



**Universität
Zürich** ^{UZH}

Abschlussarbeit

zur Erlangung des
Master of Advanced Studies in Real Estate

Eine Betrachtung der Lebenszykluskosten von modularen Schulbauten im Vergleich zu konventionellen Lösungsansätzen

Verfasser: Andreas Wyss
andreas.wy@bluewin.ch

Eingereicht bei: Dr. Fabian Wildenauer MRICS

Abgabedatum: 03.09.2018

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Executive Summary.....	VII
1. Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage und Herausforderungen	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung des Themas	3
1.3 Vorgehen und Methodik	4
2. Theoretische Grundlagen.....	7
2.1 Public Real Estate Management.....	7
2.2 Lebenszykluskosten	8
2.2.1 Definition der Lebenszykluskosten in der Schweiz.....	8
2.2.2 Verfahren der Lebenszykluskostenberechnung.....	9
2.2.3 Berechnungsparameter und Kostendefinition.....	10
2.2.4 Arten der Lebenszykluskostenermittlung	12
2.3 Die modulare Bauweise	13
2.3.1 Geschichte der modularen Bauweise.....	13
2.3.2 Unterschiede zwischen der modularen- und konventionellen Bauweise....	15
2.4 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen	19
3. Lebenszykluskostenermittlung langfristige Nutzung	20
3.1 Methode und Berechnungsparameter.....	20
3.2 Planungsgrundlagen	22
3.2.1 Baubeschrieb.....	22
3.2.2 Raum- und Funktionsprogramm.....	23
3.2.3 Terminrahmen.....	24
3.3 Erstellungskosten	27
3.4 Verwaltungs- und Betriebskosten	30
3.5 Kosten für Miete und Pacht.....	32
3.6 Instandsetzungs- und Erneuerungskosten	32
3.7 Kosten am Ende des Lebenszyklus	34
3.8 Ergebnisse und Analysen	34
3.8.1 Langfristige Nutzungsdauer (60 Jahre).....	34
3.8.2 Plausibilisierung	36

4. Lebenszykluskostenermittlung kurzfristige Nutzung	38
4.1 Erstellungskosten und Kosten für den Standortwechsel	39
4.2 Verwaltungs- und Betriebskosten	40
4.3 Kosten für Miete und Pacht.....	41
4.4 Instandsetzungs- und Erneuerungskosten	42
4.5 Kosten am Ende des Lebenszyklus	42
4.6 Opportunitätskosten	42
4.7 Ergebnisse und Analysen	43
4.7.1 Kurzfristige Nutzungsdauer ohne Standortwechsel.....	43
4.7.2 Kurzfristige Nutzungsdauer mit Standortwechsel	44
4.7.3 Fazit kurzfristige Nutzungsdauer.....	45
5. Schlussbetrachtung	46
5.1 Fazit.....	46
5.2 Diskussion	48
5.2.1 Langfristige Nutzungsdauer.....	48
5.2.2 Kurzfristige Nutzungsdauer.....	51
5.2.3 Schule der Zukunft	52
5.3 Ausblick	52
Literaturverzeichnis	54
Anhang	59

Abkürzungsverzeichnis

AIA	American Institute of Architects
AMEV	Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen
BFS	Bundesamt für Statistik
BKP	Baukostenplan
BS	Basisstufe (Kindergarten und das 1. und 2. Schuljahr der Primarstufe)
BVE	Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
CREM	Corporate Real Estate Management
DIN	Deutsches Institut für Normung
DPF	Denkmalpflege (Stadt Bern)
eBKP-H	Baukostenplan Hochbau
ESTV	Eidgenössische Steuerverwaltung
FF	Funktionsfläche
GEFMA	German Facility Management Association
HBK	Heiz- und Betriebskosten
HNF	Hauptnutzfläche
HSB	Hochbau Stadt Bern
IFMA	International Facility Management Association
ISB	Immobilien Stadt Bern
ISO	International Organization for Standardization
kWh/m ² a	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr
LIK	Landesindex der Konsumentenpreise
LzK	Lebenszykluskosten
MKZ	Minergie-Kennzahl (Gesamtenergiebedarf für den Betrieb des Gebäudes)
NF	Nutzfläche
PREM	Public Real Estate Management
REIM	Real Estate Investment Management
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SN	Schweizer Norm
SNB	Schweizerische Nationalbank
STEK	Stadtentwicklungskonzept (Stadt Bern)
TU	Totalunternehmer
VS	Volksschule

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen.....	5
Abbildung 2: Umfang der Lebenszykluskosten aus schweizerischer Sicht.....	8
Abbildung 3: Arten der Lebenszykluskostenermittlung	12
Abbildung 4: „Maison à portiques“ von Jean Prouvé.....	13
Abbildung 5: Schulpavillons Brünen, Stadt Bern.....	14
Abbildung 6: Zeitersparnis der modularen Bauweise.....	17
Abbildung 7: Massivbau Erdgeschoss, Massstab 1:300	24
Abbildung 8: Modulbau Erdgeschoss, Massstab 1:300	24
Abbildung 9: Terminrahmen Massivbau	26
Abbildung 10: Terminrahmen Modulbau	26
Abbildung 11: Verlauf Lebenszykluskosten Massiv- und Modulbau, 60 Jahre	34
Abbildung 12: Standortwechsel Modulbau und Mietobjekt	38
Abbildung 13: Verlauf Lebenszykluskosten, 20 Jahre ohne Standortwechsel	43
Abbildung 14: Verlauf Lebenszykluskosten, 22 Jahre mit einem Standortwechsel	44
Abbildung 15: Verlauf Lebenszykluskosten, 24 Jahre mit zwei Standortwechseln	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Leistungsindikatoren Umwelt.....	15
Tabelle 2:	Leistungsindikatoren Wirtschaft.....	16
Tabelle 3:	Leistungsindikatoren Gesellschaft.....	18
Tabelle 4:	Herleitung Kalkulationszinssatz.....	21
Tabelle 5:	Zusammenstellung Preisänderung nominal.....	21
Tabelle 6:	Kostenabweichungen Massiv- und Modulbau.....	28
Tabelle 7:	Kostenkennwerte Referenzprojekte Massivbau.....	30
Tabelle 8:	Kostenkennwerte Referenzprojekte Modulbau.....	30
Tabelle 9:	Kostenkennwerte Verwaltungs- und Betriebskosten.....	31
Tabelle 10:	Verwaltungs- und Betriebskosten Massiv- und Modulbau.....	32
Tabelle 11:	Nutzungsdauer und Anteil Instandsetzung.....	33
Tabelle 12:	Übersicht Lebenszykluskosten Massiv- und Modulbau, 60 Jahre.....	35
Tabelle 13:	Kosten Standortwechsel Modulbau und Mietobjekt.....	40
Tabelle 14:	Mietobjekte Teilportfolio Bildung.....	41
Tabelle 15:	Übersicht Lebenszykluskosten, 20 Jahre ohne Standortwechsel.....	44

Executive Summary

Die Anforderungen an die Schulraumplanung sind hoch. Der Raum muss schnell bereitgestellt werden können, möglichst flexibel sein und pädagogische, planungsrechtliche und bauliche Anforderungen erfüllen. Die vorliegende Abschlussarbeit zeigt auf, unter welchen Voraussetzungen ein Modulbau im Vergleich zu einer konventionellen Lösung die kostengünstigere Alternative zur Bereitstellung von Schulraum darstellt.

In der ersten Untersuchung wird während einer langfristigen Nutzung von 60 Jahren ein Massiv- mit einem Modulbau verglichen. Dabei bleiben die Lebenszykluskosten des modularen Schulbaus während aller Phasen unterhalb derjenigen des konventionellen Baus. Die These, dass der Modulbau für eine kurzfristige und der Massivbau für eine langfristige Nutzung kostengünstiger ist, wird somit verworfen. Grund dafür ist, dass die Nutzungskosten beim Modulbau nur zwei Prozent höher liegen, während die Erstellungskosten 18 Prozent tiefer ausfallen als beim Massivbau. Die Differenz bei den Erstellungskosten ist unter anderem auf die 40 Prozent kürzere Planungs- und Bauzeit, die standardisierte Vorfabrikation im Werk und den tieferen Ausbaustandard zurückzuführen. Insgesamt sind die Lebenszykluskosten des Modulbaus neun Prozent tiefer als diejenigen des Massivbaus. Dies beweist, dass beim Vergleich von flächenkongruenten Musterprojekten die modulare Bauweise über den gesamten Lebenszyklus betrachtet kostengünstiger ist als die Massivbauweise.

In der zweiten Untersuchung wird überprüft, unter welchen Bedingungen ein Modulbau für eine kurzfristige Nutzung kostengünstiger ist als eine Mietlösung. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Modulbauten nur dann eingesetzt werden sollten, wenn die Nutzungsdauer mindestens 19 Jahre beträgt. Weil sich die Versetzungskosten eines Modulbaus auf rund ein Viertel der Erstellungskosten belaufen, sollte der Standort nur alle acht bis elf Jahre gewechselt werden.

Die vorliegende Arbeit soll nicht dazu animieren, aus ökonomischen Gründen auch für langfristige Schulnutzungen Modulbauten einzusetzen. Vielmehr geht es darum, die Vorteile der modularen Bauweise zu erkennen und auf die konventionelle Bauweise zu übertragen.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Herausforderungen

Durch das starke Wachstum der Schülerzahlen und die erhöhten Raumanforderungen stösst die kommunale Schulinfrastruktur in vielen Schweizer Gemeinden an ihre Grenzen. In der Stadt Bern beispielsweise steigen die Klassenzahlen seit dem Schuljahr 2010/11 stetig und die Prognosezahlen erhöhen sich jährlich. In den nächsten 15 Jahren erwartet das Schulamt der Stadt Bern rund 150 zusätzliche Schulklassen (Statistik Stadt Bern, 2017; vgl. Anhang 1). Gemäss Auskunft von Statistik Stadt Bern gibt es für das starke Wachstum der Schülerzahlen zwei Hauptursachen. Auf der einen Seite ist die Anzahl Lebendgeborener in der Stadt Bern seit dem Jahr 2001 stark gestiegen (Statistik Stadt Bern, 2018, S. 12). Andererseits bleiben aufgrund der hohen Lebensqualität und der guten Betreuungseinrichtungen im Vergleich zu früher mehr Familien mit Kinder im Vorschulalter in der Stadt. Dazu kommt, dass gemäss Stadtentwicklungskonzept 2016 bis 2030 jährlich 550 neue Wohnungen für alle Generationen gebaut werden sollen. Einerseits soll dieses Ziel durch innere Verdichtung und andererseits durch Stadterweiterungen erreicht werden (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017b, S. 10). Zudem haben nicht nur die Schülerzahlen zugenommen, sondern auch der Raumbedarf. Seit den 1960er-Jahren hat sich die Fläche pro Schüler verdreifacht. Die Schulklassen wurden kleiner und die Unterrichtsräume grösser. Ferner kamen auch noch Gruppenräume, Tagesschulen und Lernlandschaften dazu (Hönig & Nashed, 2015, S. 6).

Für die Schulraumplanung ist insbesondere die innere Verdichtung eine grosse Herausforderung. Im Bericht „Strategische Schulraumplanung der Stadt Bern“ wird der Grundsatz definiert, dass jüngere Schülerinnen und Schüler im Quartier ihres Wohnortes zur Schule gehen sollen (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017c, S. 5). D.h. wenn ein bestehendes Quartier verdichtet wird, muss zwangsläufig auch der notwendige Schulraum mitgeplant werden. Weil das Raumpotenzial der bestehenden Schulanlagen in der Stadt Bern weitgehend ausgeschöpft ist (Einwohnergemeinde Bern, 2018, S. 34), müssen neue Schulhäuser erstellt oder bestehende erweitert werden. Bei allen Schulbauprojekten wird in der Stadt Bern das Richtraumprogramm für Volksschulen (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017a) angewendet. Dieses berücksichtigt den erhöhten Flächenbedarf pro Schüler sowie die neuen Lernformen. Folglich steigt der Raumbedarf bei Bauprojekten auch ohne Wachstum der Schülerzahlen. Erschwerend kommt hinzu, dass in der Stadt Bern über die Hälfte aller Schulanlagen denkmalpflegerisch inventarisiert ist. Dadurch wird die Erwei-

terung und teilweise die Sanierung bestehender Liegenschaften erschwert oder sogar verunmöglicht. Ein Neubau reduziert auch immer die bereits heute knappen Freiflächen in den Quartieren (Einwohnergemeinde Bern, 2018, S. 40). Zwar steht der Aussenraum von Schulanlagen der Öffentlichkeit ausserhalb des Schulbetriebs zur Verfügung (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017c, S. 6), dennoch ist der Widerstand aus dem Quartier meistens gross, wenn die letzten Freiflächen durch neue Schulanlagen verbaut werden sollen. Da aus den genannten Gründen die Planung für einen definitiven Schulbau eine lange Zeit in Anspruch nimmt und teilweise der langfristige Bedarf noch nicht vollumfänglich bekannt ist, können als Übergangslösung Mietobjekte gesucht werden. Dies erweist sich aber gerade in zentralen und dicht besiedelten Quartieren als schwierig, denn auch an temporären Schulraum sind die Anforderungen hoch. Eine gute Erreichbarkeit zu Fuss, sichere Schulwege, natürlich belichtete Räume, eigene Zugänge, akustische Trennung zu anderen Nutzungen und ein qualitativ hochwertiger Aussenraum werden vorausgesetzt. Erschwerend kommt hinzu, dass geeignete Liegenschaften vielfach nicht in Zonen für öffentliche Nutzungen liegen und somit nicht zonenkonform sind. Aus diesen Gründen wird als Übergangslösung zu einem definitiven Schulhaus vielfach ein Modulbau erstellt, der kurzfristig qualitativ hochwertigen Schulraum schafft. In der Stadt Zürich beispielsweise werden seit Herbst 2017 rund 58 Züri-Modular-Pavillons eingesetzt und es ist davon auszugehen, dass bis ins Jahr 2022 etwa 30 Pavillons dazukommen werden. Modulbauten werden heutzutage hauptsächlich aus folgenden Gründen eingesetzt (Stadt Zürich, Schulamt, Bereich Infrastruktur, 2017, S. 70):

- Reaktion auf periodische Schwankungen der Schülerzahlen
- Unsicherheit des langfristigen Bedarfs
- wenn nur ein geringer Mehrbedarf an Flächen auf bestehenden Schulanlagen besteht
- Übergangslösungen in Entwicklungsgebieten bis zum Bezug einer definitiven Schulanlage

Dementsprechend werden Modulbauten hauptsächlich eingesetzt, wenn davon ausgegangen wird, dass der Bedarf zeitlich begrenzt ist und der Schulraum zu einem späteren Zeitpunkt an einem anderen Standort eingesetzt werden kann. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass nicht der Modulbau, sondern der Standort provisorisch genutzt wird.

In der Stadt Bern wird von der Öffentlichkeit vielfach gefordert, Modulbauten als provisorische Bereitstellung von Räumlichkeiten während Bauprojekten einzusetzen. Bei der Gesamtsanierung eines Schulhauses mit 10 bis 20 Klassen ist es schwierig, in der näheren

Umgebung geeignete Mietobjekte zu finden. Falls an einem periphereren Standort Lösungen zur Verfügung stehen, beispielsweise Raumreserven in einer bestehenden Schulanlage, kann ein Schülertransport organisiert werden. Solche Transporte, besonders für jüngere Schüler, stossen bei der Politik und der Bevölkerung jedoch auf wenig Akzeptanz. Damit die Kinder in ihren Wohnquartieren zur Schule gehen können, wird von den betroffenen Eltern häufig die Erstellung eines Modulbaus auf dem betroffenen Schulareal oder in der näheren Umgebung gefordert.

Aufgrund dieser Ausgangslage sehen sich heute viele Schweizer Städte und grössere Gemeinden dazu gezwungen, sich mit dem Thema des modularen Schulbaus auseinanderzusetzen. Vielfach werden die Bauten in einer Notsituation – aufgrund mangelnder Alternativen – und nicht aufgrund strategischer Überlegungen eingesetzt.

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung des Themas

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, unter welchen Voraussetzungen ein Modulbau im Vergleich zu einer konventionellen Lösung die kostengünstigere Alternative zur Bereitstellung von Schulraum darstellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Lebenszykluskosten von Modulbauten von denjenigen konventioneller Lösungen unterscheiden und die Ergebnisse stark von der gewählten Nutzungsdauer des jeweiligen Objektes abhängen. Des Weiteren wird erwartet, dass ein oder mehrere Standortwechsel des Schulraums innerhalb der Betrachtungsperiode die Resultate beeinflussen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Arbeit sollen in einer oft politisch und emotional aufgeladenen Diskussion ökonomische Argumente für und gegen die Erstellung von modularen Schulbauten liefern.

Das Thema der Lebenszykluskosten von Schulbauten wurde bereits in diversen Arbeiten aus verschiedenen Ländern behandelt. Die Studie „Life Cycle Costs of Dutch school buildings“ (De Jong & Arkesteijn, 2013, S. 8) beispielsweise beschreibt die Kluft zwischen den Investitions- und Betriebskosten aufgrund unterschiedlicher Verantwortungen. Des Weiteren wird widerlegt, dass nachhaltige Gebäude über den gesamten Lebenszyklus betrachtet teurer sind als weniger nachhaltige Bauten. Andere Studien befassen sich mit den europäischen Branchenstandards oder den Auswirkungen einer Implementierung von Lebenszykluskostenberechnungen auf das Public Real Estate Management. Diese Themen spielen in der vorliegenden Arbeit eine untergeordnete Rolle. Der Fokus liegt auf dem Vergleich der Lebenszykluskosten von modularen- und konventionellen Schulbauten.

Als konventionelle Bauweise wird ein Massivbau mit Aussendämmung und vorgehängter Fassadenverkleidung definiert. Andere Konstruktionen, wie beispielsweise die Holzelement- oder die Hybridbauweise, werden nicht berücksichtigt. Als modulare Bauweise wird ein Holzmodulbau gewählt, wie er in der Stadt Bern als auch in der Stadt Zürich bereits mehrfach eingesetzt wird.

Obwohl bei der Auswahl des Bautyps beispielsweise auch pädagogische und ökologische Faktoren beachtet werden müssen, fokussieren sich die nachfolgenden Untersuchungen auf die ökonomischen Aspekte. Das Thema „Schule der Zukunft“ ist nicht Bestandteil der Arbeit. Planungsgrundlage für den Vergleich der Lebenszykluskosten sind bestehende Modulbauten und das Richtraumprogramm der Stadt Bern. Dieses wurde im Rahmen der Schulraumstrategie (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017c) im August 2017 durch den Gemeinderat verabschiedet und ersetzt die Richtlinien aus dem Jahr 2012. Das Richtraumprogramm definiert die städtischen Schulraum- und Flächenstandards, die bei Sanierungen und Neubauten zur Anwendung gelangen. Ein Modulbau kann jederzeit versetzt und durch Module erweitert oder reduziert werden. Daher ist davon auszugehen, dass die Entwicklungsoption eines Grundstückes mit einem modularen Schulbau höher ist als von demjenigen mit einem Massivbau. Der Optionswert der Grundstücke wird bei den Berechnungen jedoch nicht berücksichtigt.

1.3 Vorgehen und Methodik

Wie in der Abbildung 1 zu sehen ist, gliedert sich die vorliegende Abschlussarbeit in fünf Kapitel. Nach der Einleitung werden im zweiten Kapitel die theoretischen Grundlagen erläutert. Zu Beginn wird das Thema Public Real Estate Management behandelt. Dabei werden die Unterschiede zum Corporate Real Estate Management betrachtet und erklärt, in welchen Bereichen die grössten Kosteneinsparungspotenziale liegen. Danach folgt die Theorie zu den Lebenszykluskosten. Der Fokus liegt auf den Erläuterungen der bedeutendsten Berechnungsparameter und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse. Am Ende der theoretischen Grundlagen wird auf die modulare Bauweise eingegangen. In die drei Nachhaltigkeitsbereiche gegliedert wird beschrieben, worin die relevanten Unterschiede zwischen der modularen- und konventionellen Bauweise bestehen.

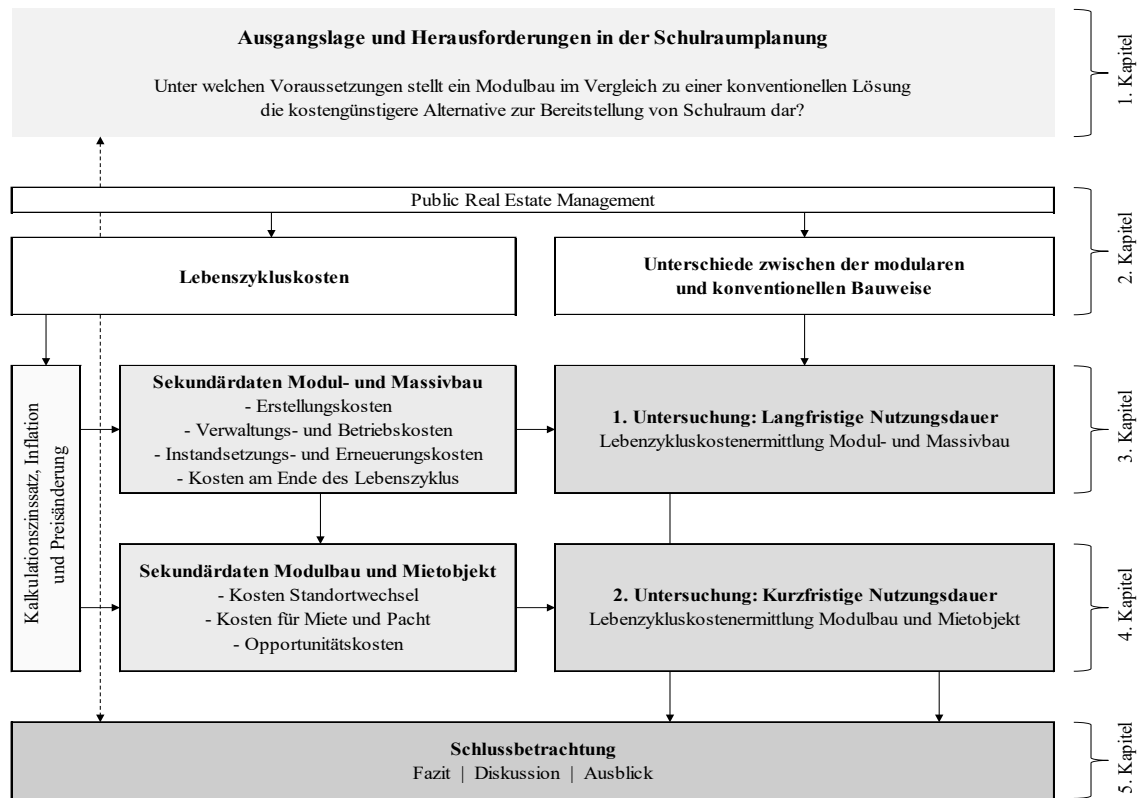


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den theoretischen Grundlagen werden im dritten Kapitel die Lebenszykluskosten von modularen- und konventionellen Schulneubauten berechnet und miteinander verglichen. Dazu wird in einem ersten Schritt je ein flächenkongruentes Musterprojekt definiert. Als Grundlage für die Berechnungen dienen einerseits interne Kostenkennwerte der Stadt Bern und andererseits öffentlich verfügbare Benchmarks von privaten Unternehmen. Die Berechnungen basieren somit auf bereits vorhandenen Sekundärdaten. Primärdaten, wie beispielsweise die Messung des Energieverbrauchs konkreter Liegenschaften, werden nicht erhoben. Ausgehend davon, dass Schulprovisorien in den meisten Fällen länger genutzt werden als ursprünglich vorgesehen, werden für eine langfristige Nutzungsdauer die Kosten eines Modulbaus mit denjenigen eines Massivbaus verglichen. Ziel ist es, am Ende des Kapitels eine Aussage darüber zu treffen, bis zu welchem Zeitpunkt der Modulbau die kostengünstigere Alternative zur Bereitstellung von Schulraum ist und ab welcher Nutzungsdauer ein Massivbau ökonomisch sinnvoll wird.

