auf den Schallschutz optimierte konzeptionelle Planung sowie Raumanordnung. Laut Fachkundigen wird eine Ausbildung in dieser Form in der Baupraxis kaum umgesetzt, da für viele Sonderlösungen spezielle Schallnachweise geliefert werden müssen. Der Planungs- und Nachweisaufwand steht dabei gemäss Aussagen der miteinander bezogenen Fachleute – zumindest so lange die explizite Reduktion der Treibhausgasemissionen nicht gefördert oder zur Pflicht wird – nicht im Verhältnis zum Ertrag. Mit einer Deckenstärke von 20 cm kann bei fachgerechter Ausführung die Mindestanforderungen einfach eingehalten werden, ab 22 cm die erhöhten Schallanforderungen.

Grundvoraussetzung für die reduzierten Deckenstärken ist der Verzicht auf **Einlagen**. Solche widersprechen einerseits den Prinzipien der Systemtrennung und erschweren das zirkuläre Bauen. Einerseits resultieren durch das Einlegen – insbesondere bei Sanitärleitungen – bedeutend grössere Deckenstärken als statisch oder aus Gründen der Schalltrennung notwendig wären. Andererseits führt das Kreuzen der typischerweise 9 cm dicken, eingelegten Lüftungsleitungen ebenfalls zu unnötig dicken Betondecken. **Durch den Verzicht auf Einlegen der Sanitärleitungen sowie auf das kreuzungsfreie Verlegen von Lüftungsleitungen genügen 22 cm Betondeckenstärken zur Einhaltung der erhöhten Schallanforderungen.** Der Reflex vieler Bauphysiker, bei Einlagen automatisch eine Betonstärke von 26 cm zu fordern, führt zu unnötigen grauen Emissionen.

Eine 16 cm dicke Betonstärke wird heutzutage aus **ökonomischer Sicht** nicht mehr angestrebt. Die Rohstoffpreise für Beton und Bewehrungsstahl rechtfertigen den zusätzlichen Berechnungsaufwand im Zuge einer Materialminimierung unter Erfüllung aller notwendiger bauphysikalischer und statischer Anforderungen nicht. Ganz im Gegenteil: Das

optimierte Einlegen von Lüftungs- und Elektroleitungen in einer 22 cm starken Betondecke führt in der Regel zur kostengünstigsten Lösung in Planung und Ausführung. Sie bildet zudem auch die Basis zur möglichen Einhaltung der erhöhten Schallschutzanforderungen. Die Argumente machen die Lösung beim gemeinnützigen Wohnungsbau interessant.

Aus **ästhetischer Sicht** verlangen sichtbar verlegte Leitungen einen ansprechend feinfühligem Umgang mit Materialien, Farben, Positionierung und Leitungsführung. Die Kompetenzen von Planenden und Ausführenden sind besonders verlangt. Dies führt in der Regel zu einem bedeutend höheren zeitlichen Aufwand als bei eingelegten Systemen. Auch die Akzeptanz der Nutzenden ist nicht immer gegeben. Mit der Aufnahme des zirkulären Denkens als wahrnehmbaren Trend in der zeitgenössischen Architektur wächst aber auch die Anzahl guter gebauten Beispiele mit sichtbaren technischen Installationen im Wohnungsbau.

Im Rahmen des untersuchten Beispiels in dieser Studie konnte aufgezeigt werden, dass eine Reduktion der Deckenstärke Einsparungen in Bezug auf **Ressourcen, Primärenergie und Treibhausgasemissionen** bewirken kann. Mit der Reduktion sind unter Umständen aber auch Einbussen verbunden. Beim Schall weist eine 22 cm starke Betondecke eindeutige Vorteile auf, weil dadurch die erhöhten Schallschutzanforderungen erfüllt werden könnten. Investitionskosten lassen sich bei der aktuellen Preislage ebenfalls reduzieren. Mit einer abgehängten Decke kann zwar die Systemtrennung besser gewährleistet werden, die Raumhöhe wird jedoch unter Umständen reduziert und eine Aktivierung der thermischen Masse verhindert. Zudem liegt die Einsparung der Treibhausgasemissionen durch die Reduktion der Betondeckenstärke im Bereich des Erstellungsaufwands für die abgehängte Decke.

Die **16 cm Betondecke ist mit einer guten Planung realisierbar** und sinnvoll, das Risiko einer unsachgemässen Ausführung und nachträglicher Probleme oder Haftungsfragen, beispielsweise bezüglich Schalls, so gross, dass sich der notwendige **planerische und konzeptionelle Mehraufwand** dafür heute noch kaum lohnt.

Die **Wahl der richtigen Lösung** bezüglich der Betondeckenstärke muss mit einer **Gewichtung der erwähnten Aspekte** erfolgen. Dabei stellt sich die grundsätzliche Frage, ob das klimagerechte Bauen und somit die **Reduktion der Treibhausgase** zum langfristigen Wohl von Mensch und Umwelt über der unmittelbaren **Behaglichkeit** (hier primär Schall) und der **ökonomischen Betrachtung** gestellt werden kann. Die Antwort ist nicht eindeutig und muss projektspezifisch und in Abhängigkeit der jeweiligen Ziele und Bedürfnissen der Bauherrschaft bei der Bauaufgabe erfolgen.

Demgegenüber konnten **potenzielle Hebel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen** dargelegt werden, welche mit weniger Aufwand und Nachteilen angewendet werden können wie die Auswahl einer CO₂-armen Betonsorte, wie sie in Projekten der Stadt Zürich bereits praktiziert wird, oder – mit einer weniger ausgeprägten Wirkung – einer

alternativen Unterlagsbodenmaterialisierung. Da können allgemeingültige Empfehlungen für anzugehende Bauvorhaben abgegeben werden.

Andere Aspekte, die in der Studie ausgeklammert wurden, könnten projektspezifisch eine höhere Relevanz haben. Im Zuge einer erweiterten Analyse könnte sich der Miteinbezug der Fassade in der Betrachtung als sinnvoll erweisen. Die Gebäudehülle geht üblicherweise als energieintensivster Parameter eines Gebäudes aus der Bilanz hervor. Sie kann bis zu 31% der Grauen Energie eines Gebäudes ausmachen (wbcsd, 2021). Es stellt sich somit die Frage nach der Auswirkung des Anschlusses der Geschossdecke an die Fassade bei verschiedenen Deckenstärken und Konstruktionen. Diese kann auf die Fassadenhöhe eine Auswirkung haben. Wenn dünnere Deckenstärken die Fassadenhöhe insgesamt reduziert und somit mehr Geschosse realisiert werden können, kann allenfalls ein Beitrag zur urbanen Verdichtung geleistet werden.

9.2 Ausblick

Um das übergeordnete Ziel der Dekarbonisierung im Bauwesen zu erreichen und den Klimawandel zu entschleunigen, können mehrere Hebel als zielführend gelten. Auch wenn Zirkularitätspotenziale mit der heutigen Normgebung kaum quantifizierbar sind kann die Hierarchie der Zirkularitätsprinzipien eine Orientierung bieten.

Das übergeordnete übergeordnete Ziel des Umdenkens «Rethink» mit Priorisierung von Materialminimierung «Refuse» und -reduktion «Reduce» unter Gewährleistung von Instandsetzungsarbeiten «Repair» über den gesamten Lebenszyklus bis hin zu der Wiederverwendung «Reuse» gesamter Bauteile legt die ersten Weichen für ein gesamtheitliches emissionsarmes und nachhaltiges Konzept. Insgesamt stellt sich dabei auch die Frage der Nutzerakzeptanz gegenüber klimagerechten und zirkulären Ansätzen. Bei offener Leitungsführung ist die Materialisierung für die Ökobilanz massgeblich. Spirorohre, welche einen energieintensiven Verzinkungsprozess durchlaufen, können eine andere Materialisierung erhalten und somit graue Energieersparnis liefern, z.B. durch die Behandlung mit einem Zink-Magnesium-Überzug, eine gezielt eingesetzte Legierung. Mit Zink-Magnesium können die Überzugdicke und der Energieaufwand bei der Herstellung reduziert werden, während dennoch die Korrosionsbeständigkeit erhalten bleibt (Stahl-Informations-Zentrum, 2012).

Die Berücksichtigung des technologischen Fortschritts kann langfristig neue Chancen eröffnen. Es können Alternativen zu Stahlbeton evaluiert werden, wie beispielsweise Carbonbeton: Statt Baustahl dienen textile und stabförmige Strukturen aus hochzugfesten Carbonfasern als Bewehrungsmaterial, wodurch die Lebensdauer erhöht sowie Ressourcen und CO₂-Emissionen eingespart werden sollen. Heute bedingt jedoch Carbon noch höhere Emissionen als Stahl. Neben der technologischen Entwicklung kann selbstverständlich auf bewährte Materialalternativen wie der Holzbau zurückgegriffen werden.

Diese bilden insbesondere im Wohnungsbau eine valable Option zur Verringerung der Treibhausgasemissionen.

Die emissionsintensive Zementherstellung bietet Optimierungspotential. Die chemische Reaktion im Herstellungsprozess bedingt das Entweichen von Treibhausgasen und weder die maximale Reduktion der endlichen mineralischen Ressource Kalkstein noch die Substitution durch Energie aus erneuerbaren Quellen können in naher Zukunft eine klimafreundliche Lösung anbieten. Langfristig könnten geeignete Verfahren zur mineralogischen Bindung von CO₂-Abscheidungen im Brennprozess (Carbon Capture and Storage, CCS) oder die direkte CO₂-Weiterverwendung (Carbon Capture and Utilisation, CCU) allerdings die Bilanz für Betone verbessern. Weitere Forschungsgebiete umfassen effizientere Zemente und Bindemittel sowie wasserstoff- und strombasierte Herstellungsweisen. Auch der bereits etablierte Beton aus Abbruchmaterial mit natürlichen Bindemitteln (wie beispielsweise in neuen Entwicklungen des Herstellers Oxara) könnte Ressourcen sparen und CO₂-Emissionen senken (VDZ, 2020).

Gekapselte Bauteile können mitunter den gleichen Brandschutz gewährleisten und eine Leitungsführung in Bauteilebene ermöglichen. Für Alternativen in Holz-Verbund-Bauweise gibt es bereits etliche gebaute Beispiele. Unter anderem das Projekt «Arborea» in Bern wurde im Holz-Beton-Verbund (Brettstapeldecke) erstellt. Es gilt die Vorteile aller notwendigen Materialien der Baukonstruktion bestmöglich auszunutzen, um durch eine Materialeffizienz eine Materialsuffizienz zu ermöglichen.

Wie die Untersuchung bewiesen hat, sind praxisübliche Lösungen langfristig nicht immer nachvollziehbar. Aus ökologischer Perspektive, aber auch im Zuge von wirtschaftlichen Veränderungen die angepasste Lebenszykluskosten-Berechnungen erfordern, kann das Hinterfragen von etablierten Normen und Konventionen zielführend sein. Es gilt demnach zu überprüfen, ob die Anforderungen an den Schallschutz für den Wohnungsbau zwischen Wohneinheiten in der heutigen Form sinnvoll sind, und wo Anpassungen tragbar wären. Auch ob eine Überarbeitung im Zuge einer anderen Priorisierung im Hinblick auf den voranschreitenden Klimawandel ein geeignetes Werkzeug ist, um Graue Treibhausgasemissionen zu senken. Da sich Altbauten nach wie vor grosser Beliebtheit erfreuen trotz geringerem Schallschutz und nicht vorhandenen Fussbodenheizungen, kann eine gewisse Toleranz von Seiten der Nutzenden vorausgesetzt werden. Dennoch senkt der fehlende Komfort auf der anderen Seite selbstverständlich den Anreiz in Neubau zu investieren. Diese Massnahmen müssten sich also auch im Kauf- und Mietpreis widerspiegeln.

Auch die Verwendung von Gebäudetechniksystemen mit sichtbarer Leitungsführung ist im Wohnungsbau unüblich, bei Schmutzwasserleitungen aufgrund der Schallemissionen unzulässig. In Büro- und Verwaltungsgebäuden finden sich jedoch bereits viele gebaute Beispiele mit hoher ästhetischer Qualität der sichtbaren Leitungsführung (siehe Kapitel 13.4.9, Patch 22, Amsterdam). Die Übertragbarkeit solcher Lösungen ist denkbar und

Sind 16cm Beton genug?

zukunftsweisend. Sie finden auch steigende Akzeptanz unter Bauschaffenden und Bewohnerschaft.

10 Literaturverzeichnis

- AfU. (November 2021). Schalldämmung nach Norm SIA 181 (2020): Anforderungen an die Schalldämmung der Trennbauteile. *Schalldämmung nach Norm SIA 181 (2020): Anforderungen an die Schalldämmung der Trennbauteile*. Bern, Schweiz. Von Praxisblatt%20Schalldammung%20SIA%20181.pdf abgerufen
- Albert, A., Denk, H., Mertens, M., & Nitsch, A. (2007). *Spannbeton-Grundlagen und Anwendungsbeispiele*. Werner Verlag.
- Balzer Ingenieure. (2011). *Deckenstärke*. Baar.
- CSD Ingenieure AG. (2019). *Konzeptstudie nachhaltiger Betonbau*.
- DIN. (2016). DIN 18015-3 Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 3: Leitungsführung und Anordnung der Betriebsmittel. Deutsches Institut für Normung.
- Huber, H. S. (2022). *Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten*. Bern: energieschweiz/BFE.
- Kanton Zürich. (30. 03 2022). *www.zh.ch*. Von *www.zh.ch/de/politik-staat/gesetzbeschluesse/gesetzessammlung:*
[http://www2.zhlex.zh.ch/appl/zhlex_r.nsf/WebView/9CB6E2529121951EC125877600202B2D/\\$File/700.1_7.9.75_115.pdf](http://www2.zhlex.zh.ch/appl/zhlex_r.nsf/WebView/9CB6E2529121951EC125877600202B2D/$File/700.1_7.9.75_115.pdf) abgerufen
- KBOB. (2022). *Materialpreisindizes*. Zürich: KBOB.
- KBOB. (15. 7 2024). KBOB Liste Ökobilanzdaten im Baubereich - KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022, Version 4. Bern, Zürich, Bern. Von Neue Version der :
https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html abgerufen
- Koliha, M. (2016). Leitfaden zur Wahl der optimalen Deckenkonstruktion (Diplomarbeit). Wien, Österreich: TU Wien.
- Lang, J. (2006). *Schallschutz im Wohnungsbau*. Wien: TU Wien.
- Settembrini, G., Kretschmer, A., Pidoux, A., Primas, A., Hofstetter, S., & Huber, H. (2022). *Alternative Materialien für Lüftungsanlagen. Reduktion von Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen bei Lüftungen*. Zürich: AHB.
- SIA. (2008). Merkblatt 2032 Lüftung in Wohnbauten. Zürich.
- SIA. (2013). Merkblatt 2032, Anhang C. *Graue Energie von Gebäuden. Korrigenda C1 zu SIA 2032:2010*. Zürich, Schweiz: SIA.
- SIA. (2017). Merkblatt 2040: 2017 Bauwesen; SIA-Effizienzpfad Energie. Zürich: SIA.
- SIA. (2020). SIA Norm 181:2020 Schallschutz im Hochbau. Zürich: SIA.
- Stadt Zürich. (9. 3 2022). *Stadt Zürich*. Von Stadt Zürich: Hochbaudepartement: www.stadt-zuerich.ch abgerufen
- Stadt Zürich Immobilien. (2015). *Richtlinie für die Flächenerfassung und Erstellung von Bewirtschaftungsplänen (RFB)*. Zürich: Stadt Zürich.
- Stahl-Informations-Zentrum. (2012). *Zink-Magnesiumveredelte Feibleche*. Düsseldorf: Stahl-Iformations-zentrum.

- Suissetec. (12 2021). *MERKBLATT 12 I 2021 Einlagen in Beton - Gebäudetechnik (HLKS)*. Zürich: Schweizerisch-Liechtensteinischer Gebäudetechnikverband (suissetec).
- Thiele, C. (2007). *Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetondecken mit integrierten Leitungsführungen*. Kaiserslautern: Fraunhofer IRB.
- Treeze ltd. (2020). Betonsortenrechner für Planende (basierend auf KBOB Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016). Zürich, Schweiz.
- United Nations Environment Programme UNEP, C. P. (12. 09 2022). *UNEP.org*. Von <https://www.unep.org/circularity> abgerufen
- VDZ. (2020). *Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Eine CO2 Roadmap für die deutsche Zementindustrie*. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ).
- wbcsd. (2021). *Net zero buildings: Where do we stand?* Genf: World Business Council for Sustainable Development .
- WWF. (2019). *Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie. Hintergrund und Handlungsoptionen*. Berlin: WWF Deutschland.

Weitere Quellen finden sich in der Literaturrecherche 13.3.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Einlagen von gebäudetechnischer Verteilungsleitungen vor dem Betonieren von Decken. Oben links: ein «Extremfall» zu Rohreinlagen in Decken aus Schweizer Baudokumentation – baudokumentation.ch Oben rechts: Bild von Einlagen im Wohnungsbau aus dem *suissetec* Merkblatt 12 – 2021 «Einlagen in Beton – Gebäudetechnik (HLKS)» – suissetec.ch Unten: Einlagen aus einem aktuellen Baubispiel: Wohnturm «three point» in Dübendorf – www.3-point.ch.

Abbildung 2 Exemplarischer Grundriss anhand einer Wohnung der städtischen Wohnsiedlung Leutschenbach

Abbildung 3: schematischer-Querschnitt zur Variante 0 mit eingelegten Sanitärleitungen à 110 mm + 20 mm Dämmungen und Lüftungsleitungen à 90 mm Durchmesser

Abbildung 4: schematischer Grundriss zur Variante 0 «Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt»

Abbildung 5: schematischer-Querschnitt zur Variante 1 mit eingelegten Lüftungsleitungen à 90 mm Durchmesser

Abbildung 6: schematischer Grundriss zur Variante 1 «Leitungen optimiert eingelegt»

Abbildung 7: schematischer Querschnitt zur Variante 2. Die Lüftungsleitungen à 90 mm Durchmesser werden nicht eingelegt, sondern in einer abgehängten Decke geführt.

Abbildung 8 schematischer Grundriss zur Variante 2 «Abgehängte Decke, Betondecke nach Schall Mindestanforderungen dimensioniert»

Abbildung 9: schematischer-Querschnitt zur Variante 3. Die Lüftungsleitungen (Spiro-Rohre à 80 mm Durchmesser) werden nicht eingelegt und sichtbar geführt.

Abbildung 10: schematischer Grundriss zur Variante 3 «Leitungen sichtbar, Betondecke nach Schall dimensioniert»

Abbildung 11: schematischer Querschnitt zur Variante 4. Die Lüftungsleitungen (Spiro-Rohre à 80 mm Durchmesser) werden nicht eingelegt und sichtbar geführt. Im Vergleich zur Variante 3 reduziert sich die Deckenstärke um 4 cm. Dafür werden die Mindest-Schallschutzanforderungen womöglich nicht mehr eingehalten.

Abbildung 12: schematischer Grundriss zur Variante 4 «Leitungen sichtbar, Betondecke nach Statik dimensioniert»

Abbildung 13 a, b, c und d; Aufwand in der Ökobilanz für die 5 untersuchten Varianten (V0A: «28cm Beton, 88kg/m³ Stahl»; V1: «22cm Beton, 80kg/m³ Stahl»; V2: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, abgehängte Decke»; V3: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, sichtbare Leitungen»; V4: «16cm Beton, 89kg/m³ Stahl») anhand von Treibhausgasemissionen (a), Primärenergie total (b), Primärenergie nicht erneuerbar (c) und Umweltbelastungspunkten (d). Der Bodenaufbau wurde dabei, in Abweichung vom SIA Merkblatt 2032, Anhang C (2013), mit einer doppelten Lebensdauer von 60 Jahre angenommen. Da die abgehängte Decke in Variante 2 nur in Nasszellen und Gangbereich angenommen wurden, betragen die Innenwände wie in den anderen Varianten 2.40 m mit Ausnahme der Wände zwischen Korridor und Nasszellen, was die leichte Wertabweichung zu den anderen Varianten begründet. Die Variante 1 wird im Text und in den folgenden Darstellungen als Referenzvariante betrachtet.

Abbildung 14 Anteile der Bauteile an den Treibhausgasemissionen anhand der untersuchten Deckenvariante V1

Abbildung 15: a, b, c und d; Aufwand in der Ökobilanz für die 5 untersuchten Varianten (V0B: «28cm Beton, 74kg/m³ Stahl»; V1: «22cm Beton, 80kg/m³ Stahl»; V2: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, abgehängte Decke»; V3: «20cm Beton, 73kg/m³ Stahl, sichtbare Leitungen»; V4: «16cm Beton, 89kg/m³ Stahl») anhand von Treibhausgasemissionen (a), Primärenergie total (b), Primärenergie nicht erneuerbar (c) und Umweltbelastungspunkten (d). Der Bodenaufbau wurde dabei, in Abweichung vom SIA Merkblatt 2032, Anhang C (2013), mit einer doppelten Lebensdauer von 60 Jahre angenommen. In dieser Darstellung haben alle Varianten dieselbe Spannweite (3.75 m).

Abbildung 16: Querschnitt Variante 4 «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» mit 70 mm Anhydrit-Unterlagsboden

Abbildung 17: Querschnitt Zusatzvariante 4b «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» mit 85 mm Zement-Unterlagsboden

Abbildung 18: Querschnitt Zusatzvariante 4c «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» mit Unterlagsbodenelement aus Holz im Trockenaufbau gemäss Tabelle 13

Abbildung 19: Querschnitt Zusatzvariante 5 «Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert (16 cm)» ohne Unterlagsboden

Abbildung 20: Einfluss der untersuchten Varianten für den Bodenaufbau für die 4 verschiedenen Varianten anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Die Spannbreite des Fehlerbalkens zeigt die Ergebnisvariation zwischen den betrachteten Aufbauten. Vergleichs halber ist in der Abbildung auch die Variante 5 ohne Unterlagsboden dargestellt.

Abbildung 21 Einfluss der eingesetzten Betonsorte für die 5 verschiedenen Varianten anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Spannbreite des Fehlerbalkens zeigt die Variation zwischen den betrachteten Betonsorten.

Abbildung 22: schematischer Grundriss zu den Variante 0 und 1 mit konventioneller, grundsätzlich eingelegter Elektroinstallationsausführung. Eingezeichnet sind die Lampenstellen an der Decke, Lichtschalter und Dreifach-Steckdosen in den Räumen (i.d.R. 20 cm über dem Boden).

Abbildung 23: schematischer Grundriss zu den Variante 3 und 4 mit nicht im Beton eingelegter und an der Wand sichtbaren Elektroinstallationsausführung. Eingezeichnet sind die Wand-Steckdosen unmittelbar unterhalb der Decke für die Deckenlampen, Lichtschalter und Dreifach-Steckdosen in den Räumen (i.d.R. 20 cm über dem Boden).

Abbildung 24: Einfluss für die untersuchten Varianten der Materialisierung der Aufputz geführten Elektroleitungen anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Graphik beinhaltet die Gesamtbilanz inkl. Bodenaufbau, Betondecken und Wände.

Abbildung 25: Einfluss für die untersuchten Varianten der Materialisierung der Aufputz geführten Elektroleitungen anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen. Graphik beinhaltet nur die Materialien für die Elektroverteilung. Bei den eingelegten Installationsrohren wurde bei der Führung unterhalb des Unterlagsbodens eine Mehrlänge von 10% gegenüber dem Einlegen in der Betondecke angenommen

Abbildung 21 Querschnitt durch Deckenplatte mit üblicher Bewehrungsanordnung und gebräuchlichen Bezeichnungen; Bildquelle: ETH Zürich | Prof. Dr. W. Kaufmann | Vorlesung Stahlbeton [IAm](#)

Sind 16cm Beton genug?

Abbildung 22 Einfluss der Optimierung des Bewehrungsgehaltes bei der Variante mit Deckenstärke 22cm (Referenzvariante mit optimiert eingelegten Gebäudetechnikleitungen) anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen.

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle Z1 Vergleich der sechs untersuchten Varianten hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen für die Erstellung mit dem Standardhochbaubeton der Stadt Zürich (Recyclingbeton RC-C50, NPK A, mit Zementtyp CEM III/B)

Tabelle 1 Angenommener Fussbodenaufbau für die Fallstudie mit Material, Materialstärken und physikalischen Eigenschaften, welcher zur Ermittlung der Ökobilanz anhand der Daten der KBOB Liste (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023) herangezogen wurde.

Tabelle 2 Kriterien zur Bewertung der verschiedenen Varianten

Tabelle 3 Bewertung der Variante 0A anhand der vordefinierten Kriterien

Tabelle 4 Bewertung der Referenzvariante anhand der Bewertungskriterien

Tabelle 5 Bewertung der Variante abgehängte Decke anhand der Bewertungskriterien

Tabelle 6 Bewertung der schalldimensionierten Decke mit offener Leitungsführung anhand der Bewertungskriterien

Tabelle 7 Bewertung der statikoptimierten Decken mit offener Leitungsführung anhand der Bewertungskriterien

Tabelle 8 Übersicht der angenommenen Werte für die Lebensdauer der in der Ökobilanz berücksichtigten und nicht berücksichtigten Bauteile. Letztere sind in kursiver Schrift und in einem Grauton aufgelistet.

Tabelle 9 Vergleich der fünf Varianten hinsichtlich ihrer Umweltbelastung für die Erstellung angegeben in Umweltbelastungspunkten (UBP), Primärenergie total (PE_{tot}), Primärenergie nicht erneuerbar (PE_{ne}) und Treibhausgasemissionen (THG). Die Variante 1 «Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt» wird als Referenzvariante mit 100% angegeben

Tabelle 10 Optimierungspotential einzelner Varianten mit prozentualen Auswirkungen auf Umweltbelastungspunkte (UBP), Primärenergie total (PE_{tot}), Primärenergie nicht erneuerbar (PE_{ne}) und Treibhausgasemissionen (THG). Angegeben sind jeweils die Ökobilanzwerte der Innenwände sowie das prozentuale Einsparpotential für den Bereich der Innenwände und gesamthaft für die jeweilige Variante.

Tabelle 11 Übersicht über die Vor- und Nachteile der untersuchten Varianten bezüglich der definierten Bewertungskriterien. Besonders vorteilhafte oder nachteilige Aspekte sind farblich hervorgehoben.

Tabelle 13 Angenommener Fussbodenaufbau für die Variante mit Trockenaufbau mit einem Unterlagsbodenelement aus Holz. Material, Materialstärken und wichtige Eigenschaften, welcher zur Ermittlung der Ökobilanz anhand der Daten der KBOB Liste (KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich, V4, 2023) herangezogen wurde.

Tabelle 12 Für die Sensitivitätsbetrachtung der Betonsorten hinsichtlich der Ökobilanz verwendete Betontypen

Tabelle 14: Bewehrung für Variante 0A: «Worst Case»; Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt, Spannsw. 7.15m

Tabelle 14: Bewehrung für Variante 0B: «Worst Case»; Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt, Spannsw. 3.75m

Tabelle 15: Bewehrung für Variante 1: Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt (Referenzvariante)

Tabelle 16: Rechenvariante für 22 cm Decke mit eingelegten Gebäudetechnikleitungen ohne Optimierung der Bewehrung

Tabelle 17: Bewehrung für Variante 2: Abgehängte Decke, Betondecke nach Schall dimensioniert

Tabelle 19 Bewehrung für Variante 4: Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert

Tabelle 20 Zusammenfassung der für die Berechnungsvarianten verwendeten Bewehrungsgehalte

Tabelle 21: Leitungslängen für die Elektroverteilung der Varianten mit eingelegten Elektrorohren (Varianten 0, 1, 2)

Tabelle 22: Leitungslängen für die Elektroverteilung der Varianten teilweise Aufputz geführt (Varianten 3, 4, 5)

13 Anhang

13.1 Ökobilanzen

13.1.1 Variante 0A: «Worst Case»; Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt, Spannweite 7.15m

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhaus- gasemissionen
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO ₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	140.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit (Stärke 70 mm eingesetzt)	60	502	3.87	3.60	0.213
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.28	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 88 kg/m³	60	1732	12.81	11.73	0.927
eigene Ber.	-0.004	m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	-15	-0.10	-0.09	-0.008
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
eigene Ber.	0.00	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (nicht erforderlich)	30	0	0.00	0.00	0.000
13.002	0.16	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	60	16	0.22	0.22	0.012
06.011	0.00	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	0	0.00	0.00	0.000
03.003	0.28	kg	Installationsrohr Elektro, eingelegt, KRFWG, M25	60	28	0.38	0.38	0.022
03.003	0.00	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	0	0.00	0.00	0.000
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	0.00	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	0	0.00	0.00	0.000
02.001	61.85	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	382	3.22	2.92	0.274
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 0A, «Worst Case»		4420	51.57	31.66	2.297

Sind 16cm Beton genug?

13.1.2 Variante 0B: «Worst Case»; Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt, Spannweite 4 m

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhaus- gasemissionen
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	140.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit (Stärke 70 mm eingesetzt)	60	502	3.87	3.60	0.213
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.28	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 74 kg/m³	60	1630	11.93	10.93	0.877
eigene Ber.	-0.004	m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	-15	-0.10	-0.09	-0.008
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
eigene Ber.	0.00	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (nicht erforderlich)	30	0	0.00	0.00	0.000
13.002	0.16	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	60	16	0.22	0.22	0.012
06.011	0.00	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	0	0.00	0.00	0.000
03.003	0.28	kg	Installationsrohr Elektro, eingelegt, KRFWG, M25	60	28	0.38	0.38	0.022
03.003	0.00	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	0	0.00	0.00	0.000
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	39.69	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	245	2.06	1.87	0.176
02.001	35.77	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	221	1.86	1.69	0.159
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 0B, «Worst Case»		4402	51.40	31.51	2.308

Sind 16cm Beton genug?

13.1.3 Variante 1: Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhaus- gasemissionen
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	140.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit (Stärke 70 mm eingesetzt)	60	502	3.87	3.60	0.213
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.22	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 80 kg/m³	60	1315	9.67	8.86	0.706
eigene Ber.	-0.004	m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	-15	-0.10	-0.09	-0.008
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
eigene Ber.	0.03	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (nur im Bad für Luftverteiler)	30	30	0.15	0.13	0.010
13.002	0.16	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	60	16	0.22	0.22	0.012
06.011	0.00	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	0	0.00	0.00	0.000
03.003	0.28	kg	Installationsrohr Elektro, eingelegt, KRFWG, M25	60	28	0.38	0.38	0.022
03.003	0.00	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	0	0.00	0.00	0.000
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	39.69	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	245	2.06	1.87	0.176
02.001	35.77	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	221	1.86	1.69	0.159
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 1 «Referenz»		4117	49.28	29.57	2.147

Sind 16cm Beton genug?