Im vierten Kapitel werden mit der gleichen Methode Lösungen für eine kurzfristige Bereitstellung von Schulraum miteinander verglichen. Gemäss strategischer Schulraumplanung der Stadt Bern (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017c, S. 10) können für diese Situation Modulbauten und Mietobjekte eingesetzt werden. Bei den kurzfristig umsetzbaren

Lösungen geht es mehrheitlich darum, die Zeit bis zur Fertigstellung einer definitiven Lösung zu überbrücken. Einige Daten können aus der ersten Untersuchung übernommen werden. Die Versetzungskosten des Modulbaus und die Mietkosten müssen aber beispielsweise neu erhoben werden. In einem ersten Schritt soll untersucht werden, ab welchem Zeitpunkt ein Modulbau kostengünstiger ist als eine Mietlösung. Die Modulbauerheben immer wieder die hohe Flexibilität des Modulbaus hervor. Deshalb soll in einem zweiten Schritt geprüft werden, wie lange die minimale Nutzungsdauer an einem Standort sein muss, damit der Modulbau einmal oder mehrmals versetzt werden kann und dabei immer noch kostengünstiger als Mietlösungen an verschiedenen Standorten ist.

Durch die Erkenntnisse aus dem dritten und vierten Kapitel wird im letzten Kapitel zusammengefasst, unter welchen Voraussetzungen ein Modulbau im Vergleich zu einer konventionellen Lösung die kostengünstigere Alternative zur Bereitstellung von Schulraum darstellt. Die Ergebnisse werden bewertet und es wird erläutert, welche Themen in einer zukünftigen Betrachtung genauer untersucht werden müssen.

2. Theoretische Grundlagen

Nachfolgend werden die Grundlagen für die Untersuchungen im dritten und vierten Kapitel beschrieben. Dazu gehören das Public Real Estate Management, die Lebenszykluskostenermittlung und die wesentlichen Unterschiede zwischen der modularen- und der konventionellen Bauweise.

2.1 Public Real Estate Management

Im Gegensatz zum Real Estate Investment Management REIM, bei dem es hauptsächlich um die Optimierung der erzielten Rendite geht (Bone-Winkel, Thomas, Allendorf, & Walbröhl, 2016, S. 721), werden im Public Real Estate Management PREM andere Ziele verfolgt. Der Schwerpunkt liegt auf einer bedarfsgerechten und ökonomischen Bereitstellung von Flächen, die für die Erfüllung der öffentlichen Pflichten und für die Kostenoptimierung der Liegenschaften notwendig sind. Das Public Real Estate Management als öffentliches Immobilienmanagement kann mit dem Corporate Real Estate Management als betriebliches Immobilienmanagement verglichen werden. Beide Managementkonzepte haben gemeinsam, dass Immobilien als Sekundärleistung angesehen werden. Immobilien sind in erster Linie also Mittel zum Zweck, um übergeordnete Zielsetzungen auf Ebene des Unternehmens oder der öffentlichen Verwaltung zu erreichen. Ein Unterschied der beiden Konzepte liegt in den Aufgaben und den damit verbundenen Zielen. So steht beim Public Real Estate Management beispielsweise die Gemeinwohlorientierung dem privatwirtschaftlich ausgerichteten Gewinnstreben des Corporate Real Estate Managements gegenüber (Schäfers, Ecke, Högner, & Dietzel, 2016, S. 845-846).

Bei der öffentlichen Hand liegen die immobilien-spezifischen Ausgaben zwischen 15 und 20 Prozent der jährlichen Haushaltsaufwendungen. In der Privatwirtschaft hingegen belaufen sich die Kosten zwischen 5 und 15 Prozent des Jahresaufwands. Mögliche Kosteneinsparungspotenziale werden so deutlich sichtbar. Dabei ist es unabdingbar, nicht nur die Erstellungs-, sondern alle Kosten während des gesamten Lebenszyklus zu betrachten. Die Bauaufwendungen von Kindergärten und Schulen, d.h. diejenigen Kosten die erst im Rahmen der Nutzung entstehen, betragen pro Jahr 31 Prozent der Baukosten. Somit werden die Erstellungskosten nach rund 3,2 Jahren durch die Nutzungskosten der Liegenschaften überschritten. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit, die Kosten über alle Lebenszyklusphasen bereits in der strategischen Planung zu berücksichtigen (Schäfers, Ecke, Högner, & Dietzel, 2016, S. 844).

2.2 Lebenszykluskosten

Grundlage für die Berechnung der Lebenszykluskosten bildet in der Schweiz der Leitfaden der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung CRB (2012c). Dieser basiert unter anderem auf der etablierten Norm ISO 15 686-5 „Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing“ (2017). Der Leitfaden bietet somit eine international abgestützte Verständigungsbasis, die die schweizerischen Normen und Standards, wie beispielsweise die SIA 480 „Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau“ (2016) und das Phasenmodell der SIA 112 (2014), berücksichtigt (CRB, 2012c, S. 3).

2.2.1 Definition der Lebenszykluskosten in der Schweiz

Lebenszykluskosten nennt man die Summe aller Kosten, die ein Gebäude von der Planung, der Realisierung und der Bewirtschaftung einer baulichen Anlage verursacht, solange die zum Betrachtungszeitpunkt definierten Anforderungen an die bauliche Anlage erfüllt werden (CRB, 2012c, S. 9).

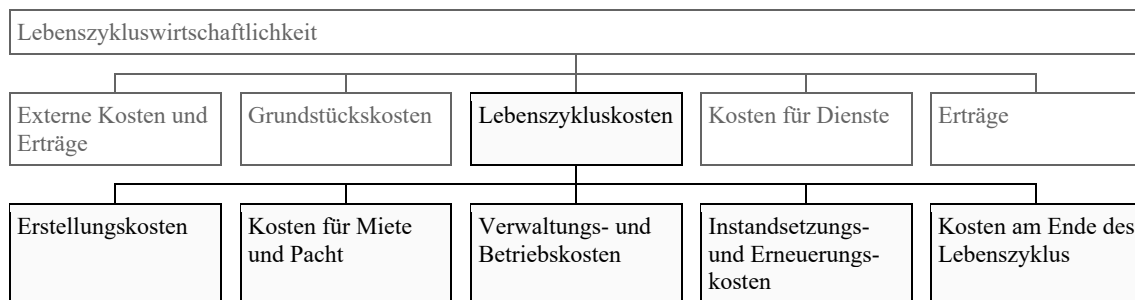


Abbildung 2: Umfang der Lebenszykluskosten aus schweizerischer Sicht (vgl. CRB, 2012c, S. 10)

Die Abbildung 2 zeigt die fünf Kostenblöcke der Lebenszyklusberechnung in der Schweiz. Der Unterschied zur internationalen Auslegung besteht darin, dass die Kosten für Miete und Pacht als separater Kostenblock und nicht wie bei der ISO 15 686-5 als Teil der Betriebskosten gelten. Des Weiteren sind in der Schweiz die Überwachungs- und Instandhaltungskosten den Betriebskosten, und nicht wie im Ausland den Instandsetzungs- und Erneuerungskosten, zugeordnet (CRB, 2012c, S. 25). Bei allen Kostengruppen muss in der Schweiz die Mehrwertsteuer dazugerechnet werden. In der Schweiz unüblich ist die Berücksichtigung von Erträgen, externen Kosten sowie gebäudeunabhängige Kosten wie beispielsweise Prozesskosten innerhalb der Lebenszyklusphasen. Zudem sind Kosten, die ausserhalb der Betrachtungsperiode angefallen sind und zahlungsunwirksame Kosten, nicht Bestandteil der Lebenszykluskosten (CRB, 2012c, S. 10-14). Die Kosten, die ab Fertigstellung des Bauprojektes bis zum Ende des Lebenszyklus

entstehen, werden oft auch Nutzungs- oder Bewirtschaftungskosten genannt (IFMA, 2011b, S. 35).

2.2.2 Verfahren der Lebenszykluskostenberechnung

Grundsätzlich wird zwischen der dynamischen- und der statischen Berechnungsmethode unterschieden. Die statische Methode berücksichtigt den tatsächlichen Zeitpunkt des Zahlungsanfalls nicht (IFMA, 2011b, S. 18) und sollte deshalb nur bei kurzer und einheitlicher Nutzungsdauer angewendet werden (SIA, 2016, S. 18). Ansonsten ist die dynamische Methode anzuwenden. Bei dieser werden die Kosten einer Liegenschaft innerhalb der Betrachtungsperiode aufgrund eines angenommenen Kalkulationszinssatzes vom Zahlungszeitpunkt auf einen Referenzzeitpunkt diskontiert. Als Referenzzeitpunkt wird normalerweise der Zeitpunkt der Fertigstellung des Bauprojektes gewählt. Es wird davon ausgegangen, dass die Kosten am Ende des Jahres anfallen (SIA, 2016, S. 17). Der auf den Referenzzeitpunkt diskontierte Wert der Kosten nennt sich Barwert und wird wie folgt berechnet (CRB, 2012c, S. 19):

$$B_A = \sum \frac{A_K}{(1 + i)^k}$$

B_A : Barwert der Kosten zum Referenzzeitpunkt
 A_K : Kosten (real oder nominal)
 i : Kalkulationszinssatz (real oder nominal)
 k : Betrachtungsperiode

Da sich die Lebenszykluskostenermittlung auf einen langen Zeitraum bezieht, ist bei der Erfassung der Ausgangsgrösse strikt zwischen nominalen und realen Kostengrössen zu unterscheiden. Nominale Kosten sind die Geldwerte zu Preisen beim Zahlungszeitpunkt, d.h. unter Berücksichtigung möglicher Preisänderungen und der Inflation. Reale Kosten hingegen sind die Geldwerte zu Preisen beim Referenzzeitpunkt. Eine Vermischung der beiden Grössen ist unzulässig (CRB, 2012c, S. 18).

2.2.3 Berechnungsparameter und Kostendefinition

Die Ermittlung von Lebenszykluskosten wird von folgenden Berechnungsparametern und Kostendefinitionen beeinflusst (CRB, 2012c, S. 21):

- Betrachtungsperiode, Nutzungsdauer und technische Lebensdauer
- Kalkulationszinssatz, Inflation und Preisänderung
- Anschaffungskosten
- Verwaltungs- und Betriebskosten
- Instandsetzungs- und Erneuerungskosten
- Kosten am Ende des Lebenszyklus

Betrachtungsperiode, Nutzungsdauer und technische Lebensdauer

Die Betrachtungsperiode ist der Zeitraum, in dem die Lebenszykluskosten ermittelt werden. Sie richtet sich nach der Art des Objektes und nach den Zielsetzungen des Nutzers. Beim Vergleich von verschiedenen Varianten ist immer die gleiche Betrachtungsperiode zu wählen (SIA, 2016, S. 13). Die Nutzungsdauer, d.h. die effektive Periode zwischen der Inbetriebnahme und dem Ersatz der baulichen Anlage, ist mit der technischen Lebensdauer identisch, wenn kein allfälliger Ersatz aufgrund veränderter Bedürfnisse zu erwarten ist (CRB, 2012c, S. 22). Die durchschnittliche Gesamtnutzungsdauer liegt bei Schulen zwischen 50 und 80 Jahren (Deutscher Bund, 2006). Gemäss Auskunft von Hochbau Stadt Bern deckt sich dieser Wert mit den Erfahrungen in der Stadt Bern.

Kalkulationszinssatz, Inflation und Preisänderung

Um den Barwert zu berechnen, muss unter anderem der Kalkulationszinssatz definiert werden. Im öffentlichen Immobilienmanagement setzt sich der Kalkulationszinssatz aus dem risikofreien Zins und der Risikoprämie für das Projekt zusammen. Als Massstab für die Wahl des risikofreien Zinses eignen sich festverzinsliche Staatsanleihen mit einer Laufzeit von zehn Jahren (Schäfers, Ecke, Högner, & Dietzel, 2016, S. 863). Im Hochbaubereich besteht die Risikoprämie aus dem allgemeinen Immobilienrisiko und dem objektspezifischen Risiko. Wird vom Nominalzinssatz die Inflation abgezogen, ist er ungefähr gleich gross wie der Realzinssatz. Die Inflation bezeichnet die durchschnittliche Preisänderung gemäss Landesindex der Konsumentenpreise (SIA, 2016, S. 21). Im Gegensatz zur Inflation bezieht sich die Preisänderung auf eine bestimmte Kostenkategorie während der Betrachtungsperiode (SIA, 2016, S. 7). Zur Berechnung der Lebenszykluskosten sind die Preisänderungskategorien „Bau“, „Verwaltung und Dienstleistungen“ sowie „Ver- und Entsorgung“ relevant (IFMA, 2011c, S. 10).

Anschaffungskosten

Da sie hohe Kosten verursachen und am Anfang der Betrachtungsperiode stehen, sind die Anschaffungskosten ein wesentlicher Bestandteil der Lebenszykluskostenermittlung. Beim Kauf einer Liegenschaft umfassen sie die Erwerbs- und Nebenkosten und bei einem Bauprojekt die Planungs- und Realisierungskosten (CRB, 2012c, S. 23). Die Kostenberechnung für ein Bauprojekt erfolgt in der Schweiz nach der SN 506 511, Baukostenplan Hochbau (CRB, 2012a). Im Gegensatz zur ISO 15 686-5 können somit optional auch die Grundstückskosten, die Grundstücksnebenkosten, die Kapitalkosten sowie die zugehörige Mehrwertsteuer eingerechnet werden (CRB, 2012c, S. 10).

Verwaltungs- und Betriebskosten

Die Verwaltungskosten, d.h. die Kosten, die aufgrund kaufmännischer Aufgaben wie beispielsweise die Vermietung und die Objektbuchhaltung anfallen, spielen aufgrund des geringen Kostenbetrags vielfach eine untergeordnete Rolle. Die Betriebskosten hingegen sind nach den Anschaffungskosten die aus finanzieller Sicht bedeutendste Kostengruppe einer Lebenszykluskostenermittlung. Dazu gehören Kosten für Ver- und Entsorgung, Reinigung und Pflege, Überwachung und Instandhaltung, Kontrolle und Sicherheit sowie Abgaben und Beiträge. Kosten für Miete und Pacht von baulichen Anlagen sind jedoch nicht Bestandteil der Betriebskosten (CRB, 2012c, S. 24).

Instandsetzungs- und Erneuerungskosten

Gemäss „SIA 469 Erhaltung von Bauwerken“ dient die Instandsetzung dazu, das Bauwerk beziehungsweise seine Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit für eine festgelegte Dauer wiederherzustellen (SIA, 1997, S. 15). Im Rahmen der Lebenszykluskostenermittlung können die Instandsetzungskosten durch einen prozentualen Anteil an den Erstellungskosten berechnet werden (IFMA, 2011a). Für die Kostengruppe D Technik Gebäude werden jeweils die Jahreskostenfaktoren für die Instandsetzung von technischen Anlagen der AMEV-Empfehlung Nr. 120, Ermittlung der Kosten für das Betreiben von technischen Anlagen (AMEV, 2013, S. 27) berücksichtigt. Die Instandsetzungskosten sämtlicher anderer Kostengruppen werden durch den Ansatz eines pauschalen Anteils von 0,01 Prozent der Erstellungskosten ermittelt (IFMA, 2011a). Diese Faktoren werden mit den Erstellungskosten der jeweiligen Kostengruppe multipliziert. Die Summe aller Ergebnisse ergibt die jährliche Rückstellung zum Referenzzeitpunkt, die mit dem Kalkulationszinssatz diskontiert und mit dem Preisfaktor „Verwaltung und Dienstleistungen“ aufgezinnt wird. Die Erneuerung wiederum hat zum Ziel, das Bauwerk zumindest in Teilen in einen dem ursprünglichen Neubau vergleichbaren Zustand zu versetzen (SIA, 1997,

S. 15). Um die Erneuerungskosten zu bestimmen, muss mit Hilfe der Nutzungsdauer der Zeitpunkt des Bauteilersatzes definiert werden. Funktional zusammengehörende Bauteile, wie beispielsweise Fenster, äussere Wandbekleidung und die Bedachung, sollten wenn möglich gleichzeitig ersetzt werden. Berücksichtigt werden die Erstellungskosten zum Zeitpunkt der Erneuerung (CRB, 2012c, S. 25). Dieser Wert wird mit dem Kalkulationszinssatz diskontiert und mit dem Preisfaktor „Bau“ aufgezinnt.

Kosten am Ende des Lebenszyklus

Die Kosten am Ende des Lebenszyklus umfassen den Rückbau, die Entsorgung und die Wiederherstellung von gewissen Bauteilen. Erlöse aus dem Verkauf der baulichen Anlage und Heimfallentschädigungen bei Baurechtsverträgen sind nicht Bestandteil dieser Kostengruppe. Da die Kosten am Ende des Lebenszyklus am Schluss der Betrachtungsperiode anfallen und als Barwert somit meist einen geringen Betrag ausmachen, sind sie vielfach von geringer Bedeutung. Sowohl die ISO 15 686-5 als auch der Leitfaden von CRB lassen es offen, ob die Kosten am Ende des Lebenszyklus berücksichtigt werden oder nicht (CRB, 2012c, S. 26).

2.2.4 Arten der Lebenszykluskostenermittlung

Die Abbildung 3 zeigt, dass je nach Phase der SIA 112 (2014) zwischen verschiedenen Lebenszykluskostenermittlungsarten unterschieden wird. Für die vorliegende Arbeit ist die Ermittlungsart des Lebenszykluskosten-Rahmens relevant. Diese wird für den Vergleich der Kosten und der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Lösungsansätze während der strategischen Planung genutzt. Bei dieser Ermittlungsart beruhen alle Berechnungen auf den in dieser Phase zur Verfügung stehenden Planungsgrundlagen. Das sind beispielsweise eine grobe Kostenschätzung, ein Richtraumprogramm oder ein Terminrahmen (CRB, 2012c, S. 29-31).

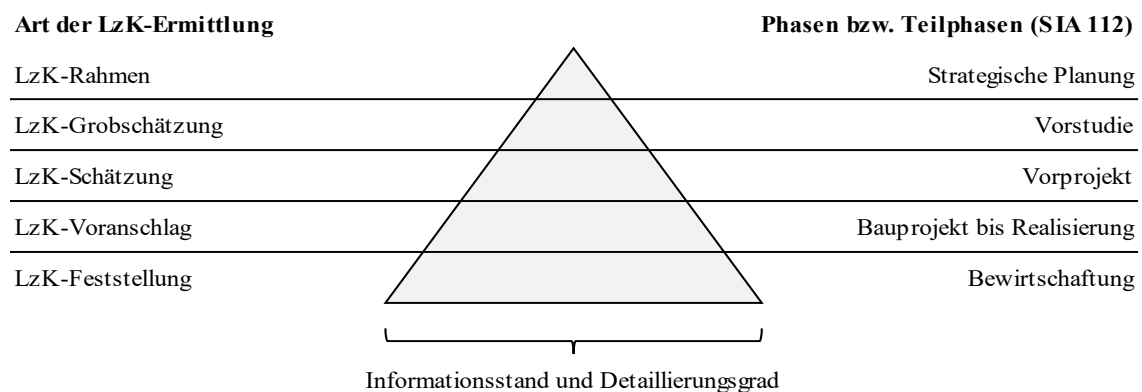


Abbildung 3: Arten der Lebenszykluskostenermittlung (vgl. CRB, 2012c, S. 30)

2.3 Die modulare Bauweise

2.3.1 Geschichte der modularen Bauweise

Die Jurte, ein Urtyp der vorgefertigten und elementierten Bauweise, wurde bereits vor mehreren Jahrtausenden entwickelt. Nomadenvölker benötigten Schutzdächer oder Hütten, um auf der Suche nach neuen Lebensräumen für eine gewisse Zeit an einem Ort zu leben (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, S. 14). Aufwind erhielt die serielle Bauweise mit dem Beginn der Industriellen Revolution. Als Wendepunkt in der Baugeschichte gilt der für die Weltausstellung 1851 in London erstellte Crystal Palace. Das gläserne Gewächshaus demonstrierte die Möglichkeiten des industriellen und rationalisierten Bauens sowie die Abwicklung des Bauprozesses in Fließproduktion (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, S. 18-20).