13.1.4 Variante 2: Abgehängte Decke, Betondecke nach Schall dimensioniert

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	PE, tot.	PE,ne	THGE
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	140.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit (Stärke 70 mm eingesetzt)	60	502	3.87	3.60	0.213
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.20	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 73 kg/m³	60	1159	8.48	7.77	0.624
eigene Ber.	-0.002	m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	-6	-0.04	-0.04	-0.003
eigene Ber.	0.26	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (in Bereich Luftverteilung) *)	30	310	1.51	1.40	0.104
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
13.002	0.16	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	30	31	0.44	0.43	0.025
06.011	0.00	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	0	0.00	0.00	0.000
03.003	0.28	kg	Installationsrohr Elektro, eingelegt, KRFWG, M25	60	28	0.38	0.38	0.022
03.003	0.00	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	0	0.00	0.00	0.000
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	39.69	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	245	2.06	1.87	0.176
02.001	32.79	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	203	1.71	1.55	0.145
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 2, abgehängt		4247	49.59	29.87	2.163

*) Abgehängte Decke verspachtelt, unverputzt (Verputz separat für gesamte Decke berücksichtigt)

Sind 16cm Beton genug?

13.1.5 Variante 3: Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Schall dimensioniert

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	140.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit (Stärke 70 mm eingesetzt)	60	502	3.87	3.60	0.213
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.20	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 73 kg/m³	60	1159	8.48	7.77	0.624
eigene Ber.		m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	0	0.00	0.00	0.000
eigene Ber.	0.03	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (nur im Bad für Luftverteiler)	30	30	0.15	0.13	0.010
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
13.002	0.00	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	30	0	0.00	0.00	0.000
06.011	0.41	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	207	0.83	0.76	0.061
03.003	0.25	kg	Installationsrohr Elektro, unter ULB, KRFWG, M25	60	26	0.35	0.34	0.020
03.003	0.02	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	5	0.07	0.06	0.004
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	39.69	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	245	2.06	1.87	0.176
02.001	35.77	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	221	1.86	1.69	0.159
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 3, sichtbar, Schall		4170	48.84	29.15	2.124

Sind 16cm Beton genug?

13.1.6 Variante 4: Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	140.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit (Stärke 70 mm eingesetzt)	60	502	3.87	3.60	0.213
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.16	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 89 kg/m³	60	994	7.36	6.74	0.532
eigene Ber.		m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	0	0.00	0.00	0.000
eigene Ber.	0.03	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (nur im Bad für Luftverteiler)	30	30	0.15	0.13	0.010
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
13.002	0.00	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	30	0	0.00	0.00	0.000
06.011	0.41	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	207	0.83	0.76	0.061
03.003	0.25	kg	Installationsrohr Elektro, unter ULB, KRFWG, M25	60	26	0.35	0.34	0.020
03.003	0.02	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	5	0.07	0.06	0.004
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	39.69	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	245	2.06	1.87	0.176
02.001	35.77	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	221	1.86	1.69	0.159
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 4, sichtbar, Statik		4004	47.72	28.12	2.032

13.1.7 Variante 5: Leitungen sichtbar geführt, kein Unterlagsboden

KBOB-ID	Menge	Einheit		LD	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas- emissionen
				Jahre	UBP/ (m² a)	MJeq/(m² a)	MJeq/(m² a)	kg CO₂ eq/ (m² a)
11.019	1.00	m²	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	30	603	22.32	4.84	0.270
04.005	0.00	kg	Unterlagsboden Anhydrit	60	0	0.00	0.00	0.000
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
10.001	1.30	kg	Glaswolle	60	42	0.61	0.43	0.024
10.004	0.60	kg	Polystyrol expandiert (EPS)	60	98	1.10	1.08	0.076
09.007	0.18	kg	Polyethylenfolie (PE)	60	21	0.28	0.27	0.017
eigene Ber.	0.16	m³	Beton für Betondecke, mit Bewehrung 89 kg/m³	60	994	7.36	6.74	0.532
eigene Ber.		m³	Rohreinlagen (Beton ohne Bewehrung)	60	0	0.00	0.00	0.000
04.001	5.50	kg	Gips-/Weissputz, (Einschichtputz, 5mm Stärke)	30	44	0.49	0.45	0.028
eigene Ber.	0.03	m²	Abgehängte Decke, Metall UK (nur im Bad für Luftverteiler)	30	30	0.15	0.13	0.010
13.002	0.00	kg	Lüftungsrohr, Polyethylen (PE) ab Werk	30	0	0.00	0.00	0.000
06.011	0.41	kg	Lüftungsrohr, Stahlblech, verzinkt	30	207	0.83	0.76	0.061
03.003	0.25	kg	Installationsrohr Elektro, auf Rohdecke, KRFWG, M25	60	26	0.35	0.34	0.020
03.003	0.02	kg	Installationsrohr Elektro, sichtbar, KIR, M20	30	5	0.07	0.06	0.004
eigene Ber.	0.38	kg	Installationskabel Elektro	30	220	0.71	0.66	0.040
eigene Ber.	0.12	m³	Beton für Betonwände, tragend, mit Bewehrung 90 kg/m³	60	724	5.36	4.91	0.387
02.001	39.69	kg	Backstein, Innenwände, tragend	60	245	2.06	1.87	0.176
02.001	35.77	kg	Backstein, Innenwände, nicht tragend	60	221	1.86	1.69	0.159
Summe		1/(m² a)	Auswertung Variante 5, sichtbar, kein UB		3503	43.84	24.51	1.819

Sind 16cm Beton genug?

13.1.8

Prozess	Abgehängte Decke, Metall UK	Einheit	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
	m ²		UBP/m ²	MJeq/m ²	MJeq/m ²	kg CO ₂ eq/m ²
Gipskartonplatte (Herstellung + Entsorgungsmix, Gipskartonplatte)	10.00	kg	5250	51.1	47.9	3.02
Stahlblech, verzinkt (Grund- / Tragprofil, Abhängung)	2.00	kg	30400	122.4	112.3	8.98
Verspachtelung mit Gips-Spachtelmasse (als Gips-/Weissputz bilanziert)	0.40	kg	96.8	1.07	0.981	0.0604
Verputz (z.B. Gips-/Weissputz) in Bilanz nicht berücksichtigt (Decke verspachtelt, unverputzt)						
Abgehängte Decke, Metall UK, verspachtelt, unverputzt	12.40	kg/m ²	35747	174.6	161.2	12.1

13.1.9 Verwendete Sachbilanz für den Datensatz Bodenaufbau mit einem Bodenheizelement aus Holz

Material	Prozess aus KBOB Liste	Dicke	Dichte	Gewicht	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas-emissionen
		(m)	(kg/m ³)	(kg/m ²)	UBP/m ²	MJeq/m ²	MJeq/m ²	kg CO ₂ eq/m ²
Parkett 3-Schicht	Parkett 3-Schicht werkversiegelt, 15 mm	0.015	ca. 530	7.9	18100	669.6	145.1	8.09
Massivholz Buche	Massivholz Buche / Eiche, kammergetrocknet, gehobelt, Produktion Schweiz	0.045	675	30.4	12029	870.4	62.5	3.71
Weichfaserdämmplatte	Weichfaserplatte	0.020	148	3.0	4130	111.5	36.3	2.14
Glaswolle	Glaswolle	0.020	65	1.3	2548	36.6	25.6	1.43
Hartfaserplatte	Weichfaserplatte	0.010	240	2.4	3360	90.7	29.5	1.74
Kalksteinschüttung *)	Kalksteinplatte	0.040	1400	56.0	7896	73.6	68.1	4.12
Bodenaufbau mit einem Bodenheizelement aus Holz		0.150	-	100.9	48063	1852.4	367.2	21.23

*) Bereich der Schüttdicke der Ausgleichsschüttung für Sensitivitätsanalyse: 10...100 mm

13.1.10 Verwendete Sachbilanz für den Datensatz zur Elektroverkabelung in der Wohnung

Material	Prozess aus KBOB Liste	Menge	Bezugs- einheit	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas- emissionen
		(g/m)		UBP/m ²	MJeq/m ²	MJeq/m ²	kg CO ₂ eq/m ²
Isolation Polyethylen	Polyethylen (PE) ; KBOB ID 13.002	45	m	271	3.9	3.8	0.21
Leiter Kupfer blank	Kupferblech, blank ; KBOB ID 06.008	72	m	1764	2.7	2.3	0.16
Total Installationskabel, Bezug pro m Kabel (Basis 5x1.5mm²)		117	m	2035	6.6	6.1	0.37
Installationskabel, Bezug pro 1 kg Kabel		-	kg	17392	56.2	51.8	3.18

Die Sachbilanzdaten für die eingelegten Elektro-Installationsrohre basieren auf M25 KRFWG Rohren aus Polypropylen mit einem Metergewicht von 85 g. Für die Bilanzierung aller Varianten wird von einer gesamten Kabellänge von 325 m pro Wohnung (3.25 m/m² WF) ausgegangen. Die Länge der Intallationsrohre wird gleich lang angenommen. Bei den Berechnungsvarianten 3, 4 und 5 wird der sichtbar geführte Teil der Installationsrohre jeweils separat ausgewiesen (insgesamt 27.2 m Länge Aufputz geführt).

In der Basisberechnung wird für diese Aufputz Installationsrohre ein M20 KIR Rohr aus Polypropylen angenommen ($D_a = 20\text{mm}$, $D_i = 17\text{mm}$). Dieses Rohr hat ein Metergewicht von 79 g/m. Zusätzlich wird ein Zuschlag von 10% für die Befestigungsbriden aufgeschlagen.

In der der Variantenberechnung (Kapitel 8.4) wird die Materialisierung zusätzlich wie folgt variiert:

- Aufputz Installationsrohr M20 aus Aluminium; $D_a = 20\text{mm}$, $D_i = 18\text{mm}$; Metergewicht von 161 g/m + Zuschlag von 5% für Alu-Briden
- Aufputz Installationsrohr M20 aus Inox V2A; $D_a = 20\text{mm}$, $D_i = 18\text{mm}$; Metergewicht von 469 g/m + Zuschlag von 5% für Inox-Briden

13.1.11 Beispiel für Sachbilanz der Datensätze zur Berechnung der armierten Betondecke

Material	ID aus KBOB Liste	Dichte	Menge	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas- emissionen
		(kg/m ³)	(kg/m ³)	UBP/m ³	MJeq/m ³	MJeq/m ³	kg CO ₂ eq/m ³
Beton NPK B, CEM III/B, RC-C50, ohne Bewehrung	Betonrechner *)	2190	2165	231198	1544	1423	129.5
Armierungsstahl	06.003	7850	90	143100	1228	1115	70.7
Beton für Betondecke, mit Bewehrung 90 kg/m³	eigene Ber *)	2255	2255	374298	2772	2538	200.1

*) Berechneter Wert für 1m³ armierter Beton (Herstellung + Entsorgung) am Beispiel eines Armierungsgehaltes von 90 kg/m³; für Basisberechnung verwendeter Standard-Beton gem. AHB; gemäss Betonrechner v3, Okt. 2022: Hochbaubeton, NPK B, CEM III/B, RC-C50, ohne Bewehrung

Sind 16cm Beton genug?

13.1.12 Verwendete Bewertungsergebnisse zum Beton ohne Armierung; Standard Berechnungsvariante

Kennwert	Beton ohne Armierung; Standard Berechnungsvariante (AHB Standardbeton)			
Anwendungsbereich	Hochbaubeton, NPK A Rohdichte: 2190 kg/m ³			
Zementtyp	CEM III/B			
Betonbezeichnung	Recyclingbeton RC-C; Zuschlagstoffe 50% Ru, 50% Rc			
Indikator	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas- emissionen
Einheit	UBP/m ³	MJ Öl-eg/m ³	MJ Öl-eg/m ³	kg CO ₂ eg/m ³
Herstellung	156403	1141	1033	103
Zement	125101	868	788	90
Gesteinskörnung	23354	184	169	10
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	7949	86	76	3
Entsorgung	77475	421	407	28
Total ohne Einspeicherung	233879	1562	1440	131
Einspeicherung CO ₂	0	0	0	0

13.1.13 Verwendete Bewertungsergebnisse zum Beton ohne Armierung; Ungünstige Berechnungsvariante

Kennwert	Beton ohne Armierung; Ungünstige Berechnungsvariante (KBOB Standard Hochbaubeton; KBOB ID: 01.002)			
Anwendungsbereich	Hochbaubeton, NPK C Rohdichte: 2300 kg/m ³			
Zementtyp	45% CEM II/A; 45% CEM II/B CH-Mix, 10% CEM I			
Betonbezeichnung	Beton aus Primärrohstoffen; Zuschlagstoffe 90% Ru, 5% Rc, 5% Ra			
Indikator	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas- emissionen
Einheit	UBP/m ³	MJ Öl-eg/m ³	MJ Öl-eg/m ³	kg CO ₂ eg/m ³
Total ohne Einspeicherung	351900	1565	1449	232
Einspeicherung CO ₂	0	0	0	0

Sind 16cm Beton genug?

13.1.14 Verwendete Bewertungsergebnisse zum Beton ohne Armierung; günstige Berechnungsvariante

Kennwert	Beton ohne Armierung; Günstige Berechnungsvariante (Beton inkl. Einspeicherung von Granulat, z.B. System Neustark)			
Anwendungsbereich	Hochbaubeton, NPK A Rohdichte: 2190 kg/m ³			
Zementtyp	CEM III/B			
Betonbezeichnung	CEM III/B; Recyclingbeton RC-C; Zuschlagstoffe 50% Ru, 50% Rc inkl. Einspeicherung Granulat (10kg/m ³)			
Indikator	UBP, 2021	Primärenergie, total	Primärenergie, nicht erneuerbar	Treibhausgas- emissionen
Einheit	UBP/m ³	MJ Öl-eg/m ³	MJ Öl-eg/m ³	kg CO ₂ eq/m ³
Herstellung	158832	1181	1066	104
Zement	125101	868	788	90
Gesteinskörnung	25782	223	202	11
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	7949	86	76	3
Entsorgung	77475	421	407	28
Total ohne Einspeicherung	236308	1602	1472	132
Einspeicherung CO ₂	-10000	0	0	-10
Total mit Einspeicherung	226308	1602	1472	122

13.2 Statik - Ermittlung des Bewehrungsgehaltes

In den nachfolgenden Tabellen sind Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung des Bewehrungsgehaltes, der untersuchten Varianten dokumentiert.

Die Berechnungen basieren auf einer Stabbewehrung wie sie mehrheitlich im Hochbau angewendet wird. D.h. jedes Bewehrungsseisen wird einzeln verlegt. Eine Lage beschreibt die Bewehrungsseisen auf derselben Höhenlage und in derselben Richtung orientiert. Üblicherweise sind in Decken, wie bei der Berechnung angenommen, vier Bewehrungslagen verlegt. Berücksichtigt wurden bei der Dimensionierung auch die erforderliche Querkraftbewehrung.

Für die Berechnungen wurde ein, in Baupraxis üblicher, Stababstand von 150 mm vorgegeben. Die Abstufung der gewählten Stabdurchmesser der Bewehrungsseisen stützt ebenfalls auf die Baupraxis ab.