In den 1940er-Jahren hat der Architekt Jean Prouvé ein Patent für eine Rahmenkonstruktion angemeldet, das er als Grundlage für modular gefertigte Bauten verwendete. Der Fortschritt bestand darin, dass das gesamte Haus innerhalb eines Tages von vier Monteuren ohne maschinelle Hilfsmittel errichtet werden konnte. Im Vergleich zum Crystal Palace stand nicht nur die serielle Herstellung und schnelle Montage, sondern auch die Leichtigkeit und der tiefe Ressourcenverbrauch im Vordergrund. Gleichzeitig konnten dadurch Einsparungen beim Transportgewicht und den Produktkosten generiert werden. Die Aufgabe bestand damals darin, nach dem Krieg kurzfristig und für unbestimmte Zeit qualitativ guten Wohnraum bereitzustellen. Die Abbildung 4 zeigt einen Pavillonbau, der von Jean Prouvé für Menschen gebaut wurde, die im Krieg ihr Haus verloren hatten (Gratz, 2017, S. 4-5).

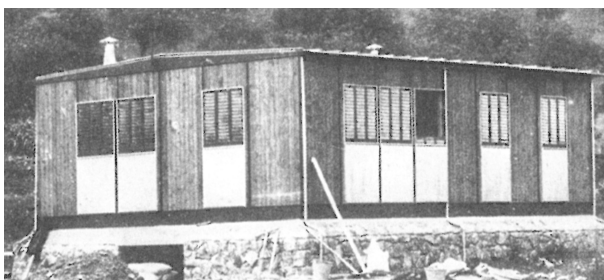


Abbildung 4: „Maison à portiques“ von Jean Prouvé (Gratz, 2017, S. 5)

Aufgrund eines enormen Mangels an Schulräumen erstellte die Stadt Zürich bereits 1904 vorfabrizierte „Schulbaracken“. Grundgedanke dieser Bauart war die vollständige Zerlegbarkeit der Holzbauten. Somit konnten diese ohne Stoffverlust mehrmals rückgebaut und an einem anderen Standort wieder aufgebaut werden. Die Lebensdauer wurde damals auf 50 Jahre prognostiziert. Noch heute stehen einige dieser Bauten – in Nutzung oder

Ausdruck teilweise transformiert – im Einsatz (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2017, S. 2).

Auch die Stadt Bern sammelte vor einigen Jahrzehnten erste Erfahrungen mit temporären Schulbauten. Zwischen 1967 bis 1977 baute der Architekt Fritz Stucky im Auftrag des städtischen Hochbauamts im Brännengut sechs gleichartige Pavillons und eine Turnhalle, um den damaligen Mangel an Schulraum vorübergehend zu überbrücken. Die ersten drei Pavillons, die auf der Abbildung 5 zu sehen sind, entstanden 1967. Sie wurden mit dem Fertigbausystem Variel der Firma Elcon AG als eingeschossige Flachdachbauten erstellt. 1970 wurde die Anlage durch eine Turnhalle in der Durisol-Fertigbauweise und 1977 durch drei weitere Schulpavillons in der Variel-Fertigbauweise erweitert. Zwei dieser drei Schulpavillons wurden vorher bereits an einem anderen Standort genutzt (DPF, 2017). Bei den beschriebenen Bauweisen handelt es sich um ein Fertigbausystem in Beton.



Abbildung 5: Schulpavillons Brünnen, Stadt Bern (DPF, 2017)

Die Variel-Fertigbauweise, die häufig auch als Elcon-System bezeichnet wird, war eine weitgehend industrialisierte Vorfabrikationsmethode und wurde vom Architekten Fritz Stucky entwickelt. Ein solches Raumelementsystem wurde erst durch die rasante Entwicklung schwerer Transport- und Hebefahrzeuge im zweiten Weltkrieg möglich. Die Zielsetzung war es, ein System zu entwickeln, das den gesamten Arbeitsprozess auf industrieller Basis ermöglicht und dabei nicht durch die Wetterlage beeinflusst wird. Der Ablauf des gesamten Bauvorhabens wickelte sich zu 90 Prozent in der Fabrik ab, wodurch noch zehn Prozent des Arbeitsaufwandes auf der Baustelle stattfand. Nachdem das System 1954 patentiert wurde, entwickelte es sich bis 1965 auf dem Gebiet des Schulhausbaus zum meistfabrizierten industriellen Bausystem. Von allen Lizenznehmern wurden damals über 1'000 Klassenzimmer hergestellt (Stucky & Meuli, 1966, S. 132).

Die Vorteile, die bereits damals ausschlaggebend waren, sind in der heutigen Schulraumplanung aktueller denn je. Modulbauten bieten eine technisch ausgereifte Lösung für ein immer gleichbleibendes Problem. Sie erlauben es, kurzfristig, schnell, einfach und flexibel auf sich verändernde Schülerzahlen zu reagieren (Hönig, Die Modular-Familie, 2017, S. 8). Durch den modularen Aufbau können die Module mehrfach und je nach Bedarf an verschiedenen Standorten eingesetzt werden. Funktional werden die Pavillons den gleichen Anforderungen gerecht wie konventionelle Bauten. Sie erfüllen den gewünschten Energiestandard, bieten je nach Typ zweiseitig natürliches Licht und sind bei Bedarf hindernisfrei (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2017, S. 8).

2.3.2 Unterschiede zwischen der modularen- und konventionellen Bauweise

In der Arbeit „Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods“ (Kamali & Hewage, 2017) wurde untersucht, welche Leistungsindikatoren sich zwischen der modularen- und der konventionellen Bauweise am meisten unterscheiden. Anhand einer 5-Punkte-Ordinal-Likert-Skala wurden Experten aus der Immobilienbranche befragt, wie hoch sie die Unterschiede der Indikatoren in Bezug auf die beiden Bauweisen einschätzen. Sehr tief bedeutet, dass der betroffene Leistungsindikator im Vergleich der Nachhaltigkeit beider Bautypen einen kleinen Unterschied ausmacht. Umgekehrt bedeutet sehr hoch, dass der Indikator signifikante Unterschiede zwischen den beiden Konstruktionstypen bewirken kann. Die Ergebnisse wurden in die drei Nachhaltigkeitsbereiche Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft eingeteilt.

Leistungsindikatoren Umwelt	Rangierung Umwelt	Rangierung insgesamt	Wichtigkeitsstufe
Abfallmanagement	1	6	hoch
Energieleistung und Effizienzstrategien	2	7	hoch
Materialverbrauch im Bauwesen	3	8	hoch
Treibhausgasemissionen	4	13	hoch
Beeinträchtigung am Standort	5	19	mittel
Erneuerbare Materialien	6	22	mittel
Graue Energie	7	24	mittel
Lokale Materialien	8	25	mittel
Erneuerbare Energienutzung	9	26	mittel
Standortwahl	10	29	niedrig
Strategien für Abwasser- und Wassereffizienz	11	30	niedrig
Alternative Transportmöglichkeiten	12	33	sehr niedrig

Tabelle 1: Leistungsindikatoren Umwelt (vgl. Kamali & Hewage, 2017, S. 3600)

Wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, sind die Leistungsindikatoren, die sich im Nachhaltigkeitsbereich Umwelt zwischen den beiden Bautypen am meisten unterscheiden, Abfallmanagement, Energieleistung und Effizienzstrategien, Materialverbrauch im Bauwesen und Treibhausgasemissionen. Die Herstellung der modularen- im Vergleich zur traditionellen Bauweise generiert nachweislich weniger Abfall. Zusätzlich ist der entstehende Abfall einfacher zu kontrollieren und zu recyklieren (Kawecki, 2010, S. 33). Des Weiteren können bei modularen Bauten häufig Module demontiert und an einem anderen Standort wiederverwendet werden, wodurch sich der Aufwand am Ende des Lebenszyklus verringert (Li & Li, 2013, S. 341). Aufgrund der fortschreitenden Entwicklung im Bereich der Gebäudetechnik werden die Gebäude während der Nutzungsphase immer energieeffizienter. Dementsprechend nimmt die Bedeutung der Erstellungsphase und der Phase am Ende des Lebenszyklus zu und die der Nutzungsphase ab (Gustavsson & Joelsson, 2010, S. 210, 219).

Leistungsindikatoren Wirtschaft	Rangierung Wirtschaft	Rangierung insgesamt	Wichtigkeitsstufe
Planungs- und Bauzeit	1	2	sehr hoch
Planungs- und Baukosten	2	3	sehr hoch
Dauerhaftigkeit der Gebäude	3	9	hoch
Integrale Planung	4	10	hoch
Investitionen und damit verbundene Risiken	5	11	hoch
Betriebskosten	6	14	hoch
Flexibilität	7	16	mittel
Instandhaltungskosten	8	17	mittel
Kosten am Ende der Lebensdauer	9	27	mittel

Tabelle 2: Leistungsindikatoren Wirtschaft (vgl. Kamali & Hewage, 2017, S. 3600)

Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der behandelten Leistungsindikatoren im Nachhaltigkeitsbereich Wirtschaft. In diesem Bereich wird die Planungs- und Bauzeit von den Experten als am wichtigsten eingestuft. Ein wesentlicher Unterschied in diesem Gebiet besteht darin, dass bei der modularen- im Gegensatz zur konventionellen Bauweise die Herstellung der Module und die Vorbereitungsarbeiten auf der Baustelle zeitgleich stattfinden können. Zudem wird die Bauzeit weniger durch die Wetterlage beeinflusst und die Vorfabrikation hat ein höheres Potenzial für Automatisierung (Chen, Okudan, & Riley, 2010, S. 238).

Die Abbildung 6 zeigt auf, dass die erwähnten Vorteile die Bauzeit um bis zu 40 Prozent reduzieren können, was sich wiederum positiv auf die Planungs- und Baukosten auswirkt.

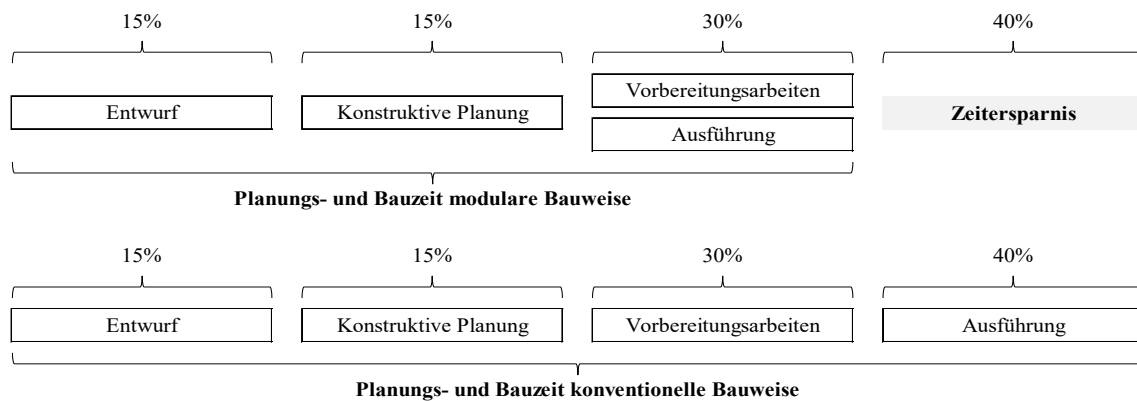


Abbildung 6: Zeiterparnis der modularen Bauweise (vgl. Mah, 2011, S. 43)

Den zweitwichtigsten ökonomischen Leistungsindikator stellen gemäss der Experten die Planungs- und Baukosten dar. Diese Ausgaben werden höher gewichtet als die anfallenden Kosten während den anderen Lebenszyklusphasen. Ein möglicher Grund könnte sein, dass die Kosten in der Anfangsphase als kurzfristige Kosten wahrgenommen werden und somit greifbarer sind. Interessanterweise werden die Kosten am Ende des Lebenszyklus, d.h. langfristige Kosten, am tiefsten bewertet. Die modulare Bauweise bietet in Bezug auf die Planungs- und Baukosten viele Vorteile (Kamali & Hewage, 2016, S. 1175):

- tiefere Transportkosten von Arbeitskräften und Maschinen
- Mengenrabatt durch hohe Stückzahlen
- Reduktion der Anzahl Baustellenarbeiter
- weniger Standortauslagen
- reduzierte Zinsbelastung durch schnelle Planungs- und Bauzeit
- vermeiden von kostspieligen Verzögerungen aufgrund von Wetter- und Standortbedingungen
- weniger Vandalismus und Diebstahl aufgrund kürzerer Bauzeit

Die Dauerhaftigkeit der Gebäude ist ein zentraler Faktor in Bezug auf die beiden Bauweisen. Aufgrund der industriellen Vorfertigung im Werk unter kontrollierten Bedingungen kann bei der modularen Bauweise eine konstant hohe Qualität und Präzision erreicht werden (Rogan, Lawson, & Bates-Brkljac, 2000, S. 18). Da die Module im Werk produziert werden, sind sie dem Wetter für eine kürzere Zeit ausgesetzt, wodurch das Material weniger stark belastet wird. All diese Faktoren tragen zu einer hohen Dauerhaftigkeit von modularen Bauten bei (Kamali & Hewage, 2017, S. 3600).

Leistungsindikatoren Gesellschaft	Rangierung Gesellschaft	Rangierung insgesamt	Wichtigkeitsstufe
Gesundheit und Sicherheit der Arbeitskräfte	1	1	sehr hoch
Beeinträchtigung der Nachbarschaft	2	4	hoch
Sicherheit	3	5	hoch
Benutzerakzeptanz und -zufriedenheit	4	12	hoch
Erschwinglichkeit	5	15	hoch
Funktionalität und Raumnutzung	6	18	mittel
Einfluss auf die lokale Wirtschaft	7	20	mittel
Ästhetik und Attraktivität des Gebäudes	8	21	mittel
Gesundheit, Komfort und Wohlbefinden der Bewohner	9	23	hoch
Einfluss auf lokale soziale Entwicklung	10	28	niedrig
Zugänglichkeit und Infrastruktur der Nachbarschaft	11	31	niedrig
Kultur- und Denkmalschutz	12	32	sehr niedrig

Tabelle 3: Leistungsindikatoren Gesellschaft (vgl. Kamali & Hewage, 2017, S. 3601)

Wie in der Tabelle 3 zu erkennen ist, wird im Nachhaltigkeitsbereich Gesellschaft von zwölf Leistungsindikatoren nur die Gesundheit und Sicherheit der Arbeitskräfte als sehr wichtig bewertet. Diese Kategorie wird nicht nur in diesem Bereich, sondern über alle drei Nachhaltigkeitsbereiche als der wichtigste Unterschied zwischen der modularen- und konventionellen Bauweise angesehen. Gemäss Lawson, Ogden, & Bergin (2012, S. 153) können durch die Vorproduktion im Werk die gemeldeten Unfälle um 80 Prozent reduziert werden. Auf dem zweiten Rang steht die Beeinträchtigung der Nachbarschaft. Weil bei der modularen Bauweise 85 bis 90 Prozent der Arbeiten im Werk stattfinden, kann der Baustellenlärm, Baustaub und das Verkehrsaufkommen zeitlich stark reduziert werden. Dies trägt dazu bei, dass die Nachbarschaft weniger stark beeinträchtigt wird als bei der konventionellen Bauweise (Kamali & Hewage, 2017, S. 3601).

Die Häufigkeit der Wichtigkeitsstufen „sehr hoch“ und „hoch“ lassen den Schluss zu, dass über alle drei Nachhaltigkeitsbereiche die Wirtschaftlichkeit nach wie vor im Hauptinteresse der Immobilienbranche liegt. Um Missverständnissen vorzubeugen, muss erwähnt werden, dass tief bewertete Leistungsindikatoren nicht bedeuten, dass sie nicht wichtig sind. Vielmehr zeigen sie, dass in diesem Bereich keine wesentlichen Unterschiede zwischen der modularen- und konventionellen Bauweise bestehen. Eine detaillierte Liste mit Vor- und Nachteilen der modularen Bauweise befindet sich im Anhang 2.

2.4 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen

Der starke Anstieg der Schülerzahlen, die hohen Anforderungen an den Schulraum und die zu erreichende Akzeptanz bei Politik und Bevölkerung verdeutlichen die Komplexität der Schulraumplanung. Der Raum muss schnell bereitgestellt und möglichst flexibel sein sowie pädagogische, planungsrechtliche und bauliche Anforderungen erfüllen können. Der modulare Schulbau erfüllt diese Anforderungen meist gut, wobei die Wirtschaftlichkeit grösstenteils nicht im Vordergrund steht. Gerade im Public Real Estate Management gibt es bezüglich immobilienpezifischer Ausgaben im Vergleich zu den jährlichen Haushaltsaufwendungen einen starken Nachholbedarf. Dabei sind nicht nur die Erstellungs-, sondern die gesamten Lebenszykluskosten zu betrachten.

Diese Grundlagen bestätigen die Annahme, dass die Lebenszykluskostenberechnung die geeignete Methode für den Wirtschaftlichkeitsvergleich von Liegenschaften der öffentlichen Hand darstellt. Da die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Schulbaus zwischen 50 bis 80 Jahren liegt, wird die Betrachtungsperiode für die Lebenszykluskostenermittlung der langfristigen Nutzungsdauer auf 60 Jahre festgelegt. Bei einer langen Betrachtungsperiode ist die Berücksichtigung des tatsächlichen Zahlungszeitpunkts wesentlich. Aus diesem Grund wird die dynamische Berechnungsmethode angewendet. Bei den Unterschieden zwischen der modularen- und der konventionellen Bauweise soll der Fokus der Arbeit hauptsächlich bei den Leistungsindikatoren im Nachhaltigkeitsbereich Wirtschaft liegen. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, gehören zu den bedeutendsten Indikatoren die Planungs- und Bauzeit, die Planungs- und Baukosten sowie die Dauerhaftigkeit der Gebäude. Diesen Faktoren wird bei der Lebenszykluskostenermittlung am meisten Aufmerksamkeit geschenkt.

3. Lebenszykluskostenermittlung langfristige Nutzung

Nach dem Beschrieb der theoretischen Grundlagen im vorangehenden Kapitel folgt in der ersten Untersuchung die Lebenszykluskostenermittlung für eine langfristige Schulnutzung. Der Modulbau wird während einer Betrachtungsperiode von 60 Jahren mit einem konventionellen Massivbau verglichen.

Wie in Kapitel 1.1 erläutert, werden Modulbauten hauptsächlich als Reaktion auf periodische Schwankungen der Schülerzahlen, bei Unsicherheit des langfristigen Bedarfs, bei einem geringen Mehrbedarf auf bestehenden Schulanlagen und als Übergangslösung bis zum Bezug einer definitiven Schulanlage eingesetzt. Diese Gründe erwecken den Anschein, dass eine Betrachtungsperiode von 60 Jahren rein hypothetisch sei. Die Vergangenheit zeigt jedoch, dass temporäre Bauten meistens länger genutzt werden als ursprünglich geplant war. In Zürich beispielsweise stehen die 1904 erstellten Schulraumprovisorien – in Nutzung oder Ausdruck teilweise transformiert – noch heute im Einsatz (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2017, S. 2). Auch die in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Schulpavillons Brünen in der Stadt Bern, werden heute noch als Schulraum genutzt. Nach 50-jährigem Einsatz wird gemäss Auskunft von Immobilien Stadt Bern momentan geplant, diese durch neue modulare Schulbauten zu erweitern und teilweise zu ersetzen. Dass modulare Bauten vielfach länger genutzt werden als ursprünglich vorgesehen hat auch damit zu tun, dass die Lebenserwartung gemäss eines Berichts des American Institute of Architects gleich hoch ist wie diejenige von konventionellen Bauten (AIA, 2008, S. 59). Eine mögliche Begründung ist, dass beispielsweise in Bezug auf Statik, Sicherheit, Brandschutz und Energieverbrauch für Provisoriumsbauten ab einer Nutzungsdauer von über drei Jahren dieselben Normen und Vorschriften gelten wie für konventionelle Bauten (BVE, 2016, S. 3).

3.1 Methode und Berechnungsparameter

Da der tatsächliche Zeitpunkt des Zahlungsanfalls berücksichtigt werden soll, wird die dynamische Lebenszykluskostenermittlung angewendet. Zusätzlich zu den in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Eigenschaften hat dies den Vorteil, dass schwierig zu prognostizierende Kosten, wie beispielsweise die Kosten am Ende des Lebenszyklus und die Erneuerungskosten, im Vergleich zu den Erstellungskosten weniger stark gewichtet werden. Fehlprognosen können somit etwas entschärft werden. Als Referenzzeitpunkt wird die Fertigstellung (Jahr 0) des Bauprojektes definiert. Dabei wird angenommen, dass die

Kosten jeweils am Ende des Jahres anfallen. Entscheidend ist die Definition des Kalkulationszinssatzes. Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, wird dieser aus der Risikoprämie für das Projekt und dem realen risikofreien Zins berechnet. Die Tabelle 4 zeigt auf, wie der nominale Kalkulationszinssatz für die vorliegende Arbeit hergeleitet wird.

Risikofreier Zins	1,00%
+ allgemeines Immobilienrisiko	0,75%
+ objektspezifisches Risiko	
- Makrolage (Gemeinde Bern)	0,10%
- Nutzung	0,20%
./. Inflation	0,08%
Kalkulationszinssatz nominal	1,97%

Tabelle 4: Herleitung Kalkulationszinssatz

Der risikofreie Zins wird anhand des Mittelwertes der Monatsrenditen der Bundesobligationen zwischen 2008 und 2017 berechnet (SNB, 2018). Die Werte für das allgemeine und objektspezifische Immobilienrisiko werden der Richtlinie Immobilienbewertung von Immobilien Stadt Bern entnommen (2018a, S. 16-17). Die Inflation wird mit dem geometrischen Mittel der Wachstumsrate des Landesindex der Konsumentenpreise zwischen 2008 und 2017 berechnet (BFS, 2018a). Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, ergibt dies einen nominalen Kalkulationszinssatz von 1,97 Prozent.