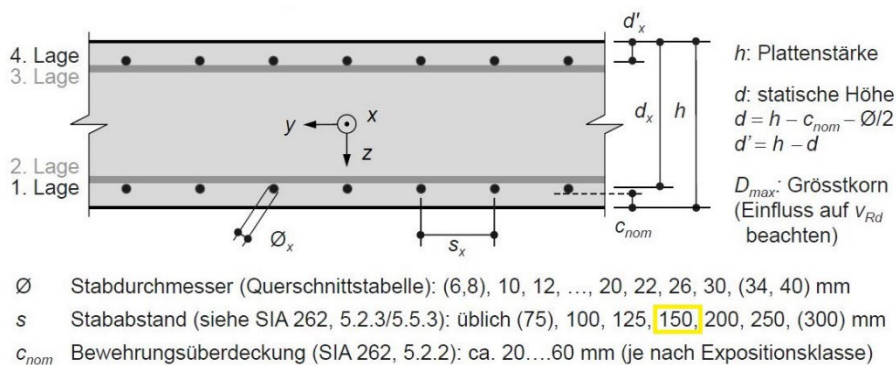


Abbildung 26 Querschnitt durch Deckenplatte mit üblicher Bewehrungsanordnung und gebräuchlichen Bezeichnungen;
Bildquelle: ETH Zürich | Prof. Dr. W. Kaufmann | Vorlesung Stahlbeton I

Tabelle 14: Bewehrung für Variante 0A: «Worst Case»; Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt, Spannsw. 7.15m

Deckenstärke [mm]	280					
Spannweiten Randfeld [m]	7.15					
Bewehrungen	1. Lage	2. Lage	3. Lage	4. Lage	Querkraftbewehrung	Mindestbew.
Erforderliche Durchmesser [mm]	10.2	9.5	9.5	13.7	7.5	9.5
Gewählte Durchmesser [mm]	12	10	10	14	10	10
Bewehrungsgehalt berechnet [kg/m³]	88.4					

Sind 16cm Beton genug?

Tabelle 15: Bewehrung für Variante 0B: «Worst Case»; Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt, Spannweite 3.75m

Deckenstärke	280 mm					
Spannweiten Randfeld	4 m					
Bewehrungen	1. Lage	2. Lage	3. Lage	4. Lage	Querkraftbewehrung	Mindestbew.
Erforderliche Durchmesser [mm]	5.7	9.5	9.5	7.6	7.6	9.5
Gewählte Durchmesser [mm]	10	10	10	10	8	10
Bewehrungsgehalt [kg/m ³]	73.6					

Tabelle 16: Bewehrung für Variante 1: Gebäudetechnikleitungen optimiert eingelegt (Referenzvariante)

Deckenstärke [mm]	220					
Spannweiten Randfeld [m]	4					
Bewehrungen	1. Lage	2. Lage	3. Lage	4. Lage	Querkraftbewehrung	Mindestbew.
Erforderliche Durchmesser [mm]	6.1	8.2	8.2	8.2	7.5	8.2
Gewählte Durchmesser [mm]	9.05 *)	9.05 *)	9.05 *)	9.05 *)	10	9.05 *)
Bewehrungsgehalt berechnet [kg/m ³]	79.7					

*) Bewehrungsstäbe abwechselnd mit Durchmesser 8 resp. 10 mm (gleicher Stab-Durchmesser alle 300 mm)

Bei der optimierten Referenzvariante (Variante 1) wurden zur Optimierung abwechselungsweise Bewehrungsseisen mit einem Durchmesser 8 resp. 10 mm gewählt. Damit kann die Anforderung der Mindestbewehrung (bei Stababstand von 150 mm) mit einem Durchmesser von grösser als 8.2 mm mit minimalem Aufwand an Bewehrungsseisen realisiert werden (mittlerer Durchmesser daher auf 9.05 mm gesetzt). Dieses abwechselnde Verlegen von zwei unterschiedlichen Durchmessern wird im Hochbau jedoch sehr selten umgesetzt.

Ohne eine solche Optimierung (mit abwechselndem Verlegen von zwei unterschiedlichen Durchmessern) müsste der nächsthöhere, erhältliche Durchmesser von 10 mm verwendet werden, wodurch ein Bewehrungsgehalt von 96 kg/m³ resultieren würde. Diese (übliche) Ausführung der Variante mit Deckenstärke 22 cm ist in Tabelle 16 dokumentiert.

Wie aus Abbildung 22 ersichtlich führt dies zu einer Erhöhung der grauen Treibhausgasemissionen der Variante um 2% bzw. um 6% allein bei der Betondecke (Rohdecke).

Tabelle 17: Rechenvariante für 22 cm Decke mit eingelegten Gebäudetechnikleitungen ohne Optimierung der Bewehrung

Deckenstärke [mm]	220					
Spannweiten Randfeld [m]	4					
Bewehrungen	1. Lage	2. Lage	3. Lage	4. Lage	Querkraftbewehrung	Mindestbew.
Erforderliche Durchmesser [mm]	6.1	8.2	8.2	8.2	7.5	8.2
Gewählte Durchmesser [mm]	10	10	10	10	10	10
Bewehrungsgehalt berechnet [kg/m ³]	96.1					

Sind 16cm Beton genug?

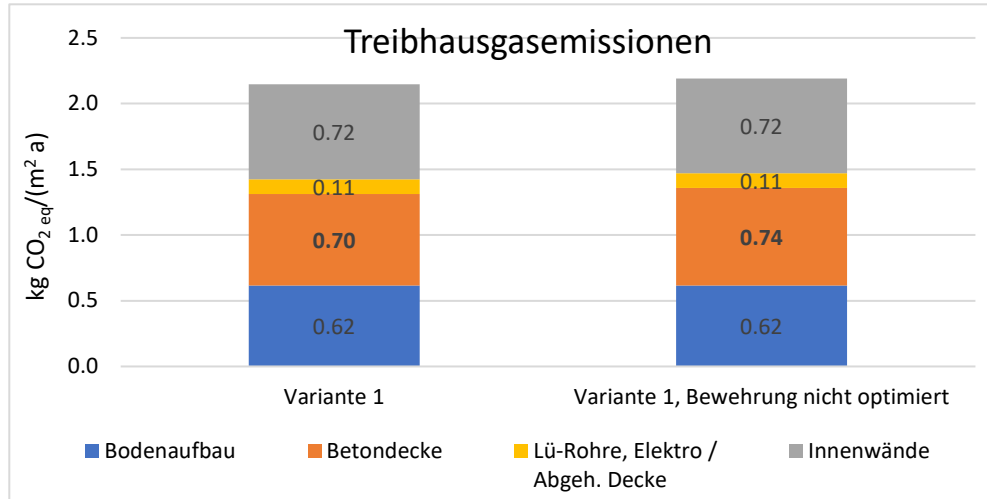


Abbildung 27 Einfluss der Optimierung des Bewehrungsgehaltes bei der Variante mit Deckenstärke 22cm (Referenzvariante mit optimiert eingelegten Gebäudetechnikleitungen) anhand des Indikators der Treibhausgasemissionen.

Tabelle 18: Bewehrung für Variante 2: Abgehängte Decke, Betondecke nach Schall dimensioniert

Deckenstärke [mm]	200					
Spannweiten Randfeld [m]	4					
Bewehrungen	1. Lage	2. Lage	3. Lage	4. Lage	Querkraftbewehrung	Mindestbew.
Erforderliche Durchmesser [mm]	6.3	7.7	7.7	8.5	7.5	7.7
Gewählte Durchmesser [mm]	8	8	8	10	10	10
Bewehrungsgehalt berechnet [kg/m³]	72.8					

Die Bewehrung der Variante 3 (Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Schall dimensioniert) ist identisch mit der Variante 2 in Tabelle 17.

Tabelle 19 Bewehrung für Variante 4: Leitungen sichtbar geführt, Betondecke nach Statik dimensioniert

Deckenstärke [mm]	160					
Spannweiten Randfeld [m]	4					
Bewehrungen	1. Lage	2. Lage	3. Lage	4. Lage	Querkraftbewehrung	Mindestbew.
Erforderliche Durchmesser [mm]	6.9	6.7	6.7	9.4	7.5	6.7
Gewählte Durchmesser [mm]	8	8	8	10	10	10
Bewehrungsgehalt berechnet [kg/m³]	89.2					

Die Bewehrung der Variante 5 (Leitungen sichtbar geführt, kein Unterlagsboden) ist identisch mit der Variante 4 in Tabelle 19.

Sind 16cm Beton genug?

Tabelle 20 zeigt die Zusammenfassung der für die Berechnungsvarianten (Variante 0 bis Variante 5) verwendeten Bewehrungsgehalte.

Tabelle 20 Zusammenfassung der für die Berechnungsvarianten verwendeten Bewehrungsgehalte

Bewehrungen	Variante 0	Variante 1 *)	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Deckenstärke [mm]	280	220	200	200	160	160
Spannweiten Randfeld [m]	7.15	4	4	4	4	4
Bewehrungsgehalt [kg/m ³]	88	80	73	73	89	89
Flächengewicht Bewehrung [kg/m ²]	24.6	17.6	14.6	14.6	14.2	14.2

*) Referenzvariantemit optimierter Bewehrung und eingelegten Gebäudetechnikleitungen

13.3 Elektroleitungen - Materialisierung

In den nachfolgenden Graphen und Tabellen sind Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung der Kabellängen und Längen der Installationsrohre für die Elektroverteilung in der Wohnung, der untersuchten Varianten dokumentiert.

Es werden nur die Aufwendungen für die Elektroverteilung der Installationen für Licht und Steckdosen in die Bilanz einbezogen. Die Anschlüsse der Geräte in der Küche werden nicht berücksichtigt, da diese für alle Varianten identisch sind.

Der Aufwand für die Installation sehr stark vom Ausbau abhängig. Daher wurde für die Abschätzung der Leitungslängen eine grobe Planung der Standorte und Anzahl der Lampenstellen, Steckdosen und Schalter erstellt. Diese Planung wurde sowohl für die Varianten mit eingelegten Elektroverteilung siehe Tabelle 21 wie auch für die Varianten (Variante 4 und Variante 5) bei denen die Elektroleitungen Aufputz (anstatt eingelegt in der Wand) bzw. auf dem Rohboden (unter ULB, anstatt in Decke eingelegt) verlegt werden (siehe Tabelle 22).

Tabelle 21: Leitungslängen für die Elektroverteilung der Varianten mit eingelegten Elektroröhren (Varianten 0, 1, 2)

Raum	Element	Anzahl	Distanz vertikal in Wand (m)	Länge total (m) *)	Länge UP (m)	Länge AP (m)
Zimmer 1	Lampenstelle	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose links/rechts	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
	Steckdose/Schalter Türe	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
Zimmer 2	Lampenstelle	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose links/rechts	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
	Steckdose/Schalter Türe	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
Zimmer 3	Lampenstelle	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose links/rechts	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
	Steckdose/Schalter Türe	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
Wohnen	Lampenstelle	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose links/rechts	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
	Steckdose/Schalter Türe	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
Küche	Lampenstelle	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose links/rechts	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose/Schalter Türe	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
Gangbereich	Lampenstelle	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
	Steckdose links/rechts	0	inkl. in L_{tot}	0.0	0.0	
	Steckdose/Schalter Türe	1	inkl. in L_{tot}	13.0	13.0	
Nasszellen	Steckdose/Schalter Türe	2	inkl. in L_{tot}	26.0	26.0	
gesamte Wohnung		25		325.0	325.0	0.0

*) Basierend auf typischen Verlegelängen pro Stk. Installationselement von 10-15m

**) für Var 2 gleiche Längen eingesetzt (ev. Verlegung eines Teils der Installationsrohre in abgehängter Decke d.H. nicht AP

Sind 16cm Beton genug?

Tabelle 22: Leitungslängen für die Elektroverteilung der Varianten teilweise Aufputz geführt (Varianten 3, 4, 5)

Raum	Element	Anzahl	Distanz vertikal zu Boden (m)	Länge total (m) *)	Länge Boden (m) **)	Länge Wand AP (m) ***)
Zimmer 1	Lampenstelle	1	2.4	13.0	10.6	2.4
	Steckdose links/rechts	2	0.2	26.0	25.6	0.4
	Steckdose/Schalter Türe	1	1.1	13.0	11.9	1.1
Zimmer 2	Lampenstelle	1	2.4	13.0	10.6	2.4
	Steckdose links/rechts	2	0.2	26.0	25.6	0.4
	Steckdose/Schalter Türe	1	1.1	13.0	11.9	1.1
Zimmer 3	Lampenstelle	1	2.4	13.0	10.6	2.4
	Steckdose links/rechts	2	0.2	26.0	25.6	0.4
	Steckdose/Schalter Türe	1	1.1	13.0	11.9	1.1
Wohnen	Lampenstelle	1	2.4	13.0	10.6	2.4
	Steckdose links/rechts	2	0.2	26.0	25.6	0.4
	Steckdose/Schalter Türe	2	1.1	26.0	23.8	2.2
Küche	Lampenstelle	1	2.4	13.0	10.6	2.4
	Steckdose links/rechts	1	0.2	13.0	12.8	0.2
	Steckdose/Schalter Türe	2	1.1	26.0	23.8	2.2
Gangbereich	Lampenstelle	1	2.4	13.0	10.6	2.4
	Steckdose links/rechts	0	0.2	0.0	0.0	0.0
	Steckdose/Schalter Türe	1	1.1	13.0	11.9	1.1
Nasszellen	Steckdose/Schalter Türe	2	1.1	26.0	23.8	2.2
gesamte Wohnung		25		325.0	297.8	27.2

*) Basierend auf typischen Verlegelängen pro Stk. Installationselement von 10-15m

**) Elektroleitungen werden horizontal über der Dämmebene im Unterlagsboden geführt.



***) Für Länge an Wänden wird eine sichtbare Führung der Leitungen entlang der Wände zu den Steckdosen angenommen.

Für die Bilanzierung aller Varianten wird von einer gesamten Kabellänge von 325 m pro Wohnung (3.25 m/m² WF) ausgegangen. Die Länge der Installationsrohre wird gleich lang angenommen. Bei den Berechnungsvarianten 3, 4 und 5 wird der sichtbar geführte Teil der Installationsrohre insgesamt 27.2 m jeweils separat betrachtet (Länge der Aufputz geführten Leitungen).

13.4 Schallberechnungen

Bei den aufgeführten Schallnachweisen handelt es sich um einfache Schallnachweise nach SIA-Norm 181 (2020). Die Schallberechnungen der verschiedenen Varianten wurden im Verlauf der Bearbeitung mit den notwendigen Deckenstärken abgeglichen, woraus sich gewisse Abweichungen zu den Endvarianten ergeben.

13.4.1 Variante 0: Sämtliche Gebäudetechnikleitungen eingelegt

 Schallschutz SIA-Norm 181 (2020)  Projektkontrolle	S	Schallschutznachweis Innenlärm
--	---	-----------------------------------

☐ Nur eine Nutzungseinheit: Schallschutznachweis für Innenlärm nicht notwendig

Luftschall

☐ Siehe beiliegenden Schallschutznachweis


Situation									
Trennbauenteil	<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>		
Senderraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Timmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Empfangsraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Zimmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Grad der Störung	<i>mässig</i>			<i>mässig</i>			<i>mässig</i>		
Lärmempfindlichkeit	<i>mittel</i>			<i>mittel</i>			<i>gering</i>		
Abschlussstüre Ziffer 3.2.2.1	<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB			<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB			<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB		
Tieffreq. Emi. nachts Ziffer 3.2.2.2	<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht			<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht			<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht		
Massgebende Anforderung	$D_1 = 52$ dB			$D_1 = 52$ dB			$D_1 = 47$ dB		
Trennbauerteile	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]
<i>Trenndecke 28 cm * + UB</i>	15.0	67.0	-2.0	13.6	67.0	-2.0	1.8	67.0	-2.0
<i>UB nach Flumroc E205</i>									
<i>* R'_w gem. Fig 11, SIA 181/2006</i>									
S_{res} und (R'_w + C)_{res}	15.0	65.0		13.6	65.0		1.8	65.0	
Volumen Empfangsraum	V = 35.9 m ³			V = 32.6 m ³			V = 4.4 m ³		
Projektionierungszuschlag K _p	K _p = 2.0 dB			K _p = 2.0 dB			K _p = 2.0 dB		
Ermittelter Schallschutz	D_{1,d} = 61.9 dB			D_{1,d} = 61.9 dB			D_{1,d} = 61.9 dB		
Erfüllt	Ja			Ja			Ja		

Trittschall

☐ Siehe beiliegenden Schallschutznachweis

Situation									
Trennbauenteil	<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>		
Senderraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Zimmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Empfangsraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Zimmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Grad der Störung	<i>mittel</i>			<i>mittel</i>			<i>gering</i>		
Lärmempfindlichkeit	<i>mittel</i>			<i>mittel</i>			<i>gering</i>		
Spezielle Fälle 3.3.2 ff	<input type="checkbox"/> Umbau <input type="checkbox"/> Balkon			<input type="checkbox"/> Umbau <input type="checkbox"/> Balkon			<input type="checkbox"/> Umbau <input type="checkbox"/> Balkon		
Massgebende Anforderung	L' = 53 dB			L' = 53 dB			L' = 58 dB		
Trennbauerteile	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL_{WV}	C _i	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL_{WV}	C _i	d [cm]
<i>Trenndecke *</i>	28.0	65.0	-----	0.0	28.0	65.0	-----	0.0	28.0
<i>UB nach Flumroc E205</i>			29.0	0.0			29.0	0.0	
<i>* L'_{n,w} gem. Fig 13, SIA 181/2006</i>									
Wert für gesamten Aufbau	L'_{n,w} + C_i = 36.0 dB			L'_{n,w} + C_i = 36.0 dB			L'_{n,w} + C_i = 36.0 dB		
Volumen Empfangsraum	V = 35.9 m ³			V = 32.6 m ³			V = 4.4 m ³		
Projektionierungszuschlag K _p	K _p = 3.0 dB			K _p = 3.0 dB			K _p = 3.0 dB		
Ermittelter Schallpegel	L'_d = 38.3 dB			L'_d = 38.8 dB			L'_d = 47.4 dB		
Erfüllt	Ja			Ja			Ja		

13.4.2 Variante 1/ 2/ 3: Gebäudetechnik optimiert eingelegt/ Abgehängte Decke/ Leitungen sichtbar geführt; Betondecke nach Schall-Mindestanforderungen dimensioniert

Schallschutz SIA-Norm 181 (2020)  Projektkontrolle	S	Schallschutznachweis Innenlärm
--	----------	---

☐ Nur eine Nutzungseinheit: Schallschutznachweis für Innenlärm nicht notwendig

Luftschall

☐ Siehe beiliegenden Schallschutznachweis


Situation	<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>		
Trennbauteil	<i>Zimmer</i>			<i>Timmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Senderraum: Bezeichnung									
Nr. / Geschoss									
Empfangsraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Zimmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Grad der Störung	<i>mässig</i>			<i>mässig</i>			<i>mässig</i>		
Lärmempfindlichkeit	<i>mittel</i>			<i>mittel</i>			<i>gering</i>		
Abschlussstüre Ziffer 3.2.2.1	<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB			<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB			<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB		
Tieffreq. Emi. nachts Ziffer 3.2.2.2	<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht			<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht			<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht		
Massgebende Anforderung	$D_i = 52$ dB			$D_i = 52$ dB			$D_i = 47$ dB		
Trennbauteile	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]
<i>Trenndecke 21 cm * + UB</i>	15.0	66.0	-2.0	13.6	66.0	-2.0	1.8	66.0	-2.0
<i>UB nach Flumroc E205</i>									
<i>* R'_w gem. Fig 11, SIA 181/2006</i>									
S _{res} und (R' _w + C) _{res}	15.0	64.0		13.6	64.0		1.8	64.0	
Volumen Empfangsraum	V = 35.9 m ³			V = 32.6 m ³			V = 4.4 m ³		
Projektorungszuschlag K _p	K _p = 2.0 dB			K _p = 2.0 dB			K _p = 2.0 dB		
Ermittelter Schallschutz	D_{i,d} = 60.9 dB			D_{i,d} = 60.9 dB			D_{i,d} = 60.9 dB		
Erfüllt	Ja			Ja			Ja		

Trittschall

☐ Siehe beiliegenden Schallschutznachweis

Situation												
Trennbauteil	<i>Trenndecke</i>				<i>Trenndecke</i>				<i>Trenndecke</i>			
Senderraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>				<i>Zimmer</i>				<i>sep. WC</i>			
Nr. / Geschoss												
Empfangsraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>				<i>Zimmer</i>				<i>sep. WC</i>			
Nr. / Geschoss												
Grad der Störung												
Lärmempfindlichkeit	<i>mittel</i>				<i>mittel</i>				<i>gering</i>			
Spezielle Fälle 3.3.2 ff	<input type="checkbox"/> Umbau		<input type="checkbox"/> Balkon		<input type="checkbox"/> Umbau		<input type="checkbox"/> Balkon		<input type="checkbox"/> Umbau		<input type="checkbox"/> Balkon	
Massgebende Anforderung	L' = 53 dB				L' = 53 dB				L' = 58 dB			
Trennbauteile	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL _W	C _i	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL _W	C _i	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL _W	C _i
<i>Trenndecke *</i>	21.0	70.0	-----	0.0	21.0	70.0	-----	0.0	21.0	70.0	-----	0.0
<i>UB nach Flumroc E205</i>			29.0	0.0			29.0	0.0			29.0	0.0
<i>* L' _{n,w} gem. Fig 13, SIA 181/2006</i>												
Wert für gesamten Aufbau	L' _{n,w} + C _i = 41.0 dB				L' _{n,w} + C _i = 41.0 dB				L' _{n,w} + C _i = 41.0 dB			
Volumen Empfangsraum	V = 35.9 m ³				V = 32.6 m ³				V = 4.4 m ³			
Projektorungszuschlag K _p	K _p = 3.0 dB				K _p = 3.0 dB				K _p = 3.0 dB			
Ermittelter Schallpegel	L' _d = 43.3 dB				L' _d = 43.8 dB				L' _d = 52.4 dB			
Erfüllt	Ja				Ja				Ja			

13.4.3 Variante 4: 16cm – Leitungen sichtbar geführt

Schallschutz SIA-Norm 181 (2020)  Projektkontrolle	S	Schallschutznachweis Innenlärm
--	----------	---

☐ Nur eine Nutzungseinheit: Schallschutznachweis für Innenlärm nicht notwendig

Luftscha

☐ Siehe beiliegenden Schallschutznachweis

Situation	<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>			<i>Trenndecke</i>		
Trennbauteil	<i>Zimmer</i>			<i>Timmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Senderraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Timmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Empfangsraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>			<i>Zimmer</i>			<i>sep. WC</i>		
Nr. / Geschoss									
Grad der Störung	<i>mässig</i>			<i>mässig</i>			<i>mässig</i>		
Lärmempfindlichkeit	<i>mittel</i>			<i>mittel</i>			<i>gering</i>		
Abschlussstüre Ziffer 3.2.2.1	<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB			<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB			<input type="checkbox"/> $R'_w + C \geq$ dB		
Tieffreq. Emi. nachts Ziffer 3.2.2.2	<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht			<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht			<input type="checkbox"/> tieffreq. in der Nacht		
Massgebende Anforderung	$D_i = 52$ dB			$D_i = 52$ dB			$D_i = 47$ dB		
Trennbauteile	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]	S [m ²]	R' _w [dB]	C [dB]
<i>Trenndecke 16 cm * + UB</i>	15.0	65.0	-2.0	13.6	65.0	-2.0	1.8	65.0	-2.0
<i>UB nach Flumroc E205</i>									
<i>* R'_w gem. Fig 11, SIA 181/2006</i>									
S _{res} und (R' _w + C) _{res}	15.0	63.0		13.6	63.0		1.8	63.0	
Volumen Empfangsraum	V = 35.9 m ³			V = 32.6 m ³			V = 4.4 m ³		
Projektionzuschlag K _p	K _p = 2.0 dB			K _p = 2.0 dB			K _p = 2.0 dB		
Ermittelter Schallschutz	D_{i,d} = 59.9 dB			D_{i,d} = 59.9 dB			D_{i,d} = 59.9 dB		
Erfüllt	Ja			Ja			Ja		

Trittschall

☐ Siehe beiliegenden Schallschutznachweis

Situation	<i>Trenndecke</i>				<i>Trenndecke</i>				<i>Trenndecke</i>			
Trennbauteil	<i>Zimmer</i>				<i>Zimmer</i>				<i>sep. WC</i>			
Senderraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>				<i>Zimmer</i>				<i>sep. WC</i>			
Nr. / Geschoss												
Empfangsraum: Bezeichnung	<i>Zimmer</i>				<i>Zimmer</i>				<i>sep. WC</i>			
Nr. / Geschoss												
Grad der Störung	<i>mittel</i>				<i>mittel</i>				<i>gering</i>			
Lärmempfindlichkeit	<i>mittel</i>				<i>mittel</i>				<i>gering</i>			
Spezielle Fälle 3.3.2 ff	<input type="checkbox"/> Umbau <input type="checkbox"/> Balkon				<input type="checkbox"/> Umbau <input type="checkbox"/> Balkon				<input type="checkbox"/> Umbau <input type="checkbox"/> Balkon			
Massgebende Anforderung	L' = 53 dB				L' = 53 dB				L' = 58 dB			
Trennbauteile	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL _w	C _i	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL _w	C _i	d [cm]	L' _{n,w}	ΔL _w	C _i
<i>Trenndecke *</i>	16.0	75.0	-----	0.0	16.0	75.0	-----	0.0	16.0	75.0	-----	0.0
<i>UB nach Flumroc E205</i>			29.0	0.0			29.0	0.0			29.0	0.0
<i>* L'_{n,w} gem. Fig 13, SIA 181/2006</i>												
Wert für gesamten Aufbau	L' _{n,w} + C _i = 46.0 dB				L' _{n,w} + C _i = 46.0 dB				L' _{n,w} + C _i = 46.0 dB			
Volumen Empfangsraum	V = 35.9 m ³				V = 32.6 m ³				V = 4.4 m ³			
Projektionzuschlag K _p	K _p = 3.0 dB				K _p = 3.0 dB				K _p = 3.0 dB			
Ermittelter Schallpegel	L'_d = 48.3 dB				L'_d = 48.8 dB				L'_d = 57.4 dB			
Erfüllt	Ja				Ja				Ja			

Sind 16cm Beton genug?

13.5 Literaturrecherche

ID	Name des Dokuments	Verfasser	Dokumentenform	Inhalt/Problemstellung	Zuordnung	Thema	Rel.	Ergebnisse	Bemerkung
0 (Bsp.)	Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich_BFE_2004.pdf	Bundesamt für Energie Basler und Hofmann AG 2004	Studie	LCA von Komfortlüftungssystemen im Wohnungsbau. Einfluss verschiedener Komponenten und Betriebsparameter.	eingelegt (bzw. Variante in ULB)	Lüftungstechnik, LCA	B	Kap 6.1.4 Einfluss der Verlegungsart (s 30/31) Angaben zu Verlegungsarten Rohre	Achtung Informationen aus dem Jahr 2004; Energieerzeugung mit Erdgas (Bewertung Eco-indicator 99) Ev. für gewisse Variantenbewertungen nützlich
1	Konzeptstudie nachhaltiger Betonbau_Schlussbericht.pdf	CSD INGENIEURE AG, 2019	Studie	Einfluss der Tragkonstruktion auf Nachhaltigkeit (positiv/negativ). Technische Grenzen / Risiken und Auswirkungen auf den Planungs- und Bauprozess sowie die Lebensdauer. Massnahmen und Optimierungsmöglichkeiten mit welchen die Nachhaltigkeit verbessert werden kann.	Alle (v.A. aber Var. eingelegt)	Statik	A	Insb. Kap 9.5 Ingenieurtechnische Kriterien	Div. Hinweise zu Deckenstärken und Optionen in der Ausführung.
2	Zum Tragverhalten von Stahlbetondecken ohne Querkraftbewehrung mit integrierten Leitungsführungen_Diss Thiele.pdf	Catherina Thiele, TU Kaiserslautern, 2010	Dissertation	Querkrafttragverhalten von einachsig gespannten Stahlbetondecken mit integrierten Leitungsführungen. Mittels Traglastversuche an Deckenstreifen mit unterschiedlicher Öffnungsgeometrie, -lage und -gruppierung sowie variierender Deckendicken wird die Reduzierung der Querkrafttragfähigkeit experimentell nachgewiesen.	eingelegt	Statik	A	Kap 9 Zusammenfassung und Ausblick	Ausführliche Untersuchung der Versagensfälle und der Einflüsse. V.A. Fazit der Studie kann für Arbeit relevant sein.
3	Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetondecken mit integrierten Leitungsführungen.pdf	Catherina Thiele, Fraunhofer IRB Verlag, 2007	Studie	Grundlagen für die Bemessung von durch Rohre geschwächten Decken zu schaffen und den Statischen Nachweis mit Hilfe von modifizierten Bemessungsformeln möglich zu machen.	eingelegt	Statik	A	Kap 8 Bemessungsformeln	Abschlussbericht der DBV Forschungsvorhaben DBV 250 und DBV 259; Inhalt ähnlich zu Dissertation Thiele (Teilstudie?)
4	Bochum_Variowohnungen-Endbericht.pdf	C. Schlüter, et. al., Hochschule Bochum, 2020	Studie	Untersuchung der Bauweise/Baukonstruktion der Vorfertigungssysteme Elementierter Rohbau, Bäder und Holztafellemente. Die Analyse der Aspekte Qualität, Flexibilität, Zeit, Kosten und Ökologie.	alle	Baubauablauf	B	4.a_1.1 Elementierter Rohbau (S 21...80)	Vergleich verschiedener Deckensysteme kann für Untersuchung von Interesse sein (Fokus jedoch nicht spezifisch auf Integration der Haustechnik, daher dazu nur wenige Hinweise).
5	04_Paulitsch_Konrad_ZumLeistungsfähigenWohnraum_Masterarbeit.pdf	K. Paulitsch, Technischen Universität Graz, 2017	Masterarbeit	Untersuchung der wichtigsten Kostentreiber im Wohnbau. Bestandsaufnahme der im Umfeld des Wohnbaus entstehenden Kosten. Identifizierung von Einsparungsmöglichkeiten im sozialen Wohnbau.	alle	Kosten, Schallschutz	B	Schallschutz und seine Anforderungen (S 129...139)	V.A. der Vergleich verschiedener Deckensysteme bez. Schallschutz und Kosten von Interesse. Achtung Anforderungen basieren auf in Österreich gültigen Anforderungen!
6	basytube_praxisorientierte_Lösungsansätze.pdf	Lenz Voneschen und Partner AG, 2014	Kurzstudie	Rohre und Einlagen in Decken und Wänden; Problematik und praxisorientierte Lösungsansätze.	eingelegt	Statik	B	Hinweise zur Auslegung	Hinweise zur Auslegung und Lösungsansätze aus Sicht Statik. Bezug für Schweiz vorhanden!
7	Einlagen_in_Betondecken_BASYS_AG.pdf	André Robert, BASYS AG, 2015	Präsentation	Einlagen in Betondecken Problemanalyse und technische Möglichkeiten	eingelegt	Einlagen HT	B	Hinweise zur Auslegung	Interessante Hinweise insbesondere zu Hintergründen aus stat. Sicht sowie zugrundeliegende Vorschriften / Normen; Lösungsansätze (der Firma Basys)
8	Merkblatt-Einlagen-1.pdf	Kielholz + Partner AG, 2016	Merkblatt	Einlagen in Betondecken; Merkblatt mit Planungshinweisen	eingelegt	Einlagen HT	B	Hinweise zur Planung	Einfache Hinweise (Faustformeln) für Planung von Einlagen.
9	Schallschutz im Wohnungsbau_Endbericht.pdf	J. Lang, TU Wien, 2006	Studie	Schallschutz im Wohnungsbau	allgemein	Schallschutz	A	4.1 Wohngebäude in Massivbau	Vergleich verschiedener Aufbauten und Übertragungswege (Kap 4.1) aber auch Anforderungen allgemein in div. Ländern (Kap. 2) und der Kosten des verbesserten Schallschutzes (Kap 5).
10	191210_Schlussbericht Studie Lüftungskonzepte Siedlung Klee_17.019-S.pdf	K. Knecht, D. Sigrist, s3 GmbH, 2019	Studie	Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie sowie Befragung der Bewohner	eingelegt	LCA, Kosten, Anderes	A	1.4. Die beiden unterschiedlichen Lüftungskonzepte; 3.2. Rohbau: Mehrverbrauch Stahlbeton	Vergleichsgebäude hat keine Luftverteilungen (nur Badabluft). Bei Interpretation Deckenstärke muss beachtet werden, dass bei den eingelegten Lüftungsleitungen Kreuzungen vorhanden sind (planerisch ungünstig). Hinweis: Bericht was von selten Minerale sehr umstritten (Vorwurf eines nicht korrekten Vergleichs).