Preisänderung „Bau“ nominal	0,41%
Preisänderung „Verwaltung und Dienstleistungen“ nominal	1,07%
Preisänderung „Ver- und Entsorgung“ nominal	0,75%

Tabelle 5: Zusammenstellung Preisänderung nominal

Die Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die nominalen Preisänderungsfaktoren, die für die Berechnung angewendet werden. Die Preisänderung „Bau“ wird mit dem geometrischen Mittel der Wachstumsrate des Schweizerischen Baupreisindex für Hochbau der Grossregion Espace Mittelland berechnet (BFS, 2018b). Die anderen beiden Preisänderungsfaktoren werden mit dem geometrischen Mittel der Wachstumsrate der jeweiligen Kostengruppe des Landesindex der Konsumentenpreise ermittelt. Dabei wird für die Preisänderung „Verwaltung und Dienstleistungen“ die Kostengruppe „Dienstleistungen für laufende Wohnungsreparaturen“ und für die Preisänderung „Ver- und Entsorgung“ die Kostengruppe „Energie“ verwendet (BFS, 2018a). Berücksichtigt werden jeweils die Jahreswerte zwischen 2008 und 2017. Beim Schweizerischen Baupreisindex und beim Landesindex der Konsumentenpreise handelt es sich um nominale Werte.

Alle Kosten, die nicht zum Referenzzeitpunkt im Jahr 0 anfallen, werden einerseits mit dem Kalkulationszinssatz diskontiert und andererseits mit dem entsprechenden Preisänderungsfaktor aufgezinst. Für die Erstellungs- und Instandsetzungskosten sowie die Kosten am Ende des Lebenszyklus wird der Preisänderungsfaktor „Bau“ angewendet. Für die Kostengruppen Verwaltung, Reinigung und Pflege, Überwachung und Instandhaltung, Kontrolle und Sicherheit sowie Abgaben und Beiträge wird der Preisänderungsfaktor „Verwaltung und Dienstleistungen“ und für die Kostengruppe Ver- und Entsorgung der Preisänderungsfaktor „Ver- und Entsorgung“ benutzt.

Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, muss in der Schweiz bei allen Kostengruppen die Mehrwertsteuer dazugerechnet werden. In der Schweiz liegt diese seit dem 01.01.2018 bei 7,7 Prozent (ESTV, 2018).

3.2 Planungsgrundlagen

Damit die Lebenszykluskosten eines modularen mit denjenigen eines konventionellen Schulbaus verglichen werden können, wird für beide Bautypen je ein flächenkongruentes Musterprojekt definiert. Die beiden Projekte werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

3.2.1 Baubeschrieb

Der Holzmodulbau wird in komplett vormontierten und selbsttragenden Modulen angeliefert und steht auf Streifen- oder Punktfundationen. Die gewählte Verbindungsart gewährleistet eine problemlose De- und Wiedermontage an einem neuen Standort. Die Raumeinheiten können erweitert und beliebig kombiniert werden. Die Dimensionierung der Module orientiert sich einerseits an einem angemessenen architektonischen Zuschnitt des Raumes und andererseits an den maximal zulässigen Abmessungen für den Transport. Sämtliche Installationen werden werkseitig vorgefertigt und in die Module eingelegt. Die Boden-, Wand- und Deckenkonstruktion besteht aus verleimten Brettschichtbalken und einer Tragschicht aus Mehrschichtplatten mit zwischenliegender Mineralwolldämmung. Die äussere Fassadenverkleidung besteht aus zementgebundenen Spanplatten. In den Unterrichtsräumen sind die Wände mit Fichtenholz und die Decken mit Akustikelementen beplankt. In den restlichen Räumen werden Wände und Decken mit Gipsfaserplatten beplankt, die mit einem Dispersionsanstrich bemalt sind. In den Nasszellen wird ein wasserabweisender Zweikomponenten-Anstrich aufgetragen. Die Fensterelemente sind aus Holz und haben eine Dreifach-Isolierverglasung. Das Flachdach besteht aus einer Folien-

abdichtung und einer extensiven Dachbegrünung. In sämtlichen Räumen gibt es Lino-
leum-Bodenbeläge. Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe
und die Wärmeverteilung über Wandheizkörper. Durch dezentrale Lüftungsgeräte mit
Wärmerückgewinnung erfüllt die kontrollierte Lüftung die Anforderungen an den Miner-
gie-Standard. Gesamthaft erfüllt das Gebäude den Energie- und Baustandard
Minergie-Eco.

Beim konventionellen Bau wird von einem Massivbau mit Aussendämmung und vorge-
hängter Fassadenverkleidung ausgegangen. Der wesentliche Unterschied besteht darin,
dass ein Grossteil der Bauteile nicht im Werk vorgefertigt, sondern direkt vor Ort auf der
Baustelle gefertigt werden. Damit ein Vergleich zulässig ist, wird auch beim Massivbau
kein Untergeschoss eingerechnet. Der Ausbaustandard ist höher als derjenige des Modul-
baus. In den Unterrichtsräumen werden Parkettböden und in den restlichen Räumen Na-
tursteinbeläge eingebaut. In den Nasszellen sind sowohl die Böden als auch die Wände
mit Keramikplatten belegt. Die Wände in den Unterrichtsräumen werden in Sichtbeton
vorgesehen. Die äussere Fassadenverkleidung, die Fensterelemente, das Flachdach und
die Wärmeerzeugung sind gleich wie bei der modularen Bauweise. Die Wärmeverteilung
erfolgt jedoch nicht über Wandheizkörper, sondern über eine Bodenheizung. Insgesamt
erfüllt der Massivbau die Anforderungen an den Energie- und Baustandard
Minergie-P-Eco.

3.2.2 Raum- und Funktionsprogramm

Damit ein systematischer Vergleich gewährleistet werden kann, liegt beiden Bautypen
das identische Raum- und Funktionsprogramm zugrunde. Als Grundlage dient ein Mo-
dulbau mit sechs funktionalen Einheiten, der sowohl in der Stadt Bern als auch in der
Stadt Zürich bereits mehrfach eingesetzt wird. Je nach Bedarf kann das Objekt für sechs
Schulklassen ohne Spezialräume oder für vier Schulklassen mit zwei Spezialräumen, wie
beispielsweise ein Musik- und Werkraum, genutzt werden. Auf jedem der drei Geschosse
befinden sich zwei Unterrichtsräume, zwei Gruppenräume, Toilettenanlagen, ein Putz-
oder Technikraum sowie ein Raum, der je nach Bedarf als Lager-, Aufenthalts- oder Ar-
beitsraum genutzt werden kann. Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, werden beide Bauty-
pen ohne Untergeschoss berechnet. Der Unterschied zwischen der konventionellen- und
der Modulbauweise besteht einerseits in der Form und somit in der Fläche der Fassaden-
abwicklung des Gebäudes. Andererseits liegen die Treppenanlage und der Lift beim kon-
ventionellen Bau innerhalb- und beim Modulbau ausserhalb des Gebäudes. Die lichte
Raumhöhe ist in einem konventionellen Bau etwas höher als in einem Modulbau. Da bei

einem Modulbau jedoch jeweils ein Decken- und Bodenelement aufeinandergelegt wird, ist die Konstruktionshöhe des Modulbaus doppelt so hoch wie diejenige des konventionellen Baus. Dadurch ergibt sich insgesamt dieselbe Gebäudehöhe. Die Abbildung 7 und 8 zeigen exemplarisch den Erdgeschossgrundriss der beiden Bautypen. Die Grundrisse aller Geschosse befinden sich im Anhang 3 und das ausführliche Raumprogramm im Anhang 4.

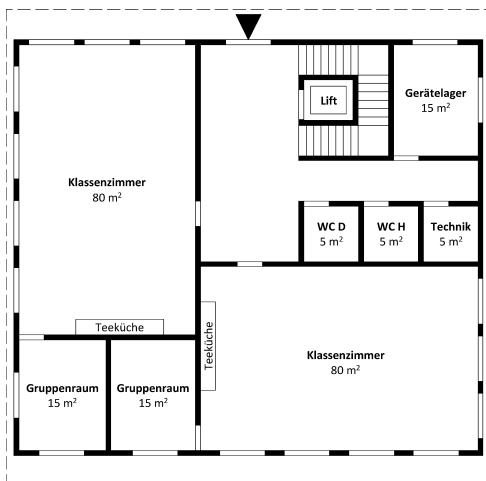


Abbildung 7: Massivbau Erdgeschoss, Masstab 1:300

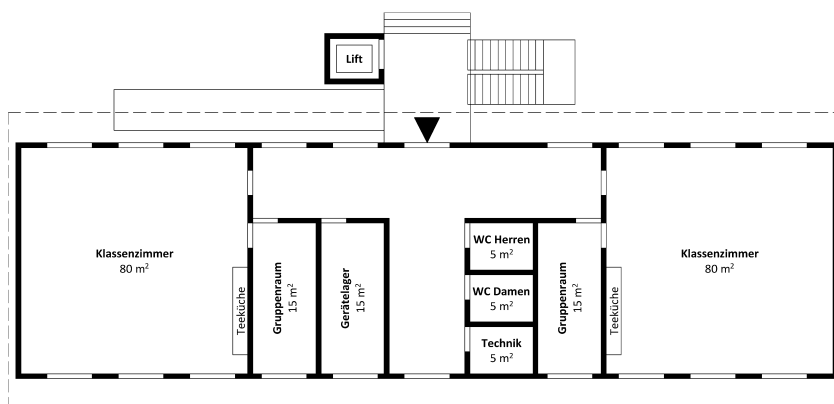


Abbildung 8: Modulbau Erdgeschoss, Masstab 1:300

3.2.3 Terminrahmen

Einer der wesentlichsten Unterschiede zwischen modularen- und konventionellen Bauten ist wie in Kapitel 2.3.2 erläutert die Planungs- und Bauzeit. Anhand verschiedener Referenzprojekte der Stadt Bern werden für beide Bautypen Muster-Terminprogramme erstellt. Der Prozess startet mit dem Projektauftrag an das jeweilige Baufachorgan und endet mit der Übergabe der Schulanlage an den Betrieb und die Nutzer. Die Phase der strategischen Planung wird nicht berücksichtigt.

Ob eine Machbarkeitsstudie notwendig ist und wie lange diese dauert, ist in den meisten Fällen vom Standort und nicht vom Bautyp abhängig. Deshalb wird für diese Phase für

beide Objektarten dieselbe Dauer eingerechnet. Auch für die nächste Phase, beim konventionellen Bau das Planerwahlverfahren und beim Modulbau die TU-Ausschreibung, kann von derselben Zeitspanne ausgegangen werden. In der Tendenz ist es aber so, dass durch einen Rahmenvertrag die TU-Ausschreibung eher verkürzt werden kann. Im Gegensatz dazu wird das Planerwahlverfahren durch einen allfälligen Architekturwettbewerb tendenziell verlängert. Ein grosser Unterschied ist die Bearbeitungszeit des Vor- und Bauprojektes. Während bei einem Modulbau drei Monate ausreichen, muss bei einem konventionellen Bau mit einem Jahr gerechnet werden, bis die Baueingabe eingereicht werden kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beim Modulbau der Gestaltungsspielraum innerhalb des gewählten Systems eingeschränkt ist. Zusätzlich sind die Bauherren- und Nutzervertretungen entscheidungsfreudiger, weil alle Beteiligten unter Zeitdruck stehen und von einer beschränkten Nutzungsdauer ausgegangen wird. Das Bewilligungsverfahren wiederum dauert in der Stadt Bern bei beiden Bautypen gleich lang. Auch das Einspracherisiko kann als gleich hoch eingestuft werden. Die Folgen einer Bauverzögerung können bei Modulbauten jedoch kostspieliger werden als bei konventionellen Bauten. Sind die Module produziert, besteht der Unternehmer im Normalfall auf eine möglichst rasche Auslieferung. Falls die Baubewilligung noch nicht vorliegt, muss der Bau im schlimmsten Fall auf Kosten des Eigentümers an einem geschützten Standort zwischengelagert und kann erst sobald die Baubewilligung vorliegt, am vorgesehenen Standort aufgebaut werden. Es ist deshalb empfehlenswert, die Produktion der Module erst bei Vorliegen der Baubewilligung auszulösen.

Beim konventionellen Bau beginnt während der Bewilligungsphase bereits die Ausschreibung. Die Ausführungsplanung kann jedoch erst begonnen werden, wenn der Baukredit durch die politischen Instanzen genehmigt wurde und die Baubewilligung vorliegt. Zwischen diesem Meilenstein und dem Baubeginn wird in der Regel mit einer Dauer von einem halben Jahr gerechnet. Beim Massivbau kann von einer einjährigen Bauzeit ausgegangen werden. Insgesamt ergibt dies für die konventionelle Bauweise eine Planungs- und Bauzeit von vier Jahren.

Die Zeitspanne zwischen dem Meilenstein der Genehmigung des Baukredits und der Übergabe an den Betrieb ist bei der modularen Bauweise kürzer als beim Massivbau. Nach der Genehmigung des Baukredits und der Baubewilligung dauert es gerade mal einen Monat, bis die Modulbauproduktion im Werk gestartet werden kann. Parallel dazu können bereits die Vorbereitungsarbeiten auf der Baustelle, wie beispielsweise die Terrainvorbereitung, Baustelleneinrichtung, Kanalisation, Foundation und die Erstellung des

Liftschachtes ausgeführt werden. Danach werden die Module vor Ort montiert und die Umgebungsarbeiten ausgeführt. Dies führt zu einer Planungs- und Bauzeit von rund zwei-einhalb Jahren.

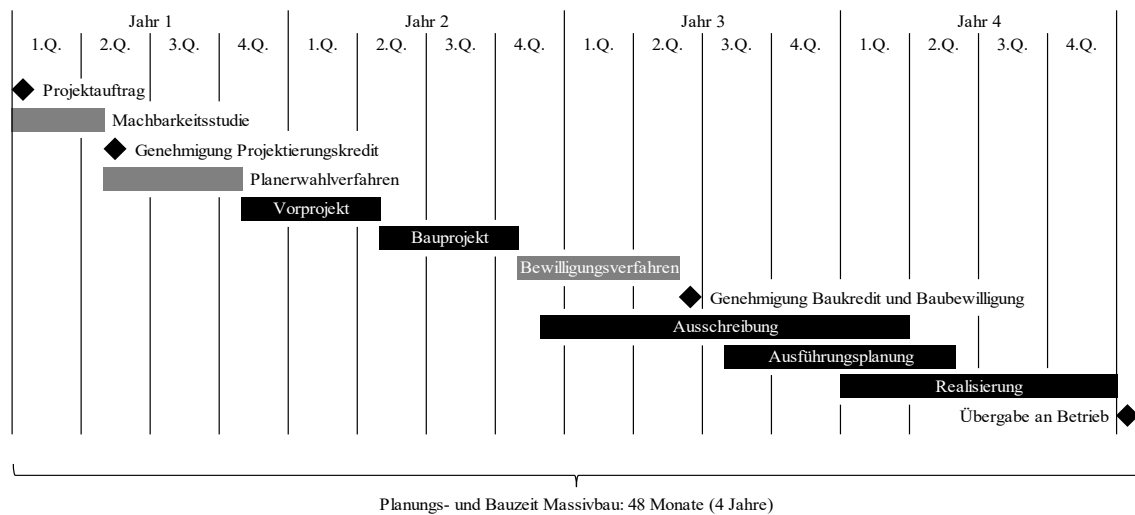


Abbildung 9: Terminrahmen Massivbau (■ unterschiedliche Zeitdauer, ■ identische Zeitdauer)

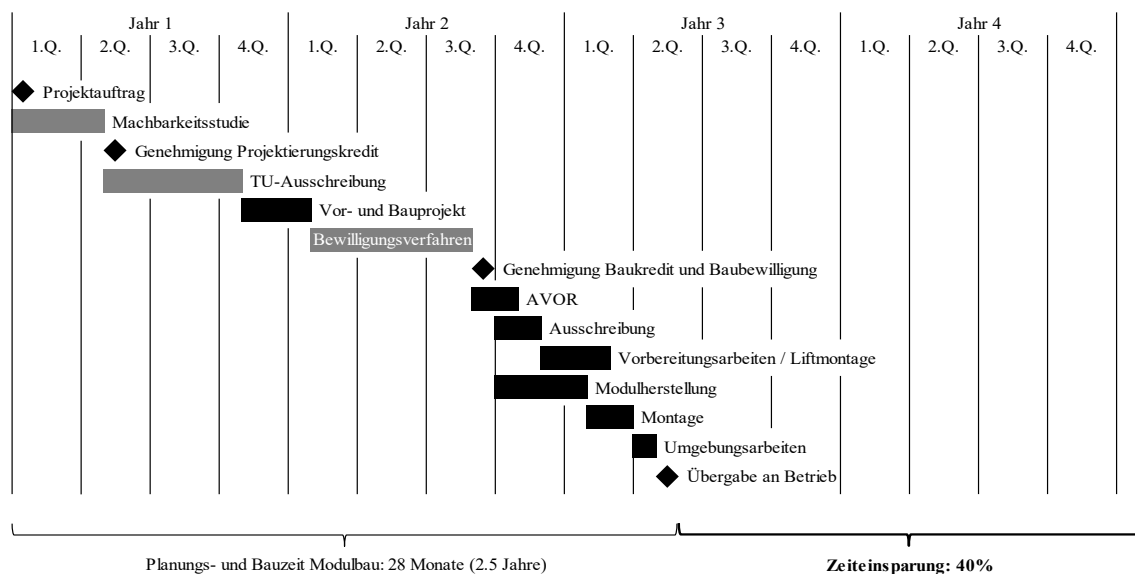


Abbildung 10: Terminrahmen Modulbau (■ unterschiedliche Zeitdauer, ■ identische Zeitdauer)

Wenn man die Terminrahmen der beiden Bautypen in der Abbildung 9 und 10 miteinander vergleicht, zeigt sich, dass mit der Modulbauweise eineinhalb Jahre Planungs- und Bauzeit eingespart werden. Dies entspricht einer Zeiteinsparung von rund 40 Prozent. Dieses Resultat deckt sich mit dem Ergebnis von Mah (2011, S. 43), das in der Abbildung 6 in Kapitel 2.3.2 illustriert wird. Grund für die Zeiteinsparung ist einerseits die kürzere Vor- und Bauprojektphase und andererseits die kürzere Ausführungsplanungs- und Realisierungsphase. Falls das Baufachorgan bereits Erfahrung mit Modulbauten hat und der Hersteller bereits bekannt ist, kann nochmal ein halbes Jahr eingespart werden. Denn in diesem Fall kann auf die TU-Ausschreibung verzichtet werden. Was bei der Planung des

Modulbau nicht unterschätzt werden darf ist, dass vor der Produktion der Module die Detailplanung abgeschlossen sein muss. Im Gegensatz dazu ist es bei der konventionellen Bauweise üblich, dass gewisse Entscheidungen auch noch während der Ausführungsphase gefällt werden können. Beim Modulbau wird der Zenit der Planungsintensität somit zu einem früheren Zeitpunkt erreicht, als dies beim Massivbau der Fall ist. Neben den tieferen Planungskosten wirkt sich die kürzere Planungs- und Bauzeit auch positiv auf die Kapitalkosten aus. Diese werden bei der Berechnung der Erstellungskosten in Kapitel 3.3 berücksichtigt.

3.3 Erstellungskosten

Die Erstellungskosten werden mit dem Tool „eKos.hsb“ Version 113 von Hochbau Stadt Bern, das auf dem Baukostenplan Hochbau basiert, berechnet. Die relevanten Parameter sind die jeweiligen Kostenkennwerte und die dazugehörigen Bezugsgrössen. Letztere werden anhand des Raum- und Funktionsprogramms gemäss Kapitel 3.2.2 berechnet. Die Kostenkennwerte werden dem Katalog der Kalkulationsgrundlagen nach Elementen (HSB, 2017) entnommen. In diesem Kapitel liegt der Schwerpunkt auf den Kostengruppen, die sich bei den beiden Bautypen unterscheiden. Die vollständigen Berechnungen befinden sich im Anhang 5 und 6.

Die Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Kosten des Modul- und Massivbaus und den jeweiligen Abweichungen zwischen den beiden Bautypen. Die Foundation besteht bei einem Massivbau im Normalfall aus einer Bodenplatte, während bei einem Modulbau Streifen- oder Punktfundamente genügen. Dies führt dazu, dass beim Massivbau die Aushub- und Kanalisationsarbeiten aufwändiger sind und somit auch die Vorbereitungsarbeiten umfangreicher ausfallen. Der Liftschacht wird bei beiden Bautypen vor Ort betoniert. Die Wand- und Deckenkonstruktion wird für den Modulbau werkseitig unter einfacheren Bedingungen vorgefertigt, was sich positiv auf die Kosten auswirkt. Des Weiteren gibt es im Modulbau weniger Deckendurchbrüche, weil sich die vertikale Erschliessung, d.h. die Stahltreppe und der Lift, ausserhalb des Gebäudes befindet. Auch bei den Elektro- und Wasseranlagen sowie bei den lufttechnischen Anlagen wirkt sich die Installation im Werk positiv auf die Kosten aus.

Position eBKP-H	Massivbau in CHF	Modulbau in CHF	Abweichung in %
B Vorbereitung	248'400	207'000	17
C Konstruktion Gebäude	453'867	340'400	25
D Technik Gebäude	556'000	482'400	13
E Äussere Wandbekleidung Gebäude	505'540	492'312	3
F Bedachung Gebäude	83'490	90'160	-8
G Ausbau Gebäude	688'000	458'000	33
I Umgebung Gebäude	278'300	278'300	0
J Ausstattung Gebäude	238'353	233'703	2
V Planungskosten	726'112	490'863	32
W Nebenkosten	92'000	92'000	0
Y Reserve, Teuerung	219'740	178'176	19
Z Mehrwertsteuer	314'915	257'435	18
Total Anlagekosten (ohne Kapitalkosten)	4'404'716	3'600'749	18
BKP 2 / m ² GF	3'387	2'648	22

Tabelle 6: Kostenabweichungen Massiv- und Modulbau

Die Wärmeerzeugung erfolgt sowohl beim Massivbau als auch beim Modulbau über eine Luft/Wasser-Wärmepumpe. Die Wärmeverteilung unterscheidet sich jedoch: Im Modulbau erfolgt diese über Wandheizkörper und im Massivbau über eine Fussbodenheizung. Für äussere Wandbekleidungen unter Terrain wird beim Massivbau mit einem Pauschalbetrag von CHF 10'000 gerechnet, während beim Modulbau keine Arbeiten unter Terrain notwendig sind. Der Quadratmeterpreis für die äussere Wandbekleidung über Terrain wird beim Modulbau CHF 100 tiefer angesetzt als beim Massivbau. Dies hat hauptsächlich mit der Vorfabrikation im Werk, dem hohen Standardisierungsgrad und der schnellen Montage auf der Baustelle zu tun. Trotzdem ist die Differenz von drei Prozent zwischen den beiden Bautypen gering. Dies liegt darin begründet, dass die Fassadenfläche beim Modulbau aufgrund der Form um 20 Prozent grösser ist als diejenige des Massivbaus. Bei beiden Bauten wird dieselbe Fassadenverkleidung, eine zementgebundene Spanplatte, eingerechnet.

Ein entscheidender Kostenunterschied zwischen den beiden Bautypen ergibt sich aus dem unterschiedlichen Ausbaustandard. Während beim Massivbau aufwändigere Sichtbetonwände, Keramikplatten in den Nasszellen und Parkettböden in den Unterrichtsräumen eingerechnet werden, kommt der Modulbau mit Fichtenholzbeplankungen in den Unterrichtsräumen, Gipsfaserplatten mit einem Dispersionsanstrich oder einem wasserabweisenden Zweikomponenten-Anstrich und Linoleum-Bodenbelägen aus. Es ist deutlich er-

kennbar, dass beim Modulbau der Fokus auf der Funktionalität und weniger auf der Ästhetik liegt. Die Differenz bei den Ausstattungskosten von zwei Prozent ist auf den Kostenteil Kunst und Bau, der jeweils ein Prozent der eBKP-H Positionen B bis G ausmacht, zurückzuführen.

Ein weiterer erheblicher Unterschied betrifft die Planungskosten. Bei einem konventionellen Massivbau rechnet Hochbau Stadt Bern mit 20 Prozent der eBKP-H Positionen B bis J für die Kosten von externen Planern und Unternehmern. Bei Modulbauten liegt dieser Wert deutlich tiefer. Am Beispiel des Modulbaus Wyssloch in der Stadt Bern konnte nachgewiesen werden, dass der Anteil der Planungskosten lediglich bei 15 Prozent liegt. Die wesentlichste Begründung für die unterschiedlichen Planungskosten ist, dass die Planungs- und Bauzeit wie in Kapitel 3.2.3 aufgezeigt rund 40 Prozent kürzer ist als diejenige eines Massivbaus. Hinzu kommt, dass bei der Planung des Modulbaus ein grosser Wiederholungseffekt besteht und dadurch die Architekturleistung, die sich in den Planungskosten niederschlägt, geringer ist. Dies ist aber nur deshalb der Fall, weil vorgängig durch ein Planerteam bereits ein System entwickelt wurde. Um die Entwicklung und Weiterentwicklung eines Systems abzugelten wird in der Regel eine Lizenzgebühr pro Einheit verrechnet. Dies ist gemäss Auskunft von Bauart Architekten beispielsweise für den in den 1990er-Jahren entwickelten „Züri Modular“-Pavillon für die Stadt Zürich der Fall (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2017, S. 5). Im Beispiel der Stadt Bern wurde mit einer TU-Ausschreibung, ohne Einbezug von Planern, ein bestehendes System übernommen. Für die Systementwicklung sind somit keine Kosten angefallen, weshalb sie in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden. Ein weiterer Grund für die tieferen Planungskosten ist gemäss Auskunft eines Unternehmers, dass der Gewinn eines Modulbauherstellers mit der Produktion der Module und nicht mit der Planungsleistung generiert wird. Hinzu kommen bei beiden Bautypen interne Planungskosten – d.h. die Aufwendungen von Hochbau Stadt Bern – von 3,8 Prozent. Damit auch die Kapitalkosten in die Gesamtbetrachtung einfließen, wird der Present Value (Barwert) aller anfallenden Kosten während der Planungs- und Bauzeit zum Zeitpunkt der Fertigstellung (Jahr 0) berücksichtigt. Als Kalkulationszinssatz wird der in Kapitel 3.1 hergeleitete Wert verwendet.

Wie aus der Tabelle 6 hervorgeht, bestehen die grössten Unterschiede zwischen den beiden Bautypen in den Positionen Konstruktion, Ausbau und Planungskosten. Die Gebäudebedachung ist trotz identischem Kostenkennwert beim Modulbau teurer als beim Massivbau. Dies ist auf die im Musterprojekt grössere Dachfläche des Modulbaus gegenüber

der kompakteren Gebäudeform und damit kleineren Dachfläche des Massivbaus zurückzuführen.

Zur Plausibilisierung werden die Kennwerte von BKP 2 Baukosten pro m² Geschossfläche mit vergleichbaren Referenzprojekten verglichen. Die Tabelle 7 zeigt, dass das in der vorliegenden Arbeit gerechnete Musterprojekt für einen Massivbau mit einem Wert von CHF 3'387 nahe am Durchschnitt liegt und das Resultat somit plausibel erscheint.

Bauprojekt	Anlagekosten in CHF	Geschossfläche in m ²	Hauptnutzfläche in m ²	CHF BKP 2 / m ² GF
Neubau VS Brünnen, Bern (ohne Turnhalle)	17'704'000	4'378	2'415	3'185
Musterprojekt Massivbau	4'404'716	920	600	3'387
Erweiterungsbau VS Pestalozzi, Bern	10'900'000	2'014	1'078	3'541
Ersatzneubau BS Sulgenbach, Bern	3'526'000	730	445	3'810
Neubau VS Depotstrasse, Bern	7'305'000	1'142	620	4'159

Tabelle 7: Kostenkennwerte Referenzprojekte Massivbau

Beim Modulbau ist hauptsächlich das Referenzprojekt Modulbau Wyssloch, das flächenmassig exakt dem gerechneten Modulbau entspricht, relevant. Dementsprechend ist es auch nicht überraschend, dass die Kostenkennwerte der beiden Bauten in der Tabelle 8 nahe beieinanderliegen. Der geringe Unterschied liegt hauptsächlich darin begründet, dass der Kostenkennwert des Musterprojektes von eBKP-H in BKP umgewandelt werden musste und somit als Annäherungswert zu verstehen ist.

Bauprojekt	Anlagekosten in CHF	Geschossfläche in m ²	Hauptnutzfläche in m ²	CHF BKP 2 / m ² GF
Modulbau Wyssloch, Bern (6 Einheiten)	3'640'000	920	600	2'610
Musterprojekt Modulbau	3'600'749	920	600	2'648
Modulbau Pestalozzi, Bern (4 Einheiten)	2'402'000	696	396	2'943

Tabelle 8: Kostenkennwerte Referenzprojekte Modulbau

3.4 Verwaltungs- und Betriebskosten

Aufgrund ähnlicher Aussagen verschiedener Experten, unter anderem der Stadt Zürich und der Stadt Bern, wird angenommen, dass die Verwaltungs- und Betriebskosten bei modularen- und konventionellen Neubauten mit identischem Raum- und Funktionsprogramm gleich sind. Die einzigen Unterschiede, welche die Betriebskosten beeinflussen

könnten, sind die unterschiedlichen Oberflächen in den Innenräumen und der unterschiedliche Energiestandard. Der Massivbau erfüllt die Anforderungen an den Energie- und Baustandard Minergie-P-Eco, während der Modulbau mit dem Label Minergie-Eco zertifiziert wird. Gemäss Produktreglement zu den Gebäudestandards (Minergie Schweiz, 2017b, S. 42) müssen Schulen mit dem Minergie Standard eine Minergie-Kennzahl MKZ (Gesamtenergiebedarf für den Betrieb des Gebäudes) von 45 kWh pro m² und Jahr einhalten. Im Gegensatz dazu dürfen Schulgebäude mit dem Minergie-P Standard den Wert von 40 kWh pro m² und Jahr nicht überschreiten, was einer Differenz von rund elf Prozent entspricht. Minergie-Eco ist ein Zusatzprodukt, das ein Bewertungssystem für gesundes und ökologisches Bauen definiert und baut auf den Standards Minergie und Minergie-P auf (Minergie Schweiz, 2017a, S. 1).

Von den in der Stadt Bern in Planung befindlichen konventionellen Schulneubauten mit einem ähnlichen Energiestandard wurden bis heute wenige fertiggestellt. Daher ist die Anzahl zu klein und die Vergleichbarkeit zu den hier behandelten Musterprojekten nicht gegeben, als dass diese Daten als Berechnungsgrundlage dienen könnten. Hinzu kommt, dass die Heiz- und Betriebskostenabrechnungen bei Immobilien Stadt Bern nicht in nachvollziehbare Kostengruppen gegliedert werden, was den Vergleich zu den Benchmarks erschwert. Die internen Werte können jedoch zur Plausibilisierung der Berechnungen herangezogen werden. Grundlage bilden die in der Tabelle 9 abgebildeten Kostenkennwerte der Objektart „Unterricht, Bildung und Forschung“ vom FM Monitor Benchmarking 2017 (pom+ Consulting AG, 2017a, S. 7). Da die Kostenkennwerte im FM-Monitor ohne Mehrwertsteuer angegeben werden, wird diese in der Tabelle 9 nachträglich dazu gerechnet. Ein Beschrieb der jeweiligen Kostenarten gemäss FM Monitor Wiki (pom+ Consulting AG, 2017b) befindet sich im Anhang 7.

Kostengliederung	25% Quantil CHF / m ² GF	Median CHF / m ² GF	75% Quantil CHF / m ² GF
Verwaltungs- und Betriebskosten	36,05	54,80	86,90
Verwaltung	2,90	4,30	4,85
Betrieb	33,15	50,50	82,05
Ver- und Entsorgung	10,35	13,70	21,00
Reinigung und Pflege	8,30	14,75	25,85
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)	12,80	18,40	29,30
Kontrolle und Sicherheit	0,75	2,05	3,55
Abgaben und Beiträge	0,95	1,60	2,35

Tabelle 9: Kostenkennwerte Verwaltungs- und Betriebskosten (vgl. pom+ Consulting AG, 2017a, S. 7)

Die Verwaltung und der Betrieb des Modulbaus Wyssloch, der dem Musterprojekt der vorliegenden Arbeit entspricht, kosteten in der Abrechnungsperiode vom 1. Juli 2016 bis 30. Juni 2017 gerundet CHF 55'000. Dies ergibt pro m² Geschossfläche und Jahr einen Betrag von gerundet CHF 59,00 (ISB, 2017; vgl. Anhang 8). Dieser Wert liegt etwas über dem Median in der Tabelle 9 und wird für die Berechnung in der Tabelle 10 als Grundlage für den Modulbau definiert. Die Unterkategorien werden gemäss der typischen Kostenverteilung gemäss FM Monitor Benchmarking 2017 (pom+ Consulting AG, 2017a, S. 7) berechnet.

Kostengliederung	Massivbau CHF / m ² GF	Modulbau CHF / m ² GF
Verwaltungs- und Betriebskosten	57,40	59,00
Verwaltung	4,45	4,45
Betrieb	52,95	54,55
Ver- und Entsorgung	13,15	14,75
Reinigung und Pflege	15,95	15,95
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)	19,75	19,75
Kontrolle und Sicherheit	2,35	2,35
Abgaben und Beiträge	1,75	1,75

Tabelle 10: Verwaltungs- und Betriebskosten Massiv- und Modulbau

Von den Ver- und Entsorgungskosten des Massivbaus werden entsprechend der Differenz der Minergie-Kennzahl MKZ gegenüber dem Modulbau elf Prozent abgezogen. Der Unterschied der Reinigungs- und Pflegekosten der beiden Bautypen ist vernachlässigbar. Während die Reinigung und Pflege eines Parkettbodens im Massivbau sicherlich aufwändiger ist als diejenige eines Linoleumbodens im Modulbau, wird dieser Vorteil durch die aufwändigere Reinigung und Pflege der Nasszellen im Modulbau wieder aufgehoben. Mit CHF 57,40 pro m² Geschossfläche und Jahr sind die Verwaltungs- und Betriebskosten des Massivbaus über die gesamte Geschossfläche betrachtet pro Jahr CHF 1'472 günstiger als diejenigen des Modulbaus.

3.5 Kosten für Miete und Pacht

Beim Vergleich der Lebenszykluskosten von modularen und massiven Schulbauten fallen keine Kosten für Miete und Pacht an.

3.6 Instandsetzungs- und Erneuerungskosten

Die Instandsetzungskosten werden gemäss Kapitel 2.2.3 anhand eines prozentualen Anteils an den Erstellungskosten berechnet. Die Nutzungsdauer der Bauteile von Massiv-

und Modulbauten wird gemäss den Kriterien des Handbuchs Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken (CRB, 2012b) geschätzt.

eBKP-H	Bezeichnung	Nutzungsdauer Massivbau in Jahren	Nutzungsdauer Modulbau in Jahren	Anteil IS/a in %
C	Konstruktion Gebäude	80	70	0,01
D	Technik Gebäude			
D1-4	Elektroanlage	40	40	0,84
D5	Wärmeanlage	30	35	0,66
D6	Kälteanlage	30	30	0,86
D7	Lufttechnische Anlage	20	20	1,10
D8	Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	30	30	0,98
D9	Transportanlage	30	30	1,78
E	Äussere Wandbekleidung Gebäude			
E2	Äussere Wandbekleidung über Terrain	35	35	0,01
E3	Einbaute zu Aussenwand	35	35	0,01
E3.3	Sonnenschutz	20	20	0,01
F	Bedachung Gebäude	35	35	0,01
G	Ausbau Gebäude	35	25	0,01
I	Umgebung Gebäude	60	60	0,01
V	Planungskosten	60	60	-

Tabelle 11: Nutzungsdauer und Anteil Instandsetzung (vgl. AMEV, 2013, S. 27; IFMA, 2011a; CRB, 2012b, S. 14-35)

Die Tabelle 11 zeigt, dass sich die beiden Bautypen in den Kostengruppen Konstruktion Gebäude, Wärmeanlage und Ausbau unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass eine Holzkonstruktion eine etwas kürzere Lebensdauer hat als eine Betonkonstruktion. Weil die Nutzungsdauer der Konstruktion beider Bautypen jedoch über den Betrachtungszeitraum hinausgeht, hat dies keinen Einfluss auf die Lebenszykluskostenermittlung. Obwohl bei beiden Bautypen eine Luft/Wasser-Wärmepumpe eingesetzt wird, ist die Nutzungsdauer der Wärmeanlage gesamthaft unterschiedlich. Dies hat damit zu tun, dass die Wärmeverteilung im Modulbau mit Wandheizkörpern mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren und im Massivbau mit einer Fussbodenheizung mit einer Nutzungsdauer von 30 Jahren erfolgt. Wie in Kapitel 3.2.1 erläutert, ist der Ausbaustandard der beiden Bautypen unterschiedlich. Während ein Parkettboden eine Nutzungsdauer von 40 Jahren hat, beträgt die durchschnittliche Lebensdauer eines Linoleumbodens rund 20 Jahre. Auch die Keramikplatten in den Nassräumen sind mit einer Nutzungsdauer von 30 Jahren beständiger als Gipsfaserplatten mit einem Dispersionsanstrich (CRB, 2012b, S. 33-35).

Dies hat zur Folge, dass die Nutzungsdauer des Ausbaus beim Massivbau länger ist als diejenige beim Modulbau.

3.7 Kosten am Ende des Lebenszyklus

Die Kosten am Ende des Lebenszyklus sind die am schwierigsten zu prognostizierenden Ausgaben. Einerseits liegt diese Phase zeitlich am weitesten entfernt und andererseits gibt es wenige Kostenkennwerte. Da diese Kosten im Vergleich zu den anderen Aufwendungen kaum relevant sind, kann die Ungenauigkeit der Prognose akzeptiert werden. Für den Massivbau gilt gemäss dem Katalog der Kalkulationsgrundlagen nach Elementen die grobe Annahme von CHF 50 pro m³ abzubrechendes Gebäudevolumen (HSB, 2017, S. 7). Für den massiven Teil des Modulbaus, die Foundation und den Liftschacht, kann derselbe Benchmark angewendet werden. Beim restlichen Teil des Modulbaus ist jedoch davon auszugehen, dass die gewählte Verbindungsart der Module nicht nur eine problemlose De- und Wiedermontage, sondern auch einen einfachen Rückbau gewährleistet. Gemäss Gerhard Hoffmann (2014, S. 2) lässt sich bei den Rückbaukosten eine Ersparnis von 13,8 Prozent gegenüber der konventionellen Bauweise verzeichnen. Gerundet ergibt dies für den modularen Teil des Baus einen Kostenkennwert von CHF 45 pro m³ abzubrechendes Gebäudevolumen.

3.8 Ergebnisse und Analysen

3.8.1 Langfristige Nutzungsdauer (60 Jahre)

Aufgrund der in den vorherigen Unterkapiteln definierten Berechnungsparameter ergeben sich für die beiden Bautypen die in der Abbildung 11 ersichtlichen Kostenverläufe.

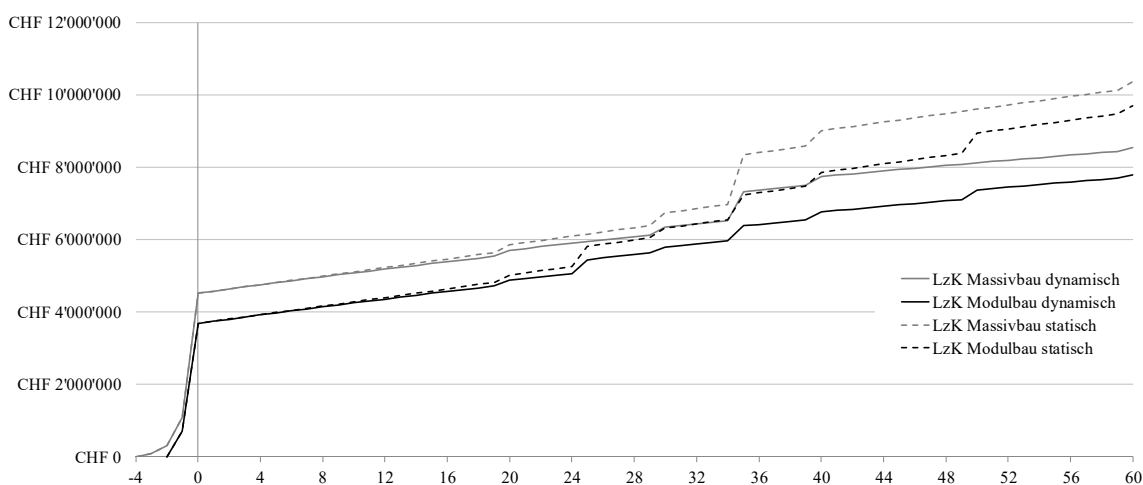


Abbildung 11: Verlauf Lebenszykluskosten Massiv- und Modulbau, 60 Jahre

Die Lebenszykluskosten des Modulbaus liegen während der gesamten Betrachtungsperiode tiefer als diejenigen des Massivbaus. Die Kostenverläufe schneiden sich dabei zu

keinem Zeitpunkt. Die These, dass der Modulbau für eine kurzfristige und der Massivbau für eine langfristige Nutzungsdauer kostengünstiger ist, muss somit verworfen werden. Die Kosten verlaufen ab der Fertigstellung (Jahr 0) der Bauprojekte, mit Ausnahme der zeitlich unterschiedlich anfallenden Erneuerungskosten, mehrheitlich parallel. Die Position der Erstellungskosten macht bei beiden Bautypen rund die Hälfte der gesamten Lebenszykluskosten aus und ist die entscheidende Kostengruppe in Bezug auf die Differenz des Endresultats. Da der Kalkulationszinssatz mit 1,97 Prozent verhältnismässig tief angesetzt wird und auch die Preissteigerung berücksichtigt wird, hält sich der Unterschied zwischen der dynamischen- (durchgezogene Linie) und der statischen Berechnung (gestrichelte Linie) in Grenzen. Auch die Unterschiede zwischen den beiden Bautypen bleiben unabhängig von der Berechnungsmethode gleich.

Kostengruppe	Massivbau		Modulbau		Abweichung	
	in CHF	Anteil in %	in CHF	Anteil in %	in CHF	in %
Erstellungskosten	4'520'696	53	3'685'433	47	835'263	18
Erstellungskosten ohne Kapitalkosten	4'404'716	52	3'600'749	46	803'967	18
Kapitalkosten	115'980	1	84'684	1	31'296	27
Nutzungskosten	4'019'608	47	4'107'532	53	-87'925	-2
Verwaltungs- und Betriebskosten	2'399'782	28	2'462'302	32	-62'520	-3
Instandsetzungskosten	279'350	3	245'380	3	33'970	12
Erneuerungskosten	1'268'445	15	1'333'252	17	-64'807	-5
Kosten am Ende des Lebenszyklus	72'031	1	66'598	1	5'433	8
Total Lebenszykluskosten	8'540'304	100	7'792'965	100	747'338	9

Tabelle 12: Übersicht Lebenszykluskosten Massiv- und Modulbau, 60 Jahre

Die Dominanz der Erstellungskosten ist nicht nur in der Abbildung 11, sondern auch in der Tabelle 12 gut erkennbar. Während die Differenz zwischen den beiden Bautypen in der 60-jährigen Nutzungsphase zwei Prozent beträgt, ist die Differenz der Erstellungskosten mit 18 Prozent deutlich höher. Bei genauerer Betrachtung der Nutzungskosten ist festzustellen, dass der Massivbau bei den Verwaltungs- und Betriebskosten und bei den Erneuerungskosten besser abschneidet. Bei den Verwaltungs- und Betriebskosten kann dies mit den tieferen Energiekosten und bei den Erneuerungskosten mit der längeren Nutzungsdauer einiger Bauteile begründet werden. Auf den ersten Blick erstaunen die beim Modulbau tieferen Instandsetzungskosten. Dies kann einerseits damit erklärt werden, dass die Instandsetzungskosten, wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, durch einen prozentu-

alen Anteil an den Erstellungskosten berechnet werden. Der Bautyp mit den tieferen Erstellungskosten weist somit auch tiefere Instandsetzungskosten auf. Andererseits erleichtert ein gewisses Mass an Standardisierung die Instandsetzung während des gesamten Lebenszyklus, weil dadurch nicht für jedes Projekt teure massgeschneiderte Lösungen entwickelt werden müssen (Kaltenbrunner, 2018, S. 35).