Sind 16cm Beton genug?

11	https://www.ikz.de/detail/news/detail/die-lueftungstechnik-in-der-raumgestaltung-anmerkungen-zur-sichtbaren-integration-lueftungstechnisch/	IKZ Gebäude und Energietechnik	Artikel	Ausführungsqualität ist bei sichtbaren Lüftungsinstallationen höher. Kritik an Unterputzinstallationen. Forderung für integralen Planungsansatz	mehrere Varianten	Akustik, Nachhaltigkeit	C		rein qualitativ. Bericht fordert ein Umdenken in der Lüftungsverlegung.
12	Systemair_Planungs-_und_Montageanleitung_de	SystemAir	Brochure	Einbauarten und Montageanleitung von Lüftungsleitungen vom Hersteller (Planungshilfe)	alle	Lüftungstechnik	B	offen wird im Wohnbereich nicht als Option gegeben, eher im Keller, etc.	ähnliche Brochure auch von Zehnder (weniger detailliert)
13	Brandschutzrichtlinie_BSPUB-1394520214-121.pdf	Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen	Norm	Brandschutzanforderungen von Lüftungssystemen	alle	Brandschutz	B	Dürfen nicht in allen Fällen offen durch mehrere Zimmer geführt werden ohne spezielle Massnahmen.	Vor allem wichtig bei Fluchtwegen; Brandabschnitte
14	Hörl&Hartmann_Schallschutz_2016.pdf	Hörl&Hartmann	PowerPoint	Deckenstärken zum erhöhten Schallschutz nach DIN EN ISO 140-14:2004-11	nicht zuordenbar	Akustik	A	Deckenstärke mit 20-22 cm erfüllen den Schallschutz	keine Deckenstärken < 20cm gemessen
15	Koliha Markus - 2016 - Leitfaden zur Wahl der optimalen Deckenkonstruktion.pdf	TU Wien; Markus Koliha	Masterarbeit	Vergleich der vorhandenen Deckensystemen	nicht zuordenbar	mehrere	B	hohe Wärmeleitfähigkeit für Betondecke; günstig, aber lange Bauzeit	Deckenstärke von 23cm Beton
16	10.1515_9783990431160.pdf	Anton Pech	Buch; Baukonstruktionen Band 5	Deckensysteme und deren Eigenschaften	nicht zuordenbar	Akustik (s.35), Statik	B	Auf s.35 sind die R _w zu verschiedenen Deckenstärken angegeben. Beginnt mit 18cm → 64-66 dB je nach Aufbau	Berechnung für Statik kompliziert. Braucht viele Konstanten von ÖNORM EN 1992-1-1; "Höhere Flächengewichte ergeben höhere Dämmwerte, so hat beispielsweise eine massive Stahlbetondecke von 18 cm Dicke (Flächengewicht ~420 kg/m ²) ein bewertetes Schalldämm-Maß R _w von ca. 58 dB und erfüllt damit die Normanforderung für Decken zwischen Wohneinheiten." (S.11)
17	https://www.fg-vmm.com/bemessung/vmm-decken-bemessung.htm	Forschungsgesellschaft VMM-Spannbetonplatten GbR	Online-Berechnungstool	Deckenstärke anhand der Spannweite berechnen.	nicht zuordenbar	Statik	B	Spannbetondecke hat längslaufende Löcher durch die Betondecke (der Spannweite entlang)	Es reichen deutlich dünnere Deckenstärken. Welche Decke ist wohl stabiler, diese oder Stahlbetondecke?
18	bfaui.pdf	T.Lüttgen (Dipl.-Ing. Konstruktiver Ingenieurbau)	Leitfaden	Abschätzung der Deckenstärke	nicht zuordenbar	Statik	B	Kommt immer auf kürzere Länge des Zimmers an. Liste für Deckenstärke nach Stützweite	Rechenbeispiel kommt auf 16 cm
19	https://viewfloor.co/reinforced-concrete-floor-slab-thickness/	Viewfloor.co	Zusammenstellung	Abschätzung der Deckenstärke	nicht zuordenbar	Statik	B	Bild von ACI 318, Table 9.5(a) → je nach Aufbaueart und Stahl verschiedene Dicken	16 cm sind ca. 3,20m Spannweite
20	these-2.pdf	HSLU	Zusammenfassung	Abschätzung der Deckenstärke	nicht zuordenbar	Statik	B	Fausformel zum abschätzen. 6m Spannweite, zwischen 12-18cm	
21	11.3_Dach-_und_Deckenplatten_Stahlbeton-Vollplatten_oder_Elementdecken_GH_2021_S_108.pdf	FDB-Fertigteilebau.de	Produktdoke	Abschätzung der Deckenstärke	nicht zuordenbar	Statik	B	Tabelle für Deckenstärke nach Spannweite und kN/m ²	Macht es einen Unterschied ob Betonfertigteile oder Ortsbeton? Sind Stahlbeton-Vollplatten
22	https://www.schweizer-fn.de/stoff/akustik/schalldaemm-mass_decke.php	Schweizer FN	Tabelle	Schalldämm Mass aufgrund der Dicke	nicht zuordenbar	Akustik	B	Tabelle für R _w nach Dicke	mit 15 cm 57dB
23	trittschall_Teil5-neu.pdf	Egbert Müller (IBF)	Artikel	Trittschalldämmung von Fussbodenkonstruktionen (1992)	nicht zuordenbar	Akustik	B	erhöhter Schallschutz bei 18 cm gewährleistet nach DIN 4109-2. Normaler Schallschutz 12cm	Anforderungen möglicherweise erhöht worden seit 1992. Abhängende verbessert Trittschall. Such Trittschalldämmplatten
24	Bericht_Hybridfassaden_Endbericht.pdf	TUM ; Holzbau und Baukonstruktion	Studie	Vorgefertigte, integrale Fassadenelemente in Holzbauweise zur Anwendung im Neubauelement Stahlbetonhochbauwerke	nicht zuordenbar		B	Verschiedene Beispiele mit Deckenaufbau	Steht leider nichts über Lüftungsverlegung
25	https://www.selfio.de/selfio-baut-ein-haus/lueftung/	Sofio	Bau-Anleitung	Verlegung der Lüftungsleitungen bei EFH mit Filigrandecke	nicht zuordenbar	Anderes	C	Eingelegt	Loch bereits in Deckenelement vorgefertigt

Sind 16cm Beton genug?

13.6 Fallbeispiele

13.6.1 SonnenparkPlus, Wetzikon



Abbildung 1: Aussenperspektive des SonnenparkPlus in Wetzikon.

Baujahr	2018
Typ der Verlegung	Wohnungslüftungsleitungen eingelegt
Betonstärke Decke	26 cm
Schallschutz	Keine Angaben
Lüftungssystem	Wohnungsweise, dezentral
Beschreibung	PE, 90 mm Ø _a innen glattwandig
Quellen / Weblinks	spitalstrasse_schema-lueftung.pdf
Einschätzung	Das Mehrfamilienhaus wurde im Minergie-P-Standard konzipiert. Dach und Fassade enthalten PV-Module, welche in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugen als für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom benötigt wird. Die sehr gute Gebäudehülle besteht u.a. aus Lehm und Holz, was sich positiv auf die graue Energiebilanz des Gebäudes auswirkt. Auch die Regenwassernutzung und ein gratis Elektroauto-Carsharing gehören zum nachhaltigen Konzept. Monitoring von Energieverbrauch in Kombination mit Automatisierung wird zu Testzwecken durchgeführt.
Bemerkung	Beispiel für den Standard von eingelegter Gebäudetechnik in Decken in energieeffizienten Gebäuden.

Sind 16cm Beton genug?

Lüftung (Wärmedämmung)

Art der Luft- leitung	Dämmdicke je nach Lage der Leitung		
	Innerhalb der thermischen Gebäudehülle	in allseitig geschlossenem Raum ausserhalb der th. Gebäudehülle	in nicht allseitig geschlossenem Raum oder im Freien
AUL oder FOL	100 mm (60mm)*	30 mm	0 mm
ZUL oder ABL	Je nach Δt zwischen Medium und Umgebung im Auslegungsfall ** :	60 mm	100 mm
	< 5 K 0 mm		
	≥ 5 bis < 10 K 30 mm		

* der Wert von 60mm gilt für Anlagen mit Erdreich-Wärmeübertrager oder anderer Luftvorwärmung vor der WRG.

** Passivhaus-Luftheizung innerhalb therm. Gebäudehülle ausgenommen, Zuluft generell 20 mm, Abluft 0 mm.

Lüftung (Brandschutz)

Klasse	Kanäle *	Rohre **
EI 30	20 + 30 = 50mm	50 mm
EI 60	30 + 40 = 70 mm	100 mm
EI 90	50 + 50 = 100 mm	120 mm

* z.B. mit Flumroc FPI 700

** z.B. mit Flumroc FMI 500

Tabellen 1 und 2: Lüftungsdetails der Anlage SonnenparkPlus.

Sind 16cm Beton genug?

13.6.2 Passivhaus, Gerlingen



Abbildung 2: Rückseitige Fassade des Passivhauses in Gerlingen.

Baujahr	2011
Typ der Verlegung	Wohnungslüftungsleitungen eingelegt
Betonstärke Decke	22 cm
Schallschutz	Keine Angaben
Lüftungssystem	Wohnungsweise, Lüftungsanlage mit Solewärmetauschern
Beschreibung	Das dreigeschossige Mehrfamilienhaus wurde im Passivhausstandard errichtet. Warmwasser- und Raumheizung werden über einen zentralen Gasbrennwertkessel und Heizkörper realisiert. Die Zuluft gelangt mittels Erdreich-Wärmetauscher und zentralem Filter in die einzelnen Wohnungen, welche über separate Lüftungsanlagen verfügen. Die Absaugung der Abluft erfolgt in den Feuchträumen. Die Trägereisen auf der Betonplatte haben einen Abstand von 90mm. Zwischen der Bewehrung werden 75mm HDPE Rohre eingelegt (eingeschoben und vergossen).
Quellen / Weblinks	Passivhaus Datenbank passivhaus_Haspel_Haspel_Gerlingen-ID-2374.pdf
Bemerkung	Trotz Einlegen wird eine vergleichsweise reduzierte Deckenstärke durch 75mm Lüftungsrohren ermöglicht.

Sind 16cm Beton genug?

13.6.3 Winzerhalde, Zürich-Höngg



Abbildung 3: Aussenperspektive der Winzerhalde.

Baujahr	2016
Typ der Verlegung	Wohnungslüftungsleitungen eingelegt
Betonstärke Decke	25 cm
Schallschutz	Keine Angaben
Lüftungssystem	Kontrollierte Einzelwohnraumlüftung
Beschreibung	Die Winzerhalde ist eine Verdichtung als Ersatzneubau von Theo Hotz Partner Architekten mit Minergie-P-Eco Standard. In den 67 Mietwohnungen sind alle Leitungen eingelegt. Sowohl die Warmwasserbereitung als auch der Betrieb der Fußbodenheizung wird über den Plattentauscher und die nachgeschalteten Wärmepumpen bewerkstelligt.
Quellen / Weblinks	World of PORR 168/2016
Bemerkung	Verbesserung der Ökobilanz durch Verwendung von 90% Recycling-Beton.

Sind 16cm Beton genug?

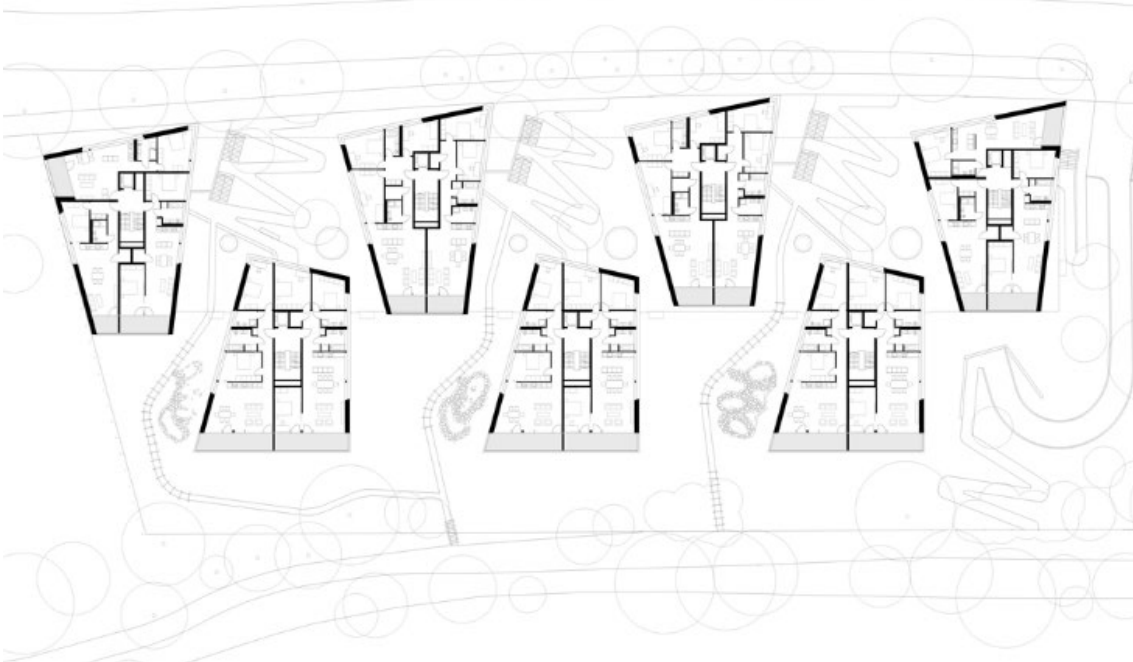


Abbildung 4 (oben): Innenraum mit Fensteranschluss: Wenig Raumverlust (li.) und fixe Lampenstelle durch eingelegte Elektroleitungen in der Decke.