Bei Betrachtung der absoluten Abweichungen in CHF in der Tabelle 12 zeigt sich, dass die Differenz zwischen den beiden Bautypen hauptsächlich durch die Erstellungskosten beeinflusst wird. Die Dominanz der Erstellungskosten bedeutet nicht, dass die Nutzungskosten bei der Lebenszykluskostenbetrachtung unbedeutend sind. Es zeigt nur, dass sie beim Kostenvergleich der beiden Bautypen nicht relevant sind. Die Nutzungskosten machen rund die Hälfte der gesamten Lebenszykluskosten aus. Obwohl die prozentuale Abweichung der Kapitalkosten und der Kosten am Ende des Lebenszyklus zwischen den beiden Bautypen mit 18 und 8 Prozent hoch ist, beträgt der Anteil innerhalb der Lebenszykluskostenberechnung jeweils nur ein Prozent und ist somit unbedeutend. Insgesamt sind die Lebenszykluskosten des Modulbaus um neun Prozent tiefer als diejenigen des Massivbaus, was einem Betrag von aufgerundet CHF 750'000 entspricht. Die detaillierten Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen für eine Betrachtungsperiode von 60 Jahren befinden sich im Anhang 5 und 6.

3.8.2 Plausibilisierung

Die Tabelle 6 in Kapitel 3.3 zeigt, dass innerhalb der Erstellungskosten die grossen Differenzen hauptsächlich in den Positionen Konstruktion, Ausbau und Planungskosten liegen. Die einzige Position, bei der die Kosten des Massivbaus ohne grundsätzliche Änderungen gesenkt werden könnten, ist der Gebäudeausbau. Wenn der identische Ausbaustandard wie beim Modulbau berechnet wird, könnten die Erstellungskosten um rund CHF 325'000 gesenkt werden. Dadurch verringert sich jedoch auch die Nutzungsdauer des Ausbaus, was sich wiederum negativ auf die Erneuerungskosten auswirken würde. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, könnten die Kosten mit dieser Massnahme um rund CHF 200'000 gesenkt werden. Dadurch lässt sich die Differenz der beiden Bautypen von relativ neun Prozent und absolut rund CHF 750'000 auf relativ sieben Prozent und absolut rund CHF 545'000 reduzieren.

Auch wenn die Betrachtungsperiode von 60 auf 100 Jahre erhöht wird, bleibt die Differenz zwischen den beiden Bautypen unverändert (vgl. Anhang 9). Der Anteil der Erstellungskosten an den Lebenszykluskosten sinkt bei der dynamischen Berechnung beim

Massivbau von 53 auf 41 Prozent und beim Modulbau von 47 auf 37 Prozent. Des Weiteren übersteigen die Erneuerungskosten des Massivbaus diejenigen des Modulbaus um acht Prozent, während sie bei der 60-jährigen Betrachtungsperiode fünf Prozent tiefer liegen. Grund dafür ist, dass beim Modulbau nach 70 und beim Massivbau nach 80 Jahren die Konstruktion erneuert werden muss. Dies ist beim Massivbau kostspieliger als beim Modulbau. Ansonsten bleiben die relativen Kostenabweichungen der beiden Bautypen gleich und die Kosten verlaufen nach wie vor parallel.

4. Lebenszykluskostenermittlung kurzfristige Nutzung

Nach der ersten Untersuchung werden im folgenden Kapitel die Lebenszykluskosten für kurzfristige Schulnutzungen ermittelt. Gemäss strategischer Schulraumplanung der Stadt Bern (Gemeinderat der Stadt Bern, 2017c, S. 10) können zur Abdeckung von Spitzen und als kurzfristig umsetzbare Lösungen Modulbauten und Mietobjekte eingesetzt werden. Bei den kurzfristig umsetzbaren Lösungen geht es mehrheitlich darum, die Zeit bis zur Fertigstellung einer definitiven Lösung zu überbrücken. In einem ersten Schritt wird untersucht, bis zu welchem Zeitpunkt ein Mietobjekt kostengünstiger ist als ein Modulbau. In einem zweiten Schritt wird die minimale Nutzungsdauer an einem Standort geprüft, damit eine oder mehrere Versetzungen des Modulbaus gegenüber Mietlösungen an verschiedenen Standorten ökonomisch gerechtfertigt werden können. Dieser Sachverhalt wird am Beispiel von drei Standorten mit der Abbildung 12 visualisiert. Ausserdem zeigt die Abbildung auf, dass nicht der Modulbau, sondern der Standort temporär genutzt wird.

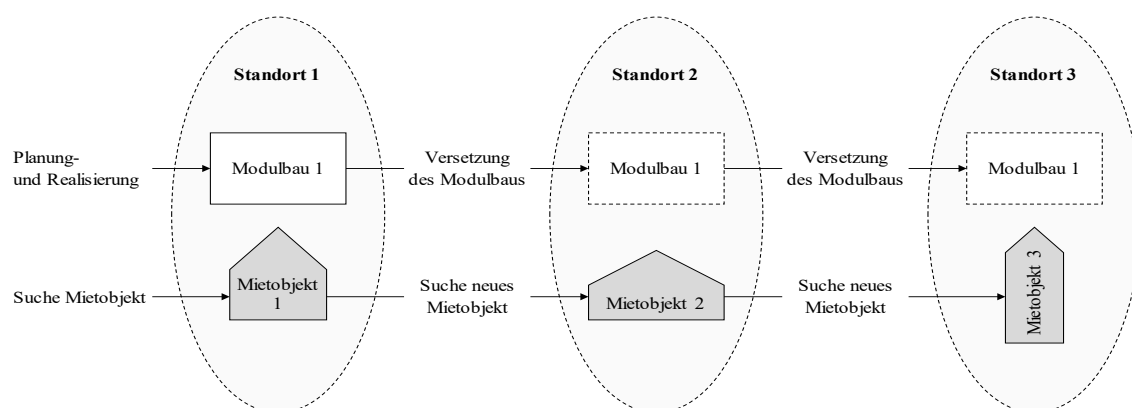


Abbildung 12: Standortwechsel Modulbau und Mietobjekt

Die Methode und die Berechnungsparameter werden von der ersten Untersuchung übernommen. Der einzige Unterschied besteht darin, dass bei beiden Objekttypen die Ver- und Entsorgungskosten nicht mit dem Preisänderungsfaktor „Ver- und Entsorgung“, sondern mit dem Faktor „Verwaltung und Dienstleistungen“, der auch für die restlichen Betriebskosten verwendet wird, aufgezinst werden. Grund dafür ist, dass die Ver- und Entsorgungskosten bei Mietlösungen in den internen Heiz- und Betriebskostenabrechnungen von Immobilien Stadt Bern nicht separat ausgewiesen werden und somit auch nicht separat behandelt werden können.

Beim Modulbau gelten dieselben baulichen Eigenschaften, dasselbe Raum- und Funktionsprogramm wie auch derselbe Terminrahmen wie bei der ersten Untersuchung. Auch beim Mietobjekt wird vom selben Raum- und Funktionsprogramm ausgegangen. Die Pla-

nungs- und Bauzeit ist schwierig zu ermitteln und stark vom jeweiligen Mietobjekt abhängig. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der gesamte Prozess innerhalb weniger Monate abgeschlossen werden kann.

Es muss erwähnt werden, dass die Definition einer kurzfristigen Nutzungsdauer stark vom Betrachter abhängig ist. Ein Kind, das während zwei Jahren in einem Schulbauprovisorium unterrichtet wird, empfindet diese Zeitdauer vermutlich als langanhaltend. Demgegenüber ist eine zweijährige Betriebszeit aus Sicht des Eigentümers eine kurzfristige Dauer. Nachfolgende Untersuchung bezieht sich auf die Sicht des Eigentümers.

4.1 Erstellungskosten und Kosten für den Standortwechsel

Im Gegensatz zur ersten Untersuchung werden bei der Kostenberechnung für eine kurzfristige Nutzung einige Positionen angepasst. Da bei einem temporären Standort niedrigere Anforderungen an den Aussenraum gestellt werden, wird der Kostenkennwert für die Umgebungsarbeiten von CHF 210 auf 100 reduziert. Des Weiteren wird angenommen, dass für eine temporäre Nutzung das vorhandene Mobiliar übernommen wird und somit keine Neuanschaffung notwendig ist. Da bei temporären Bauten keine „Kunst und Bau“ gefordert wird, kann diese Position gestrichen werden. Ansonsten sind die Erstellungskosten des Modulbaus identisch mit den Kosten der ersten Untersuchung. Die Kostenermittlung für die baulichen Anpassungen des Mietobjektes basiert auf dem Median der Baukosten von sieben Referenzprojekten. Wie aus der Tabelle 14 in Kapitel 4.3 hervorgeht, liegt dieser Wert bei CHF 410 pro m² Nutzfläche inklusive Baunebenkosten. Hinzu kommen die Kosten für die Umgebungsgestaltung und die Kapitalkosten. Die Mobiliarkosten sind in diesem Betrag jedoch nicht enthalten.

In der Tabelle 13 ist ersichtlich, wie sich die Kosten für den Standortwechsel zusammensetzen. Die Kosten am alten Standort umfassen beim Modulbau den Rückbau der Erschliessungsleitungen, der Foundation, des Liftschachtes und der Umgebung. Diese Arbeiten werden mit dem Kostenkennwert von CHF 50 pro m³ abzubrechendes Volumen berechnet. Die Kosten am neuen Standort können unverändert von den Vorbereitungsarbeiten der Erstellungskosten des ersten Standortes übernommen werden. Die De- und Wiedermontage ab Oberkante Fundament sowie der Transport des Modulbaus im Umkreis von 20 Kilometern belaufen sich gemäss Kostenvoranschlag des Unternehmers auf CHF 275'000 inklusiv Planungskosten. Die Umgebungskosten können von den Erstellungskosten übernommen werden. Der Kostenzuschlag für die Spielgeräte, der bei den Erstellungskosten des ersten Standorts eingerechnet wird, muss beim Standortwechsel

jedoch abgezogen werden. Dies deshalb, weil die Geräte des ersten Standortes versetzt werden können. Der prozentuale Anteil der Planungskosten an den Positionen eBKP-H B bis J sowie die Baunebenkosten können von den Erstellungskosten übernommen werden.

Kostengruppe	Modulbau in CHF	Mietobjekt in CHF
Rückbaukosten alter Standort	17'946	20'000
Vorbereitungsarbeiten neuer Standort	207'000	
De- und Wiedermontage, Transport der Module	222'144	232'734 (Baukosten gemäss Tabelle 14)
Planungskosten	109'573	
Baunebenkosten	92'000	
Umgebung ohne Spielgeräte	123'000	123'000
Mehrwertsteuer	59'418	28'932
Total Versetzungskosten	831'081	404'666
Anteil Kosten Standortwechsel an Erstellungskosten	27%	100%

Tabelle 13: Kosten Standortwechsel Modulbau und Mietobjekt

Bei einem Mietobjekt müssen je nach Situation Rückbauarbeiten am alten Standort eingerechnet werden. Beim Modulbau liegt der Anteil der Rückbaukosten an den Erstellungskosten bei rund fünf Prozent. Wenn beim Mietobjekt von der gleichen Grösse ausgegangen wird, fallen Rückbaukosten von rund CHF 20'000 an. Für die vorliegende Untersuchung dient dieser Wert als Berechnungsgrundlage. Im Gegensatz zu den Baukosten des ersten Mietobjektes werden bei einem Standortwechsel die Rückbaukosten dazuge-rechnet und der Kostenzuschlag für Spielgeräte abgezogen. Da die Kosten der beiden Positionen gleich hoch sind, heben sie sich gegenseitig auf. Somit entsprechen beim Mietobjekt die Kosten für den Standortwechsel genau den Erstellungskosten. Sowohl beim Standortwechsel des Mietobjektes als auch des Modulbaus werden die Kosten für den Umzug des Mobiliars aufgrund fehlender Angaben nicht berücksichtigt.

4.2 Verwaltungs- und Betriebskosten

Beim Modulbau sind die Verwaltungs- und Betriebskosten identisch mit den Angaben in Kapitel 3.4. Die Verwaltungs- und Betriebskosten des Mietobjektes sind in den Nebenkosten und in den internen Heiz- und Betriebskostenabrechnungen von Immobilien Stadt Bern enthalten und werden im nachfolgenden Kapitel 4.3 erläutert.

4.3 Kosten für Miete und Pacht

Zur Sicherstellung des Schulraumbedarfs mietet Immobilien Stadt Bern im Teilportfolio Bildung heute 17 Objekte von privaten und öffentlichen Eigentümern. Die anfallenden Kosten für diese Objekte werden in der Tabelle 14 gezeigt.

Nr.	Nutzfläche in m ²	Bruttomiete / m ² NF a in CHF	Verwaltungs- und Betriebskosten ISB / m ² NF a in CHF	Baukosten / m ² NF inkl. MWST in CHF
01	188	304	84	479
02	127	230	109	keine Angaben
03	94	528	158	keine Angaben
04	236	301	78	keine Angaben
05	250	202	68	keine Angaben
06	366	306	105	219
07	646	301	37	keine Angaben
08	233	163	111	keine Angaben
09	295	389	84	keine Angaben
10	242	342	90	keine Angaben
11	514	234	116	412
12	139	230	71	keine Angaben
13	103	372	136	keine Angaben
14	134	286	32	674
15	361	278	106	111
16	78	420	104	833
17	295	331	95	312
Median (gerundet)		300	95	410

Tabelle 14: Mietobjekte Teilportfolio Bildung (vgl. ISB, 2018b)

Die Bruttomiete setzt sich aus der Nettomiete und den Nebenkosten gemäss Abrechnung der jeweiligen Eigentümer zusammen. Über alle Mietobjekte der Stadt Bern beträgt der Median CHF 300 pro m² Nutzfläche. Da beispielsweise die Hauswartung, Reinigung, Umgebungsarbeiten, Verbrauchsmaterial, Kleinreparaturen und Abfallgebühren auch bei Mietobjekten durch Immobilien Stadt Bern organisiert und finanziert werden, fallen zusätzlich zu den Nebenkosten noch interne Verwaltungs- und Betriebskosten an. Wie die Tabelle 14 zeigt, liegt der Median bei CHF 95 pro m² Nutzfläche. Wenn dieser Wert nun mit den Verwaltungs- und Betriebskosten eines Modulbaus gemäss Kapitel 3.4 verglichen wird, muss beachtet werden, dass sich der Wert des Mietobjektes auf die Nutzfläche und der Wert des Modulbaus auf die Geschossfläche bezieht. Wenn die Verwaltungs- und Betriebskosten des Mietobjektes auf die Geschossfläche bezogen werden, ist der Wert mit CHF 64 immer noch höher als der Wert des Modulbaus. Dies kann damit begründet

werden, dass der Betrieb in einem Mietobjekt, das ursprünglich nicht für eine Schulnutzung konzipiert wurde, aufwändiger ist als in einem Schulneubau. Die Baukosten werden bereits in Kapitel 4.1 behandelt.

4.4 Instandsetzungs- und Erneuerungskosten

Die Instandsetzungs- und Erneuerungskosten des Modulbaus werden auf die gleiche Art berechnet wie in der ersten Untersuchung. Einziger Unterschied ist, dass zu Gunsten der Übersichtlichkeit die Erneuerungskosten auch als Rückstellung dargestellt werden. Beim Mietobjekt fallen die beiden Positionen weg, weil die Instandsetzungs- und Erneuerungskosten durch die jeweiligen Eigentümer getragen werden.

4.5 Kosten am Ende des Lebenszyklus

Mit folgenden Ausnahmen werden die Kosten am Ende des Lebenszyklus beim Modulbau analog der ersten Untersuchung berechnet. Gemäss Angaben eines Unternehmens erfolgt die Demontage und Rücknahme der Module bis zu einer Nutzungsdauer von zwölf Jahren kostenlos. Bei einer Nutzungsdauer zwischen 13 und 15 Jahren werden 50 Prozent und ab einer Nutzungsdauer von 16 Jahren die vollständigen Rückbau- und Entsorgungskosten verrechnet. Die Kosten für den Rückbau der Erschliessungsleitungen, der Foundation, des Liftschachtes und der Umgebung fallen jedoch unabhängig der Nutzungsdauer immer an und werden in Kapitel 3.7 beschrieben.

Beim Mietobjekt wird der in Kapitel 4.1 beschriebene Pauschalbetrag von CHF 20'000 angenommen.

4.6 Opportunitätskosten

Obwohl davon ausgegangen wird, dass der Modulbau auf einem stadteigenen Grundstück erstellt wird und somit keine Grundstückskosten anfallen, müssen die Opportunitätskosten im Vergleich zur Mietlösung berücksichtigt werden. Wenn die Wahl auf ein Mietobjekt fällt und somit kein eigenes Grundstück besetzt wird, kann dieses für andere Zwecke verwendet oder an Dritte vermietet werden. Da sich dieses Grundstück in der öffentlichen Zone befindet, müssen die Mietkosten für eine öffentliche Nutzung einkalkuliert werden. Wohnen oder Gewerbe beispielsweise ist in dieser Zone nicht gestattet. Da es aus strategischen Gründen sinnvoll ist, die Grundstücksfläche nicht dauerhaft abzugeben, wird von einer zeitlich beschränkten Nutzung ausgegangen. Üblich ist beispielsweise die Vermietung der Freifläche an einen Quartierverein zur Nutzung als Spielplatz oder für Veranstaltungen. Die Kosten für eine Terrainmiete an Dritte liegen bei Immobilien Stadt Bern

zwischen CHF 8 und 15 pro m² und Jahr. Weil davon ausgegangen wird, dass es sich beim Grundstück um unbearbeitete Aussenflächen handelt, wird zur Berechnung der Opportunitätskosten von einer Terrainmiete von CHF 8 pro m² und Jahr ausgegangen. Die Grundstücksfläche setzt sich aus der Umgebungsfläche und dem Fussabdruck des Modulbaus zusammen und beträgt gerundet 1'537 m². Folglich ergibt sich eine Terrainmiete von rund CHF 12'293 pro Jahr.

4.7 Ergebnisse und Analysen

4.7.1 Kurzfristige Nutzungsdauer ohne Standortwechsel

In der Abbildung 13 wird der Kostenverlauf des Mietobjektes und des Modulbaus über eine Periode von 20 Jahren dargestellt. Da beim Modulbau die ersten Erneuerungskosten erst ab dem 20. Nutzungsjahr anfallen, ist der Verlauf der Lebenszykluskosten, unabhängig davon, ob die Erneuerungskosten als Rückstellung oder normal gerechnet werden, identisch. Der Kostenverlauf der beiden Bautypen schneidet sich im 18. Betriebsjahr. Dies erweckt den Anschein, dass ein Modulbau im Vergleich zu einem Mietobjekt ab einer Nutzungsdauer von 18 Jahren kostengünstiger wird. Dieser Eindruck ist jedoch falsch. Wenn die Betrachtung über 18 Jahren vorgenommen wird, fallen im 18. Jahr die Kosten am Ende des Lebenszyklus an, die beim Modulbau höher ausfallen als beim Mietobjekt. Dies hat zur Folge, dass die Mietlösung dennoch die kostengünstigere Variante darstellt (vgl. Anhang 10). Es kann festgehalten werden, dass der Modulbau bei einer Nutzungsdauer von mindestens 19 Jahren ab dem 18. Jahr tiefere Lebenszykluskosten aufweist als das Mietobjekt.

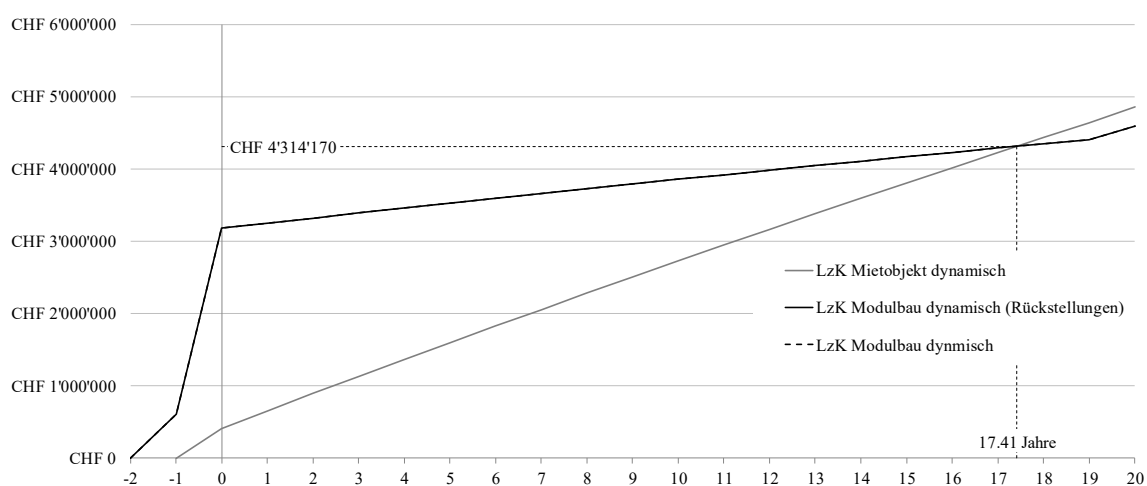


Abbildung 13: Verlauf Lebenszykluskosten, 20 Jahre ohne Standortwechsel

Bei genauerer Betrachtung der Kostengruppen in der Tabelle 15 gibt es keine grossen Überraschungen. Beim Modulbau sind die Erstellungskosten und die Kosten am Ende des Lebenszyklus um ein Vielfaches höher als die Kosten des Mietobjektes. Im Gegensatz

dazu sind die Nutzungskosten des Modulbaus massiv tiefer als diejenigen der Mietlösung. Bei einer Betrachtungsdauer von 20 Jahren ist das Mietobjekt um relativ sechs Prozent und absolut rund CHF 270'000 teurer als der Modulbau. Die detaillierten Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen für eine Betrachtungsperiode von 20 Jahren befinden sich im Anhang 11.