Abbildung 5 (unten): Grundrisse des Areals Winzerhalde

Sind 16cm Beton genug?

13.6.4 Wohnhaus Rautihalde, Zürich



Abbildung 6: Esszimmer der Rautihalde: Maximale Raumhöhe wird generiert.

Baujahr

Typ der Verlegung

Eingelegt in Randbereich der Zimmerdecken
(im zentralen Wohnraum geringere Deckenstärke, siehe Abb. 8)

Betonstärke Decke

16 cm in der Hauptzone, 31 cm im Randbereich

Schallschutz

Keine Angaben

Lüftungssystem

Keine Angaben

Beschreibung

Der Wohnungsbau ersetzt einen Zeilenbau aus den fünfziger Jahren. 33 Wohnungen und drei Einzelzimmer bieten trotz kompakten Wohnungsvolumina nutzungsflexible Grundrisslösungen. Möglich ist das Deckenrelief durch die strikte Konzentration der haustechnischen Leitungen am Aussenbereich der Decke, was in Bereichen ohne Einlagen eine minimierte Rohdeckenstärke von nur 16 cm und dementsprechend mehr Raumhöhe ermöglicht. Die Fassade besteht aus 49cm dickem Einsteinmauerwerk und die allesamt tragend ausgebildeten Innenwände aus 12cm dickem Ziegelsteinmauerwerk. Rund drei Viertel der Betondecken des Gebäudes sind nur 16cm dick; im Bereich der Nebenräume ermöglichen 31cm dicke Decken die Aufnahme von Lüftungs- und Sanitärinstallationen.

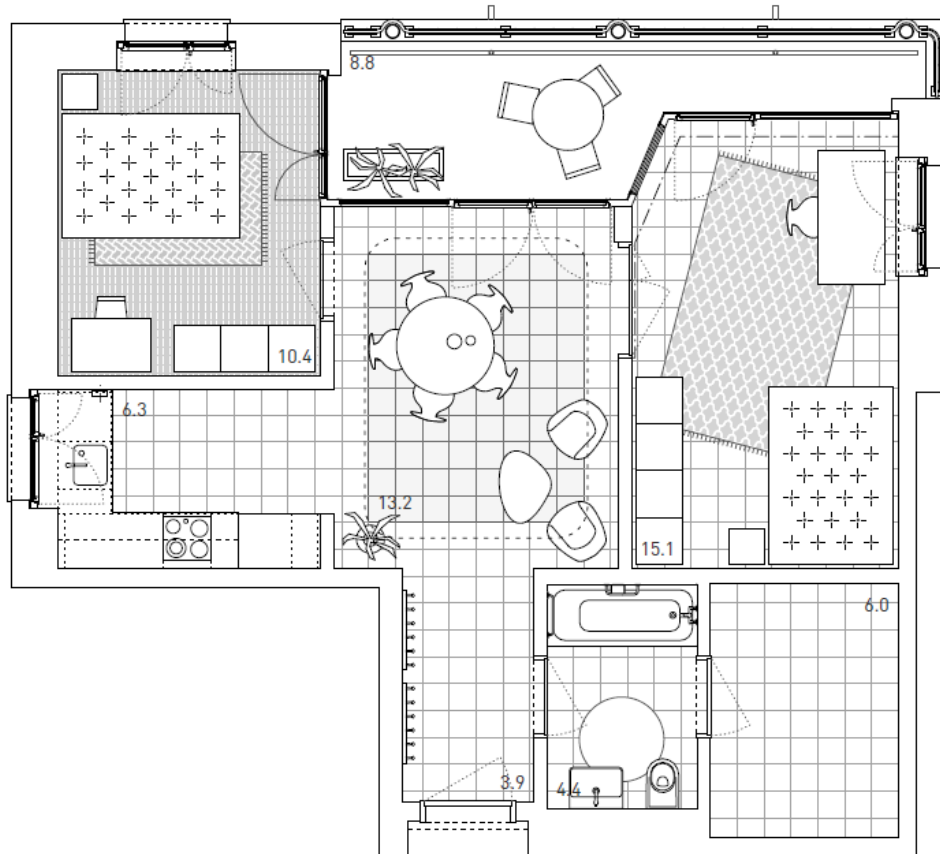
Quellen / Weblinks

468471efbe3e9b049b461557e395d267.pdf

Bemerkung

Interessante Lösung für partielles Einlegen zur Betonreduktion.

Sind 16cm Beton genug?



Abbildungen 7, 8: Wohnungsgrundriss (oben) und Fassade der Rautihalle (unten.).

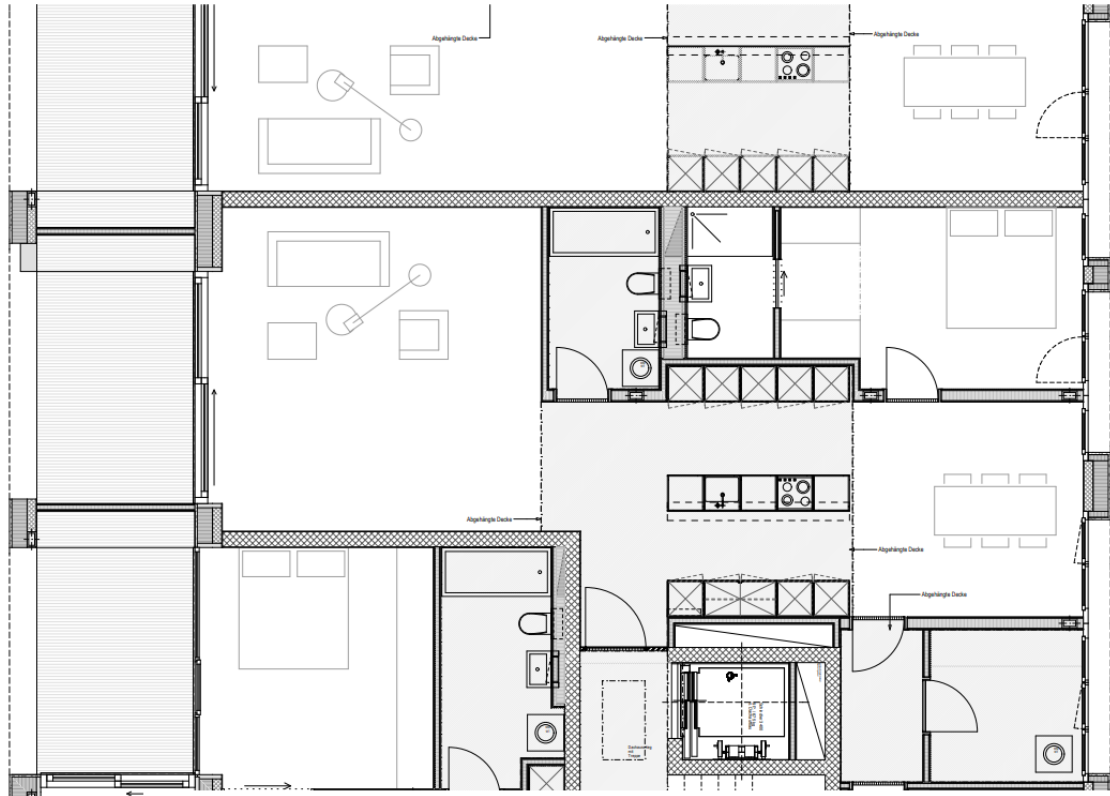
13.6.5 Grossmatte, Littau (Luzern)



Abbildung 9: Gewerbe mit Wohnungsbau kombiniert in der Grossmatte.

Baujahr	2018
Typ der Verlegung	Zentral abgehängte Decke
Betonstärke Decke	Im Normalfall 22 cm zwischen den Wohnungen, vereinzelt 30 cm und 34 cm
Schallschutz	erhöhte Anforderungen angestrebt
Lüftungssystem	kontrollierte Wohnungslüftung in heruntergehängter Decke
Beschreibung	<p>Im Luzerner Stadtteil Littau wurde mit DEON Architekten ein 2000-Watt-Areal errichtet, in welchem auf bis zu sieben Geschossen 164 1,5-4,5-Zimmer Wohnungen realisiert wurden. Die 800m² grosse PV-Anlage auf dem Dach deckt einen Grossteil der Stromerzeugung; Warmwasser und Heizung werden aus dem Fernwärmenetz gespeist. Mietende können ihren Energieverbrauch via App verfolgen und demnach anpassen.</p>
Quellen / Weblinks	<p>www.deonag.ch/home/projekte-chronologisch/2018-gross-matte-luzern-littau/</p> <p>Ziegler, M.: Der neue Littauer Vozeigebau, NLZ vom 11.6.2018</p>
Bemerkung	<p>Abhängen der Decken in Service-Räumen (Nasszellen und Küchen) im zentralen Bereich der Wohnung ist Teil des Konzepts, welches dort die Konzentration der Gebäudetechnikverteilung vorsieht. Dadurch wird die Raumhöhe in den Wohn- und Schlafzimmern optimiert.</p>

Sind 16cm Beton genug?



Abbildungen 10, 11: Wohnungsgrundriss (oben) und Innenraumansicht in der Grossmatte. Die Zone mit abgehängter Decke ist im Grundriss grau angelegt.

Sind 16cm Beton genug?

13.6.6 Passivhaus, Freiburg (DE)



Abbildung 12: Passivhaus in der Haslacher Strasse.

Baujahr	2012
Typ der Verlegung	Lüftung in abgehängter Decke im Gangbereich und Nasszellen.
Betonstärke Decke	20 cm
Schallschutz	Keine Angaben
Lüftungssystem	Vier Lüftungszentralen (UG), Treppenhäuser zusätzlich mit dezentralen Lüftungsgeräten versorgt
Beschreibung	Das Passivhaus umfasst 54 Wohneinheiten auf bis zu fünf Geschossen, welche zu grossen Teilen sozialem Wohnungsbau zuzuordnen sind. Die mehrheitlich kleinen Wohneinheiten bewirken einen hohen Luftwechsel mit gesteigerten Lüftungswärmeverlusten. Zur Kompensation wurde eine besonders effiziente Wärmerückgewinnung notwendig. Das Passivhaus wurde mit hohen Schallschutzanforderungen konzipiert. Der Passivhausstandard erfolgte u.a. durch eine thermische Entkopplung der Loggiaplatten.
Quellen / Weblinks	Passivhaus Datenbank
Bemerkung	Deckenstärke von 20cm trotz Passivhausstandard, hohen Schallschutzanforderungen und geringem Baubudget.

Sind 16cm Beton genug?

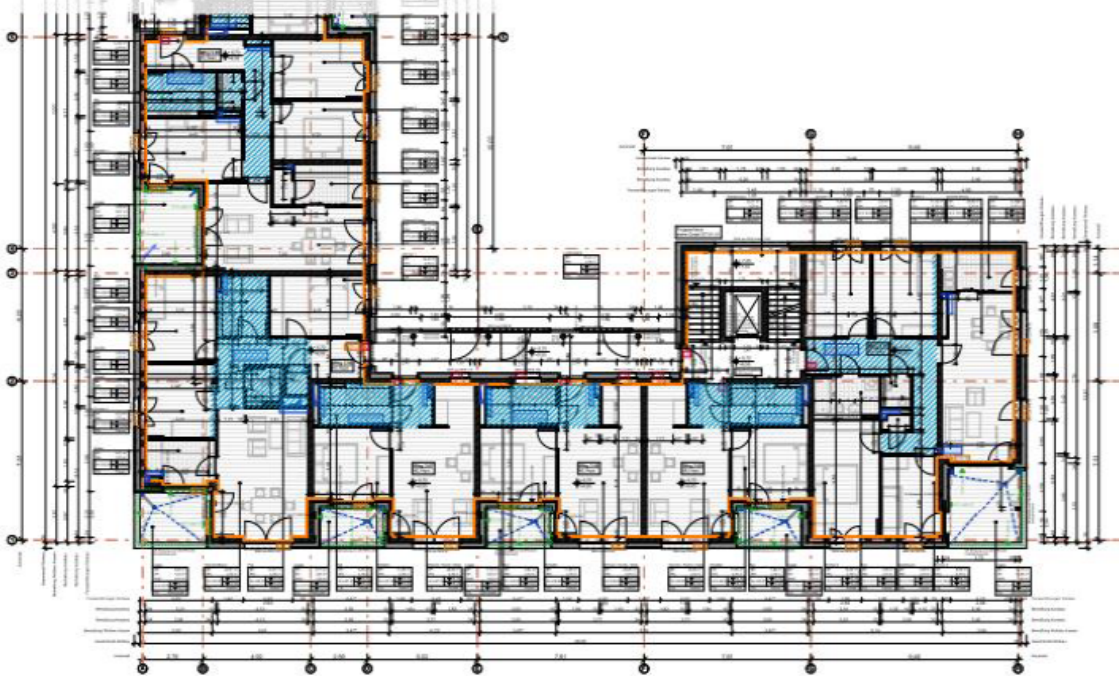


Abbildung 13, 14: Loggien (unten) und Grundriss (oben) mit luftdichter Hülle (orange) und abgehängten Decken (blau)

Sind 16cm Beton genug?

13.6.7 Burgunder, Bern



Abbildung 15: Rückseitige Fassade des Gebäudes.

Baujahr	2010
Typ der Verlegung	offen
Betonstärke Decke	22 cm
Schallschutz	Keine Angaben
Lüftungssystem	zentral
Beschreibung	In der Wohnsiedlung Burgunder wurde mit minimalen Luftmengen und einem zentralen Monoblock pro Gebäude geplant. Die Luftwechselrate liegt in den Wohnungen bei 0.5 bis 1 pro Stunde. Somit beträgt die Luftmenge beispielsweise für alle Wohnungen des Hauses A insgesamt 3000 m ³ pro Stunde mit einer Temperatur von 20°C. Die Aussenluft wird in einer drei Meter hohen Luftfassung aufgenommen und über ein erdverlegtes Rohr in die Zentrale geführt. Im Monoblock wird die Luft anschliessend gefiltert und mit Wärmerückgewinnung vorgewärmt. Im Winter wird bei Bedarf die Zuluft nachgewärmt; dazu dient ein direkter hydraulischer Anschluss an die Versorgung der Bodenheizung.
Quellen / Weblinks	5_Burgunder_Buergi_190328_freigegeben.pdf 2010_Wohnsiedlung_Burgunder_Statusseminar.pdf Burgunder_Schlussbericht_130621.pdf
Bemerkung	Beispiel für einen Wohnungsbau mit teilweise offener Lüftungsleitungsführung.

The floor plan illustrates a three-story building with a mechanical ventilation and heat recovery (MVHR) system. The plan shows three residential units, each with a living area (Wohnen/Essen) and bedrooms (Zimmer). Air flow rates are indicated in m³/h: 40 m³/h for bedrooms, 40 m³/h for living areas, and 120 m³/h for the ground floor. A central staircase (Treppe) is also shown.