Kostengruppe	Modulbau in CHF	Mietobjekt in CHF	Abweichung in CHF	Abweichung in %
Erstellungskosten	3'178'575	412'638	2'765'937	87
Nutzungskosten	1'411'766	4'447'134	-3'035'367	-215
Total Lebenszykluskosten	4'590'341	4'859'772	-269'431	-6

Tabelle 15: Übersicht Lebenszykluskosten, 20 Jahre ohne Standortwechsel

4.7.2 Kurzfristige Nutzungsdauer mit Standortwechsel

Beim ersten Vergleich mit einem Standortwechsel wurde die Nutzungsdauer pro Standort so gewählt, dass am Ende der Betrachtungsperiode die Lebenszykluskosten des Modulbaus tiefer ausfallen als diejenigen der Mietlösung. Die Abbildung 14 zeigt, dass dies bei einer minimalen Nutzungsdauer von elf Jahren am selben Standort und somit bei einer Betrachtungsperiode von insgesamt 22 Jahren der Fall ist. Wenn der Standort bereits nach zehn Jahren gewechselt wird, ist die Mietlösung bei einer Betrachtungsperiode von 20 Jahren nach wie vor die günstigere Alternative (vgl. Anhang 12). Falls die Nutzungsdauer je Standort länger als elf Jahre beträgt, erhöht sich der finanzielle Vorteil des Modulbaus gegenüber der Mietlösung. Die detaillierten Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen für eine Betrachtungsperiode von 22 Jahren und einem Standortwechsel befinden sich im Anhang 13.

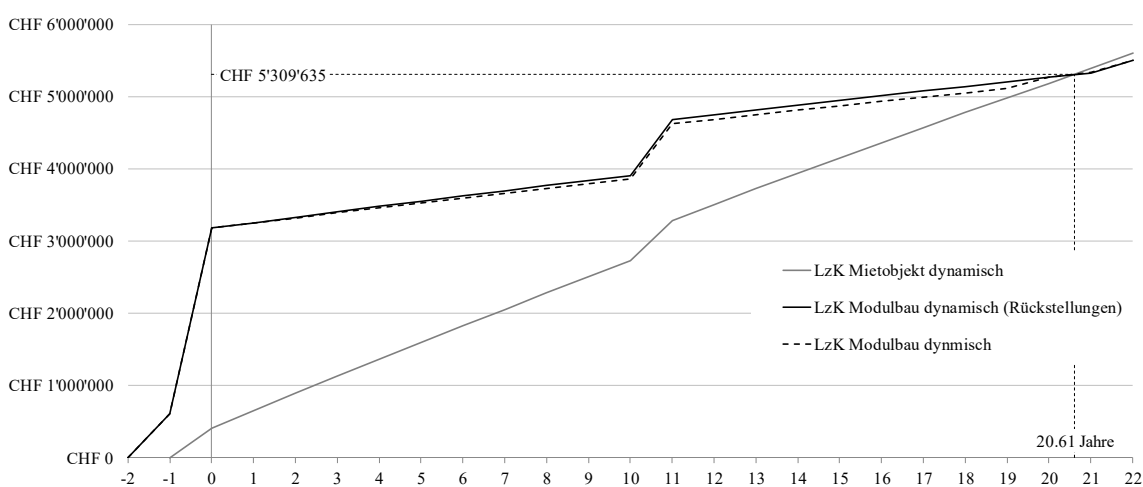


Abbildung 14: Verlauf Lebenszykluskosten, 22 Jahre mit einem Standortwechsel

Die Abbildung 15 zeigt, dass bei einem Szenario mit zwei Standortwechseln die Nutzungsphase pro Standort mindestens acht Jahre betragen muss, damit der Modulbau am Ende der Betrachtungsperiode als wirtschaftlichere Lösung hervorgeht. Tendenziell kann gesagt werden, dass je kürzer die Nutzungsphase am selben Standort ist, desto länger muss die Betrachtungsperiode ausfallen, damit der Modulbau kostengünstiger wird als die Mietlösung. Wenn der Standort beispielsweise alle sieben statt alle acht Jahre gewechselt wird, muss die Betrachtungsperiode von 24 auf 35 Jahre ausgeweitet werden, damit der Modulbau besser als die Mietlösung abschneidet (vgl. Anhang 14). Diese exponentielle Verlängerung der Betrachtungsperiode kann damit erklärt werden, dass ab dem 25. Nutzungsjahr beim Modulbau einige Erneuerungsmassnahmen anfallen. Diese lassen die Lebenszykluskosten schneller steigen als diejenigen der Mietlösung. Die detaillierten Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnungen für eine Betrachtungsperiode von 24 Jahren und zwei Standortwechsel befinden sich im Anhang 15.

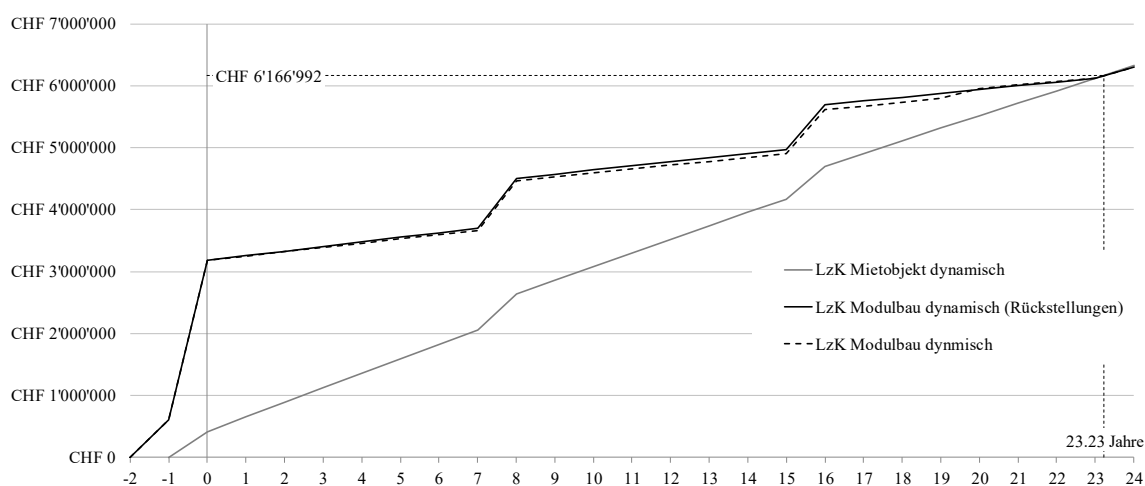


Abbildung 15: Verlauf Lebenszykluskosten, 24 Jahre mit zwei Standortwechseln

4.7.3 Fazit kurzfristige Nutzungsdauer

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass Modulbauten gegenüber Mietlösungen wirtschaftlich sind, wenn sie mindestens 19 Jahre genutzt werden. Weil die Ver- setzung der Module inklusiv aller anderen anfallenden Ausgaben gut ein Viertel der Er- stellungskosten ausmacht, sollte der Standort nur alle acht bis elf Jahre gewechselt wer- den. Ein Modulbau, der für zwei- bis dreijährige Bauprovisorien eingesetzt wird, ist im Vergleich zu einer Mietlösung ökonomisch betrachtet nicht sinnvoll.

5. Schlussbetrachtung

Im Schlusskapitel werden die Erkenntnisse aus der ersten und zweiten Untersuchung zusammengefasst. Ferner wird die Frage beantwortet, unter welchen Voraussetzungen ein Modulbau im Vergleich zu einer konventionellen Lösung die kostengünstigere Alternative zur Bereitstellung von Schulraum darstellt. Die Einordnung der Ergebnisse sowie der Ausblick auf zukünftige Untersuchungen schliessen das Kapitel ab.

5.1 Fazit

Zu Beginn dieser Abschlussarbeit wurden im Rahmen der theoretischen Grundlagen die Unterschiede zwischen der modularen- und konventionellen Bauweise erläutert. Es wurde herausgefunden, dass den Leistungsindikatoren im Nachhaltigkeitsbereich Wirtschaft von der Immobilienbranche am meisten Beachtung geschenkt wird. Zusätzlich zeigte sich, dass die modulare- im Vergleich zur konventionellen Bauweise im wirtschaftlichen Bereich viele Vorteile hat. Einige dieser Vorteile konnten im Rahmen der ersten Untersuchung, dem Vergleich der Lebenszykluskosten zwischen Modul- und Massivbauten während einer Nutzungsdauer von 60 Jahren, überprüft und bestätigt werden.

Die Planungsphase ist aufgrund des hohen Wiederholungseffekts sowie des kleineren Gestaltungsspielraums innerhalb des gewählten Systems und die Ausführungsphase aufgrund der Vorfabrikation im Werk und der schnelleren Montage auf der Baustelle beim Modulbau deutlich kürzer als beim Massivbau. Insgesamt kann die Planungs- und Bauzeit dadurch um rund 40 Prozent reduziert werden, was sich positiv auf die Planungs- und Kapitalkosten auswirkt. Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, sind für den in der vorliegenden Arbeit behandelten Modulbau keine Kosten für die Systementwicklung angefallen, weshalb sie in der Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Die Erstellungskosten sind in der ersten Untersuchung bei identischem Raum- und Funktionsprogramm für sechs funktionale Einheiten beim modularen Schulbau rund 18 Prozent tiefer als beim konventionellen Schulbau. Diese Differenz kann mit den günstigeren Vorbereitungsarbeiten, der Vorfabrikation im Werk unter kontrollierten Bedingungen, dem hohen Standardisierungsgrad, der schnelleren Montage auf der Baustelle und dem unterschiedlichen Ausbaustandard begründet werden.

Die Nutzungskosten, d.h. die Kosten ab der Fertigstellung des Bauprojektes bis zum Ende des Lebenszyklus, sind mit einer Differenz zwischen den beiden Bautypen von zwei Prozent beinahe identisch. Während die Verwaltungs- und Betriebskosten sowie die Erneuerungskosten beim Modulbau höher ausfallen, sind die Instandsetzungskosten und die

Kosten am Ende des Lebenszyklus beim Modulbau tiefer als beim Massivbau. Die Aussage in Kapitel 2.1, dass die jährlichen Nutzungskosten 31 Prozent der Erstellungskosten betragen, kann aufgrund der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Bei der dynamischen Betrachtungsmethode liegen die jährlichen Nutzungskosten beim Massivbau bei 1,5 Prozent und beim Modulbau bei 1,9 Prozent der Erstellungskosten. Dieser grosse Unterschied zwischen den 31 Prozent aus den theoretischen Grundlagen und den berechneten Werten von 1,5 und 1,9 Prozent kann anhand der vorliegenden Arbeit nicht abschliessend geklärt werden. Vermutet wird, dass sich die jährlichen Nutzungskosten von 31 Prozent der Erstellungskosten auf ältere Schulbauten beziehen, während die Werte in vorliegender Arbeit auf Neubauten mit einem hohen Energiestandard basieren. Diese Vermutung deckt sich mit der Argumentation von Gustavsson und Joelsson (2010, S. 210, 219) in Kapitel 2.3.2. Demnach nimmt die Bedeutung der Nutzungsphase durch die immer besser werdende Energieeffizienz ab, während die Erstellungsphase und die Phase am Ende des Lebenszyklus an Gewicht zunimmt. Hinzu kommt, dass mit der dynamischen Berechnungsmethode die Erstellungskosten im Vergleich zu den Nutzungskosten höher gewichtet werden als mit der statischen Berechnungsmethode.

Über alle Phasen betrachtet kann festgehalten werden, dass der Modulbau jederzeit kostengünstiger ist als der Massivbau. Somit muss die These, dass der Massivbau ab einer bestimmten Nutzungsdauer wirtschaftlicher ist als ein modulares System, verworfen werden. Insgesamt sind die Lebenszykluskosten des Modulbaus um neun Prozent tiefer als diejenigen des Massivbaus, was im untersuchten Vergleichsbeispiel absolut betrachtet einer Differenz von rund CHF 750'000 entspricht.

In der zweiten Untersuchung wurde überprüft, bis zu welchem Zeitpunkt ein Mietobjekt kostengünstiger ist als ein Modulbau. Dabei wurde berechnet, wie lange die minimale Nutzungsdauer an einem Standort betragen muss, damit eine oder mehrere Versetzungen des Modulbaus gegenüber Mietlösungen an verschiedenen Standorten ökonomisch gerechtfertigt werden können (vgl. Abbildung 12 in Kapitel 4).

Während die Erstellungskosten und die Kosten am Ende des Lebenszyklus beim Modulbau wie erwartet um ein Vielfaches höher sind als bei einem Mietobjekt, fallen die Nutzungskosten um einiges tiefer aus. Diese Tatsache lässt erahnen, dass ein Mietobjekt für eine kurzfristige Nutzungsdauer kostengünstiger ist als ein Modulbau. Ohne Standortwechsel wird der Modulbau erst ab einer Nutzungsdauer von mindestens 19 Jahren ökonomisch sinnvoll. In einem zweiten Schritt wurde überprüft, welche Auswirkungen ein

oder mehrere Standortwechsel auf die Lebenszykluskosten haben. Berechnet werden die Versetzung der Module und die Übernahme einer neuen Mietlösung an einem anderen Standort. Die Kosten für den Standortwechsel eines Modulbaus betragen rund ein Viertel der Erstellungskosten. Der Modulbau ist somit nur kostengünstiger als das Mietobjekt, wenn die gesamte Nutzungsdauer mindestens 22 Jahre beträgt und der Standort nur alle acht bis elf Jahre gewechselt wird.

Die Frage, unter welchen Voraussetzungen ein Modulbau im Vergleich zu einer konventionellen Lösung die kostengünstigere Alternative zur Bereitstellung von Schulraum darstellt, kann wie folgt beantwortet werden: Zur Deckung von kurzfristigen Raumbedürfnissen sind Mietobjekte ökonomisch betrachtet sinnvoller als Modulbauten. Erst ab einer mittelfristigen Nutzungsdauer von mindestens 19 Jahren wird das Mietobjekt als kostengünstigste Lösung durch den Modulbau abgelöst. Dabei ist zu beachten, dass ein Modulbau nur alle acht bis elf Jahre versetzt werden sollte, um gegenüber Mietlösungen an verschiedenen Standorten als kostengünstigere Variante abzuschneiden. Wenn der Modulbau mit einem Massivbau verglichen wird, stellt er auch für eine langfristige Nutzungsdauer von 60 Jahren während aller Lebenszyklusphasen die kostengünstigere Variante dar.

5.2 Diskussion

5.2.1 Langfristige Nutzungsdauer

Wie in Kapitel 1.2 bereits erwähnt, gibt es neben der Wirtschaftlichkeit auch noch weitere Kriterien, die bei der Auswahl des Bautyps berücksichtigt werden müssen. Neben den ökonomischen Vorteilen von modularen- gegenüber massiven Schulbauten ist zu beachten, dass die öffentliche Hand auch eine Verantwortung für das Erscheinungsbild des öffentlichen Raums trägt. Unabhängig von der Bauweise und der Dauer der Nutzung haben die meisten Kommunen den Anspruch, dass sich Neubauten nahtlos in den spezifischen Kontext einbetten. Folglich muss auch bei Modulbauten genügend Zeit für die ortsbezogenen Planungsaufgaben – insbesondere für die Erschliessung, für allfällige Grundrissadaptationen und für die Fassadengestaltung – eingerechnet werden. Dadurch wird gewährleistet, dass die hohen städtebaulichen und architektonischen Ansprüche der öffentlichen Hand erfüllt werden können. Die Akzeptanz eines konventionellen Schulgebäudes ist in der Bevölkerung meistens höher als diejenige eines modularen Schulbaus. Dies verdeutlicht, dass die individuelle Architektur – das Unikat – für die Gesellschaft unabdingbar

ist (Kaltenbrunner, 2018, S. 35). Oft werden Modulbauten mit Containerlösungen assoziiert, was dazu beiträgt, dass der Begriff „Modulbauten“ nach wie vor negativ besetzt ist.

Bei der Auswahl eines Modulbausystems ist immer zu beachten, dass jedes System auch Systemgrenzen hat. Beim in vorliegender Arbeit behandelten Musterprojekt können die Unterrichtsräume beispielsweise jeweils um 25 m² vergrössert oder verkleinert werden. Eine dazwischenliegende Raumgrösse lässt das Modulbausystem nicht zu. Auch bei konventionellen Schulbauten wird erfahrungsgemäss nach einem Raster geplant. Dieser ist aber im Vergleich zu einem Modulbau meistens flexibler handhabbar.

Obwohl im behandelten Vergleichsbeispiel kein Untergeschoss eingerechnet wurde, gibt es bei der konventionellen Bauweise die Möglichkeit zur Unterkellerung. Bei Modulbauten besteht diese Möglichkeit nicht oder ist zumindest nicht zielführend. Während dies für eine kurzfristige Nutzung vertretbar ist, können die für den Gebäudebetrieb wertvollen Räume im Untergeschoss für eine langfristige Nutzung fehlen. Des Weiteren fehlt bei der modularen Holzbauweise im Gegensatz zur Massivbauweise die Masse. Aus diesem Grund ist der sommerliche Wärmeschutz und somit die Behaglichkeit im Sommer bei Modulbauten schlechter als bei Massivbauten. In Bezug auf den Schulbetrieb besteht der grösste Nachteil des in vorliegender Arbeit betrachteten Modulbaus in der aussenliegenden Vertikalerschliessung. Wenn zwischen Räumen auf unterschiedlichen Stockwerken zirkuliert werden muss, hat dies zur Folge, dass die Lehrpersonen und die Schüler das Gebäude verlassen müssen. Im Winter oder bei Regen kann dies unangenehm werden. Für eine kurzfristige Nutzung wird dieser Nachteil akzeptiert. Bei einer langfristigen Nutzungsdauer müsste jedoch ein Modulbau mit innenliegender Vertikalerschliessung gewählt werden.

Aufgrund der aufgeführten Argumente soll die vorliegende Arbeit nicht dazu auffordern, aus ökonomischen Gründen auch für langfristige Schulnutzungen Modulbauten einzusetzen. Vielmehr geht es darum, die Vorteile der modularen Bauweise zu erkennen und positive Erkenntnisse auch bei der konventionellen Bauweise zu berücksichtigen. Während der Bearbeitung der Abschlussarbeit hat sich deutlich herausgestellt, dass bei Modulbauten die Funktionalität einen höheren Stellenwert hat als bei konventionellen Bauten. Bei der Gebäudetechnik beispielsweise wird auf komplexe Systeme verzichtet. Die Frischluft wird in jedem Unterrichtsraum durch dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung direkt von aussen angesogen. Des Weiteren wird bei Modulbauten nach den Regeln

der Baukunst, statt nach der gestalterischen Vision des Architekten, gebaut. Auf Kunstgriffe zugunsten der Ästhetik wird konsequent verzichtet, während bei konventionellen Bauten aus gestalterischen Gründen vielfach keine Vordächer, Brüstungsbleche oder andere störende Elemente gebaut werden. Schliesslich sollte bei konventionellen Schulbauten der hohe Ausbaustandard hinterfragt werden. Trotz des tiefen Ausbaustandards sind Modulbauten nach einer kurzen Eingewöhnungszeit sowohl bei den Lehrpersonen als auch bei den Kindern und Eltern beliebt. Dazu muss jedoch gesagt werden, dass die Akzeptanz des tiefen Ausbaustandards vermutlich nur für eine temporäre Nutzung gegeben ist. Des Weiteren wird die Wahl des Ausbaustandards nicht nur durch die Bedürfnisse der Nutzenden, sondern auch durch die Lebensdauer der Materialien beeinflusst. Es wird angestrebt, dass die Lebensdauer der Materialien mit der prognostizierten Nutzungsdauer der Liegenschaft korreliert. Das heisst, dass bei einem Gebäude mit einer langfristigen Nutzungsdauer Beläge mit einer langen Lebensdauer, wie beispielsweise Parkettböden, Keramikplatten und Sichtbetonwände, gegenüber Materialien mit einer kurzen Lebensdauer bevorzugt werden.

Die Flexibilität, die bei Modulbauten immer wieder angepriesen wird, ist bei konventionellen Bauten bis zu einem gewissen Grad in Form der Drittverwendbarkeit gewährleistet. Statt wie bei der modularen Bauweise die Module zu erweitern, zu reduzieren oder zu versetzen, werden die Gebäude so gebaut, dass sie bei einem sich ändernden Raumbedarf ohne grösseren Aufwand mit anderen Nutzungen bespielt werden könnten. Gemäss Volksschulgesetz des Kantons Bern müssen Schul- und Schulsportanlagen bereits heute in angemessener Weise auch für ausserschulische Zwecke zur Verfügung gestellt werden (Art. 48 des Volksschulgesetzes VSG vom 01.01.2017, BSG 432.201).

Ein weiterer Punkt, der sich auch bei konventionellen Bauten bereits bewährt hat, ist die Vorfabrikation einzelner Bauteile. So können beispielsweise Fassadenelemente inklusive Wärmedämmung im Werk fabriziert und auf der Baustelle montiert werden. Damit können sowohl die Baukosten als auch die Bauzeit von konventionellen Schulbauten gesenkt werden. Ein höherer Standardisierungsgrad wird momentan auch im Bereich des bezahlbaren Wohnraums diskutiert. Durch eine serielle Bauproduktion können die Erstellungskosten gegenüber dem Marktdurchschnitt im Wohnungsbau deutlich gesenkt werden. Ein gewisses Mass an Standardisierung erleichtert zusätzlich die Instandhaltung und Instandsetzung während des gesamten Lebenszyklus. Dadurch müssen nicht für jedes Projekt teure massgeschneiderte Lösungen entwickelt werden. Voraussetzung ist jedoch, dass

diese Ziele erreicht werden können, ohne dabei die Baukultur zu vernachlässigen (Kaltenbrunner, 2018, S. 35).

5.2.2 Kurzfristige Nutzungsdauer

Auch beim Vergleich zwischen Modulbauten und Mietlösungen gibt es neben den ökonomischen Argumenten noch andere Faktoren zu berücksichtigen. Beide Lösungen setzen beispielsweise voraus, dass im entsprechenden Quartier ein geeignetes Grundstück zur Erstellung eines Modulbaus oder ein geeignetes Mietobjekt gefunden werden kann. Wie in Kapitel 1.1 bereits erläutert, stellt sich diese Voraussetzung in der Realität für beide Lösungsvarianten meist als schwierig heraus. Gerade in dicht besiedelten Quartieren, in denen der Schulraumbedarf erfahrungsgemäss hoch ist, sind passende Grundstücke oder Mietobjekte Mangelware. Der Modulbau hat in solchen Situationen jedoch einige Vorteile gegenüber einer Mietlösung. Die Anforderungen an die Zonenkonformität, die natürliche Belichtung, die Zugänglichkeit, die Übersichtlichkeit und den Aussenraum können im Normalfall mit einem Modulbau besser erfüllt werden als mit einem Mietobjekt. Weil es sich bei den Mietlösungen meistens um ehemalige Wohnungen oder Büroräumlichkeiten handelt, können die Vorgaben des Richtraumprogramms und die Zonenkonformität selten erfüllt werden.