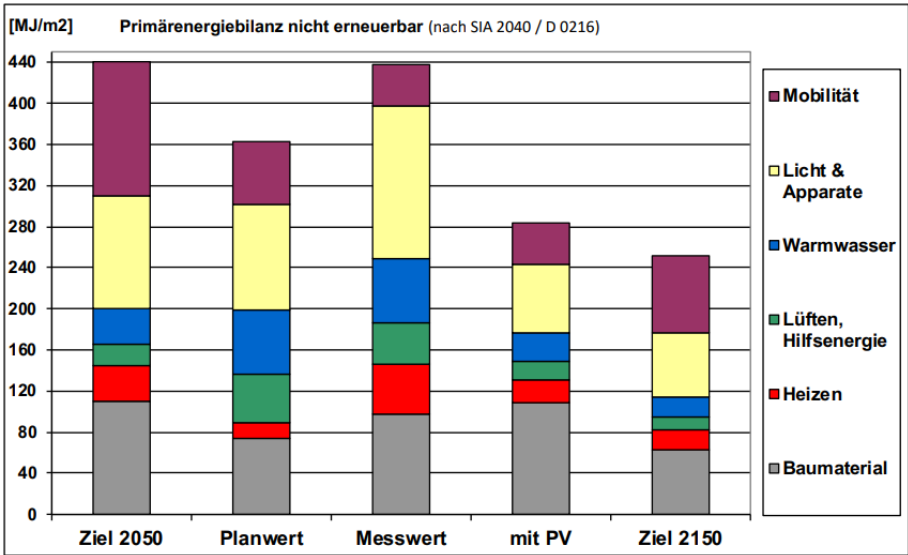
Room Labels and Air Flow Rates:

- Zimmer (Bedrooms):** 40 m³/h
- Wohnen Essen (Living/Dining):** 40 m³/h
- Überstr. (Overhead):** 40 m³/h
- Treppe (Staircase):** 40 m³/h
- ZUL/ABL (Supply/Exhaust):** 120 m³/h (Ground Floor), 80 m³/h (Upper Floors)

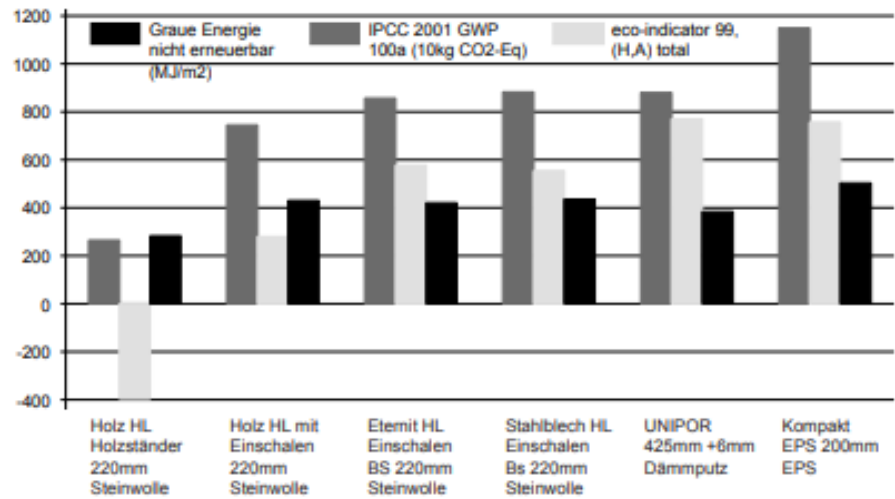
The plan also includes a central staircase (Treppe) and a central ventilation unit (ZUL/ABL) located in the middle of the building.

Abbildung 18: Grundriss der Obergeschosse im Burgunder.

Sind 16cm Beton genug?



Grafik 1: Primärenergiebilanz des Burgunders im Vergleich zu angestrebten Zielen der Regierung.



Tab. 3. Ökobilanz von Fassadensystemen mit gleichem Dämmwert

Grafik 2: Verschiedene Fassadensysteme im Vergleich zur Evaluierung der Grauen Energie des Burgunders.

Sind 16cm Beton genug?

13.6.8 Arborea, Bern



Abbildung 19: Holz-Beton Hybridbau Arborea in Bern.

Baujahr	2016
Typ der Verlegung	offen
Deckenstärke	29cm Holz-Beton-Verbund mit sichtbarer Brettstapelkonstruktion 14cm, Überbeton 15 cm
Schallschutz	erhöhte Anforderungen angestrebt
Lüftungssystem	zentral
Beschreibung	Das Arborea ist ein Wohngebäude in Holz-Bauweise mit Holz-Beton-Hybrid-Tragwerk von Halle 58 Architekten mit Minergie-P-Eco Standard. Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt durch Pelletöfen in Kombination mit Fotovoltaik. Zum Gebäudetechnikkonzept gehören zudem individuell steuerbare Lüftungselemente mit Enthalpietauscher.
Quellen / Weblinks	www.baudokumentation.ch
Bemerkung	Kann als Beispiel für alternative Deckenkonstruktionen zur Betonuntersicht in Kombination mit einer sichtbaren Leitungsführung dienen.

Sind 16cm Beton genug?



Abbildung 20, 21: Beispiele für offene Führung von Lüftungsleitungen in den Arborea-Wohnungen



Abbildung 22: Grundriss Regelgeschoss des Arborea-Gebäudes.

13.6.9 Patch 22, Amsterdam



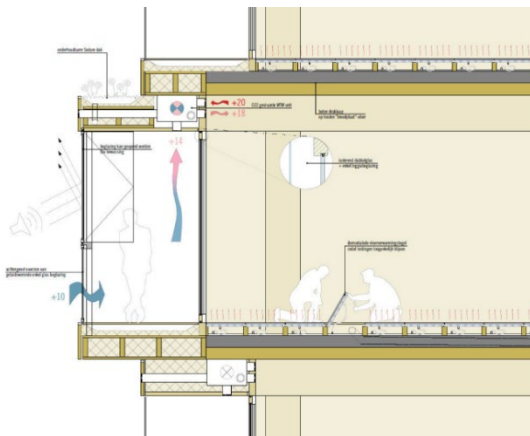
Abbildung 23: Aussenansicht des Gebäudes Patch 22.

Baujahr	2016
Typ der Verlegung	Elektro- und Lüftungsleitungen grösstenteils sichtbar. Flexible Sanitär-, Heizung-, Elektroverteilung zugänglich in Hohlraumböden.
Deckenstärke	Stahl/Holz/Beton-Verbunddecke, 40cm inkl. Hohlraumboden.
Schallschutz	Keine Angaben
Lüftungssystem	Lüftungsanlagen mit WRG, offen geführt
Beschreibung	<p>Das siebengeschossige Nullenergiegebäude bündelt Erschliessung und Versorgungsleitungen in einem Erschließungskern aus zweischaligen Betonwänden. Die Geschossdecke besteht aus vorgefertigten Trockenbauelementen (9mx2,5m), die in das Tragwerk eingehängt werden: Es wurden Stahlträger verwendet, die im Werk auf 7 cm dicke Betonfertigteileplatten montiert und anschliessend mit Anhydridestrich vergossen wurden. Wände, Stützen und Balken bestehen aus Holz.</p> <p>Sanitär-, Elektro- und Heizungshauptinstallationen sind im Hohlraumboden verlegt (flexible Grundrissgestaltung). Revisionsklappen ermöglichen den Zugang zu Wartungszwecken. Ein zentraler Pelletofen erzeugt die Wärme, die über eine Fußbodenheizung in den Wohnungen verteilt wird. Der Brennstoff aus Restholzpresslingen verbrennt CO₂-neutral. Eine PV-Anlage und Regenwassernutzung sind Teil des Konzepts.</p>
Quellen / Weblinks	<p>www.baunetzwissen.de/heizung/objekte/wohnen-mfh/wohnhochhaus-patch-22-in-amsterdam-5010083</p> <p>www.dach-holzbau.de/artikel/bhw_2017-06_Sechs_Geschosse_aus_Holz_in_Amsterdam_2836568.html</p>
Bemerkung	Galt einst als erstes Holzhochhaus in den Niederlanden. Es dient als Beispiel im Umgang mit systemgetrennter Gebäudetechnikplanung und sichtbarer Leitungsführung.

Sind 16cm Beton genug?

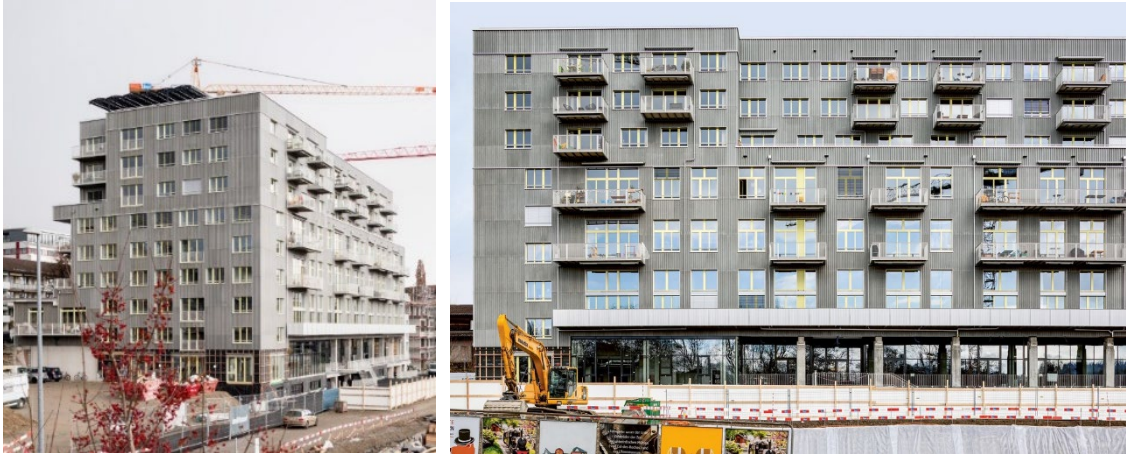


Abbildungen 24, 25: Innenräume des Patch 22.



Abbildungen 26, 27: Schemaschnitt und Darstellung zum Hohlraumboden des Patch 22.

13.6.10 Holligerhof 8, Bern



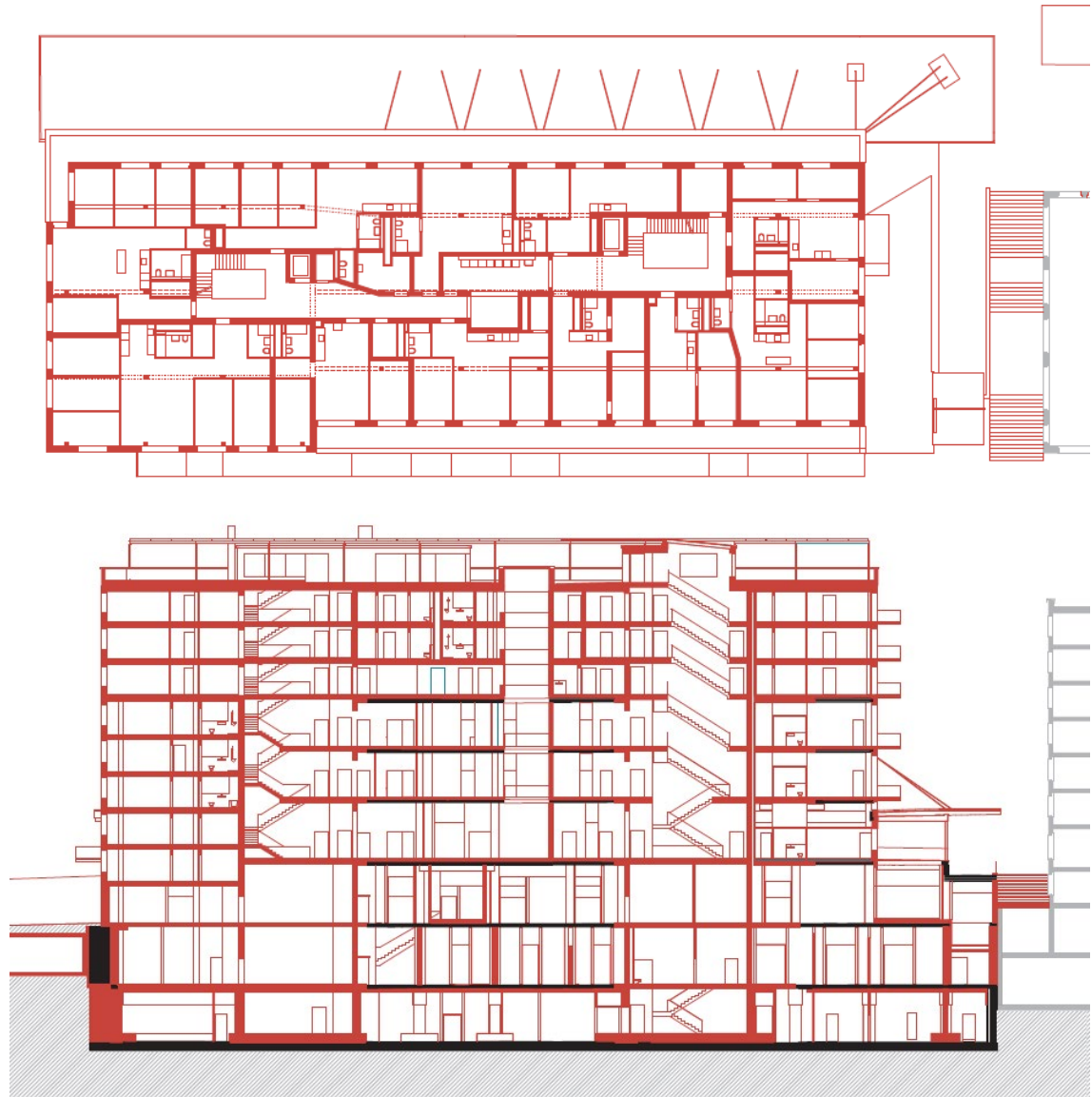
Abbildungen 28, 29: Aussenansichten Holligerhof 8.

Baujahr	2021
Typ der Verlegung	Grösstenteils offene Gebäudetechnikführung
Deckenstärke	Unterschiedlich (18 cm bis 26 cm), teilweise bestehend
Schallschutz	Mindestanforderungen
Lüftungssystem	Mechanische Lüftung wo nötig eingebaut in sichtbarer Ausführung
Beschreibung	<p>Das Wohn- und Gewerbegebäude auf der Parzelle der früheren Kehrlichtverbrennungsanlage bietet genossenschaftlichen Wohnraum für 600 Menschen in und auf einem ehemaligen Lagergebäude. Möglichst viel des bestehenden Betonskelettbaus und der Baustruktur wurde erhalten. Ein dreigeschossiger Holzskelettbau wurde daraufgesetzt. Die Räume leben von der zufällig wirkenden Überlagerung von Bestand und Eingriffen. Graffiti aus der Zeit, als das Lagerhaus leer stand und als Atelierhaus genutzt wurde, blieben erhalten. Der Altbau ist an vielen Stellen samt Patina noch direkt erlebbar. Die Materialcollage funktioniert und signalisiert: Das Haus steht den Bewohner*innen zur Aneignung offen. Sichtbar geführte Gebäudetechnikleitungen dienen als Ornament der Deckenfelder. Die Installationen werden grundsätzlich Auf-Putz geführt.</p>
Quellen / Weblinks	https://www.baudokumentation.ch/projekt/holligerhof/908104
Bemerkung	Beispiel für Wohnungsbau mit offener Leitungsführung als Ergebnis der konsequenten Systemtrennung im Umgang mit bestehender Bausubstanz.



Abbildungen 30, 31, 32, 33, 34: Holligerhof 8.
Innenansichten mit Beispielen zu sichtbar geführten
Gebäudetechnikleitungen (Lüftung und Elektro)

Sind 16cm Beton genug?



Abbildungen 35, 36: Regelgrundriss Obergeschosse und Längsschnitt Holligerhof 8.

Stadt Zürich
Hochbaudepartement
Amt für Hochbauten
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik
Postfach
8021 Zürich
T+ 41 44 412 11 11
stadt-zuerich.ch/egt