Ein weiterer Vorteil des Modulbaus ist der grössere Handlungsspielraum beim Eintreten von unvorhergesehenen Ereignissen. Wenn sich beispielsweise die Nutzungsdauer einer Übergangslösung aufgrund einer hängigen Baueinsprache auf den definitiven Schulbau verlängert, kann mit einem Modulbau erfahrungsgemäss flexibler reagiert werden. Beim Mietobjekt ist die Weiterführung der Nutzung von der Verlängerung des Mietvertrages und somit von der Gunst des Eigentümers abhängig. Aus diesen Gründen entscheidet sich die Verwaltung, unabhängig von ökonomischen Argumenten, vielfach auch bei einer kürzeren Nutzungsdauer für einen Modulbau.

In der Untersuchung nicht berücksichtigt wurde die Tatsache, dass modulare Schulbauten auch für eine bestimmte Zeit gemietet werden können. Es ist davon auszugehen, dass für eine kurzfristige Nutzung die Miete kostengünstiger ist als der Kauf eines Modulbaus. Folglich würde sich die Kurve des Kostenverlaufs bereits früher mit derjenigen des Mietobjektes schneiden und der Modulbau wäre bereits bei einer kürzeren Nutzungsdauer wirtschaftlicher als das Mietobjekt.

Ein Vorteil der Mietlösung, der in der Untersuchung nur im Rahmen der tieferen Kapitalkosten berücksichtigt wurde, ist die kürzere Planungs- und Bauzeit. Während bei einem

Modulbau mit rund zweieinhalb Jahren gerechnet werden muss, steht eine Mietlösung im Normalfall nach wenigen Monaten zur Verfügung. Die effektive Planungs- und Bauzeit ist bei einer Mietlösung von den konkreten Rahmenbedingungen des jeweiligen Objektes abhängig.

5.2.3 Schule der Zukunft

Ein in der Schulraumplanung allgegenwärtiges Thema ist die Schule der Zukunft. Hält der Trend, weg von den klassischen Schulhausgrundrissen mit Korridorerschliessung und Klassenzimmer hin zu offenen und flexiblen Lernlandschaften an oder geht es in eine andere Richtung? Franco Supino beschreibt die Schule der Zukunft als Treffpunkt und gesellschaftliches Zentrum für alle mit permanenten kulturellen Aktivitäten. Generationenübergreifende Projekte sind Routine und an den Pausenplatz grenzt ein Café oder ein Restaurant. Es finden Ausstellungen, Musikveranstaltungen, Filmnächte, Darbietungen und Lesungen statt. Schulanlagen werden somit wieder zum Zentrum der Quartiere (Supino, 2010). In der Stadt Bern ist diese Vision bis jetzt noch nicht eingetreten. Gleichwohl hat sich der Schulalltag in den letzten Jahren grundlegend verändert. Moderne Unterrichtsformen wenden sich vom Frontalunterricht ab und setzen auf eine individuelle Betreuung. Die Aufenthaltszeit in der Schule hat sich durch Blockzeiten sowie auserschulischer Betreuung für die Kinder verlängert. Gerade die ausserschulische Betreuung und deren Integration in den Schulalltag ist wohl eine der grössten Herausforderungen in der Schulraumplanung (Kunz, 2015, S. 8-14). Die Entwicklung von der schulergänzenden Betreuung zur Ganztageschule ist in der Stadt Zürich bereits weit fortgeschritten und wird heute auch in der Stadt Bern in einzelnen Pilotprojekten getestet (Christl, 2018, S. 15). Vorliegende Arbeit widerspiegelt eine Momentaufnahme, weshalb die beschriebenen Entwicklungen nicht berücksichtigt wurden. Es kann aber vermutet werden, dass in Anbetracht der höheren Flexibilität der Modulbau auch in diesem Bereich gewisse Vorteile mit sich bringt.

5.3 Ausblick

In einer tieferen Behandlung des Themas wäre es notwendig, detaillierter auf die Verwaltungs- und Betriebskosten einzugehen. In der Stadt Bern gibt es heute keine konventionellen Schulneubauten, die als Referenzobjekt hätten herangezogen werden können. Darüber hinaus wird die Heiz- und Betriebskostenabrechnung nicht in die notwendigen Kostengruppen gegliedert, damit die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Objekten gewährleistet ist. Wie in der Publikation „Strategisches Immobilienmanagement der öffentlichen Hand“ (Ecke, 2003, S. 164) bereits festgehalten wurde, müsste für einen genaueren

Vergleich der verschiedenen Bautypen die Datenverfügbarkeit innerhalb der Verwaltung verbessert werden.

Ein weiteres Forschungsfeld, das genauer betrachtet werden müsste, ist der ökonomische Wert der Flexibilität von modularen Schulbauten. Es wäre interessant zu untersuchen, wie die Möglichkeit der Erweiterung, der Reduktion und der Versetzung von Modulen gegenüber einem trägen Baukörper monetär bewertet werden kann. Auch in Bezug auf die knappe Ressource Boden kommt der Flexibilität eine hohe Bedeutung zu. Im Rahmen einer Realoptionsanalyse könnte untersucht werden, wie gross der Unterschied des Optionswertes zwischen einem Grundstück mit einem modularen und demjenigen mit einem konventionellen Schulbau ist. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzungsänderung eines Grundstückes mit einem Modulbau im Gegensatz zu demjenigen mit einem Massivbau schneller und einfacher vollzogen werden kann. Dementsprechend dürfte die modulare Bauweise die Entwicklungsoption von Grundstücken positiv beeinflussen.

Literaturverzeichnis

American Institute of Architects AIA. (2008). *External Issues & Trends Affecting Architects, Architectural Firms and the AIA*. Washington: Autor.

Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen AMEV. (2013). *AMEV-Empfehlung Nr. 120, Ermittlung der Kosten für das Betreiben von technischen Anlagen*. Berlin: Autor.

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern BVE. (2016). *Merkblatt Mobile Containerbauten*. Bern: Autor.

Bone-Winkel, S., Thomas, M., Allendorf, G., & Walbröhl, V. (2016). Institutionelles Immobilienmanagement. In K.-W. Schulte, S. Bone-Winkel, & W. Schäfers (Hrsg.), *Immobilienökonomie I* (5. Auflage, S. 719-784). Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.

Bundesamt für Statistik BFS. (2018a). *LIK (Dezember 2015=100), Detailresultate seit 1982, Warenkorbstruktur 2015*. Gefunden unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home.assetdetail.5386032.html>

Bundesamt für Statistik BFS. (2018b). *Schweizerischer Baupreisindex - Entwicklung der Baupreise (Multibasen) Indexwerte pro Grossregion und pro Objekttyp*. Gefunden unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.5486560.html>

Chen, Y., Okudan, G., & Riley, D. (2010). Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. *Automation in Construction*. 2010 (19), 235-244.

Christl, F. (2018, 10. August). Teuscher lanciert ein Offensivchen zur Vereinbarkeit von Familie und Beruf. *Der Bund*, S. 15.

De Jong, P., & Arkesteijn, M. (2013). Life Cycle Costs of Dutch school buildings. *Konferenzpapier ERES Conference in Wien*. July 2013, 1-9.

Denkmalpflege Stadt Bern DPF. (2017). *Bauinventar Brünnenstrasse 15, 15a, 15d-f*. Bern: Autor.

- Deutscher Bund. (2006). *Durchschnittliche wirtschaftliche Gesamtnutzungsdauer bei ordnungsgemässer Instandhaltung (ohne Modernisierung)*. Gefunden unter https://www.jurion.de/gesetze/wertr_2006-1/anlage_4
- Ecke, C. (2003). Strategisches Immobilienmanagement der öffentlichen Hand. Empirische Untersuchungen und Handlungsempfehlungen. In K.-W. Schulte (Hrsg.), *Schriften zur Immobilienökonomie* (S. 1-366). Köln: Rudolf Müller.
- Eidgenössische Steuerverwaltung ESTV. (2018). *Steuersätze ab 1. Januar 2018*. Gefunden unter <https://www.estv.admin.ch/estv/de/home/mehrwertsteuer/fachinformationen/steuersaetze.html>
- Einwohnergemeinde Bern. (2018, 29. Mai). *Schulraumentwicklung in Bern bis 2030*. Präsentation anlässlich der Vortragsreihe „Architektur macht Schuel“, Architektur Forum Bern.
- Gemeinderat der Stadt Bern. (2017a). *Richtraumprogramm für die Volksschulen der Stadt Bern*. Bern: Autor.
- Gemeinderat der Stadt Bern. (2017b). *STEK 2016, Stadtentwicklungskonzept Bern*. Bern: Autor.
- Gemeinderat der Stadt Bern. (2017c). *Strategische Schulraumplanung der Stadt Bern*. Bern: Autor.
- Gratz, L. (2017). Serie und Variation. *Themenheft Hochparterre, Bauen mit System*. Mai 2017, 4-5.
- Gustavsson, L., & Joelsson, A. (2010). Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*. 2010 (42), 210-220.
- Hochbau Stadt Bern HSB. (2017). *Katalog der Kalkulationsgrundlagen nach Elementen*. Bern: Autor.
- Hoffmann, G. (2014). Life Cycle Costs (LCC): Nachhaltigkeit als wirtschaftlicher Erfolgsfaktor. *Konstruktion & Technik*. 2014 (2), 1.
- Hönig, R. (2017). Die Modular-Familie. *Themenheft Hochparterre, Bauen mit System*. Mai 2017, 8.

- Hönig, R., & Nashed, L. (2015). Einleitung. In Edition Hochparterre (Hrsg.), *Grundrissfibel Schulbauten, 30 Architekturwettbewerbe in der Schweiz 2001-2015* (S. 6-7). Zürich: Edition Hochparterre.
- Immobilien Stadt Bern ISB. (2017). *Heiz- und Betriebskosten-Abrechnung Wyssloch*. Bern: Autor.
- Immobilien Stadt Bern ISB. (2018a). *Immobilienbewertung, Richtlinien für Liegenschaften des Fonds für Boden- und Wohnbaupolitik*. Bern: Autor.
- Immobilien Stadt Bern ISB. (2018b). *Zumietobjekte Schulamt, Zusammenstellung*. Bern: Autor.
- International Facility Management Association IFMA. (2011a). *Anwendungstool IFMA LZK-Tool V4.1 [Software]*. Zürich: Autor.
- International Facility Management Association IFMA. (2011b). *Lebenszykluskostenermittlung von Immobilien, Teil 1: Modell*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- International Facility Management Association IFMA. (2011c). *Lebenszykluskostenermittlung von Immobilien, Teil 2: Anwendung*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- International Organization for Standardization ISO. (2017). *ISO 15 686-5 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing*. 2. Auflage. Genf: Autor.
- Kaltenbrunner, R. (2018, 17. Juli). Die Platte kehrt in neuer Form zurück. *Neue Zürcher Zeitung*, S. 35.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. September 2016 (62), 1171-1183.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2017). Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *Journal of Cleaner Production*. 2017 (142), 3592-3606.

- Kawecki, L. (2010). *Environmental Performance of Modular Fabrication: Calculating the Carbon Footprint of Energy Used in the Construction of a Modular Home*. Arizona: Arizona State University.
- Kunz, D. (2015). Entwicklung im Schulbau. In Edition Hochparterre (Hrsg.), *Grundrissfibel Schulbauten, 30 Architekturwettbewerbe in der Schweiz 2001-2015* (S. 8-19). Zürich: Edition Hochparterre.
- Lawson, R., Ogden, R., & Bergin, R. (2012). Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. *Journal of Architectural Engineering*. 2012 (18), 148-154.
- Li, X., & Li, G. (2013). Exploration of Modular Build of Architectural Space. *Applied Mechanics and Materials*. 2013 (357-360), 338-344.
- Mah, D. (2011). *Framework for Rating the Sustainability of the Residential Construction Practice*. Edmonton, Alberta: University of Alberta.
- Minergie Schweiz. (2017a). *Produktreglement MINERGIE-ECO*. Basel: Autor.
- Minergie Schweiz. (2017b). *Produktreglement zu den Gebäudestandards Minergie / Minergie-P / Minergie-A*. Basel: Autor.
- pom+ Consulting AG. (2017a). *FM Monitor Benchmarking*. Zürich: Autor.
- pom+ Consulting AG. (2017b). *FM Monitor WIKI / Kostenarten*. Gefunden unter <https://pomcollaboration.atlassian.net/wiki/spaces/DFMK/pages/71224949/Kostenarten>
- Rogan, A., Lawson, R., & Bates-Brkljac, N. (2000). *Value and Benefits Assessment of Modular Construction*. Berkshire: The Steel Construction Institute.
- Schäfers, W., Ecke, C., Högner, J., & Dietzel, M. (2016). Öffentliches Immobilienmanagement. In K.-W. Schulte, S. Bone-Winkel, & W. Schäfers (Hrsg.), *Immobilienökonomie I* (5. Auflage, S. 837-869). Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.
- Schweizerische Nationalbank SNB. (2018). *Renditen von Obligationen – Monat*. Gefunden unter [https://data.snb.ch/de/topics/ziredev#!/cube/rendoblim?fromDate=1988-05&toDate=2018-05&dimSel=D0\(10J\)](https://data.snb.ch/de/topics/ziredev#!/cube/rendoblim?fromDate=1988-05&toDate=2018-05&dimSel=D0(10J))

- Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung CRB. (2012a). *eBKP-H SN 506 511 Baukostenplan Hochbau*. Zürich: Autor.
- Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung CRB. (2012b). *LCC Handbuch, Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken*. Zürich: Autor.
- Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung CRB. (2012c). *Leitfaden LCC, Planung der Lebenszykluskosten, Schweizerische Umsetzung der ISO 15 686-5*. Zürich: Autor.
- Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein SIA. (1997). *SIA 469, Erhaltung von Bauwerken*. Zürich: Autor.
- Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein SIA. (2014). *SIA 112, Modell Bauplanung, Verständigungsnorm*. Zürich: Autor.
- Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein SIA. (2016). *SIA 480, Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau*. Zürich: Autor.
- Stadt Zürich, Amt für Hochbauten. (2017). *Schulpavillons 1903 - 2017*. Zürich: Autor.
- Stadt Zürich, Schulamt, Bereich Infrastruktur. (2017). *Schulraumplanung Stadt Zürich, Raumbedarfsstrategie Schulen*. Zürich: Autor.
- Staub, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). *Elemente und Systeme: Modulares Bauen – Entwurf, Konstruktion, neue Technologien*. Basel: Birkhäuser.
- Statistik Stadt Bern. (2017). *Schülerzahlprognose 2017*. Bern: Autor.
- Statistik Stadt Bern. (2018). *Die Wohnbevölkerung der Stadt Bern 2017*. Bern: Autor.
- Stucky, F., & Meuli, R. (1966). Mehrfamilienhaus nach System Elcon. *Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art*. 1966 (4), 132-133.
- Supino, F. (2010). *Schule der Zukunft - Meine Modellschule*. Gefunden unter <https://www.zeit.de/2010/48/CH-Schule>

Anhang

Anhang 1 Schülerzahlprognosen 2017

Bestand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17/18	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24	24/25	25/26	26/27	27/28	28/29	29/30	30/31	31/32	32/33
Basis 1	58	61	70	71	68	69	69	68	69	70	69	73	72	69	69
Basis 2	54	59	61	69	70	65	68	68	70	69	70	71	70	71	70
Basis 3	54	52	55	54	62	64	59	60	61	62	64	62	64	65	65
Basis 4	53	55	54	55	56	62	65	63	62	61	63	61	66	65	64
Total Basis	219	227	240	249	256	260	261	260	261	267	263	273	273	269	265
Prim 1	50	53	56	55	54	54	60	65	59	59	60	61	61	62	62
Prim 2	48	47	51	54	49	52	53	58	65	57	57	57	58	58	59
Prim 3	45	45	48	51	52	47	50	55	58	63	59	58	60	60	60
Prim 4	42	43	44	49	50	51	47	49	54	57	63	58	58	59	59
Total Prim	185	188	199	209	205	204	210	227	236	236	239	234	237	239	240
Sek 1	37	41	41	42	43	47	50	46	46	52	52	57	54	54	55
Sek 2	38	37	41	41	41	44	47	47	45	46	48	52	56	52	53
Sek 3	29	32	30	32	33	33	37	39	40	38	39	43	45	47	47
Total Sek	104	110	112	115	117	124	134	132	131	136	139	152	155	153	155
Total	508	525	551	573	578	588	605	619	628	633	645	649	665	665	662

Anmerkung: Die Zahlen der Klassenprognose sind auf halbe Klassen gerundet dargestellt. Sie sind berechnet aus der Prognose der Schülerinnen und Schüler, wobei für die Basis 1 und 2 von 18 Kindern pro Klasse, für Basis 3 bis Sek 2 von 20 Kindern pro Klasse und für die Sek 3 von der durchschnittlichen Klassengrößen nach Schulstandort der letzten fünf Jahre ausgegangen wird.

Schülerzahlprognosen 2017 (vgl. Statistik Stadt Bern, 2017)

Anhang 2 Vor- und Nachteile der Modulbauweise

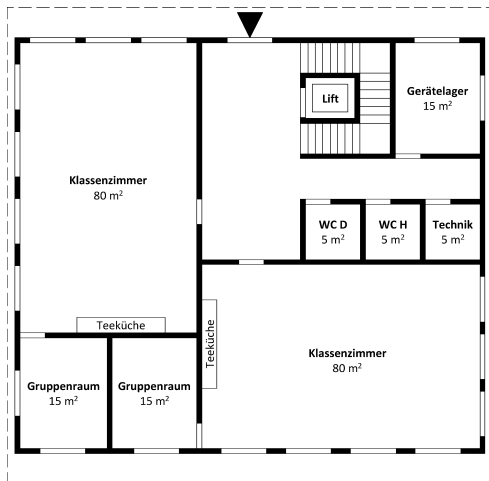
Vorteile	Beschreibung
Zeit	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitgleiche Herstellung der Module und Vorbereitungsarbeiten auf der Baustelle - Keine Arbeitsunterbrüche aufgrund der Wetterlage - Weniger Vandalismus und Diebstahl aufgrund kürzerer Bauzeit
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung des Arbeitskräftetransports - Reduzierung des Maschinentransports - Bestellung von hohen Stückzahlen und dadurch einen Mengenrabatt erhalten - Einsparungen durch die Reduktion von Baustellenarbeitern - Weniger Standortauslagen und Stau - Reduzierte Zinsbelastung durch schnelle Bauzeit - Vermeidung von kostspieligen Verzögerungen aufgrund von Wetter- und Standortbedingungen - Verteilung von Gemeinkosten, Administration- und Technikerkosten aufgrund von Massenproduktion
Baustellensicherheit	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion von Höhenarbeit und gefährlichen Tätigkeiten - Reduktion der Personalüberlastung auf der Baustelle - Reduktion der Aussetzung von Arbeitskräften gegenüber benachbarten Baustellen - Geringere Wetterbelastung des Personals - Weniger Arbeitszeit auf der Baustelle
Produktequalität	<ul style="list-style-type: none"> - Kontrollierte Produktionswerke - Hochentwickelte Produktion - Repetitive Prozesse und Vorgänge - Automatisierte Maschinen - Spezialisierte Fachkräfte - Verwendung hochwertiger Materialien, um dem Transport standzuhalten - Kürzere Wetterbelastung des Materials auf der Baustelle
Mitarbeiter und Produktivität	<ul style="list-style-type: none"> - Kleinerer Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften - Höchst organisierte Tätigkeiten - Bessere Aufsicht - Weniger Zeitunterbrechungen - Gleichmässige Arbeitskraftverteilung
Umweltleistung	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion der Abfallproduktion - Potenzial für das Abfallmanagement - Kleinere Beeinträchtigung auf der Baustelle durch Lärm und Staub - Effiziente Nutzung von Landressourcen - Reduktion der Treibhausgasemissionen

Vorteile der Modulbauweise (vgl. Kamali & Hewage, 2016, S. 1175)

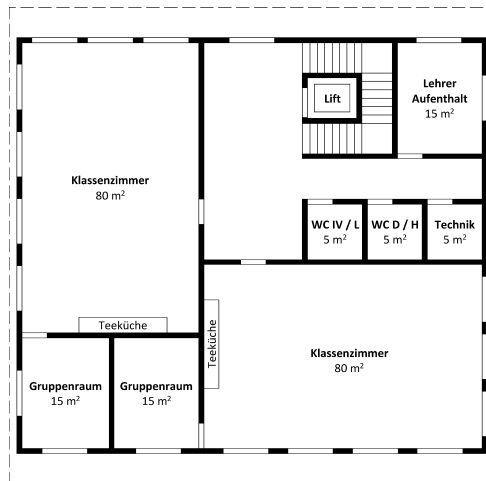
Nachteile	Beschreibung
Projektplanung	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführlichere Planung des Vorprojektes - Mehr Ingenieur-Aufwand - Schwierig, später Änderungen vorzunehmen
Transportbeschränkungen	<ul style="list-style-type: none"> - Die Abmessungen der Module sind beschränkt - Transporte der Module über weite Distanzen sind schwierig - Zeitverzögerung aufgrund verspäteter Transportgenehmigung von übergrossen Bauteilen - Zollverzögerungen an der Landesgrenze beim internationalen Transport
Negative Wahrnehmung	<ul style="list-style-type: none"> - Negative Wahrnehmung neuer Konstruktionsmethoden
Standortbeschränkungen	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit von günstigen Arbeitskräften in der Region - Verfügbarkeit von erfahrenen Ingenieuren und Architekten in der Region
Koordination und Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> - Notwendigkeit einer verstärkten und detaillierteren Koordination in allen Phasen eines Projekts - Mehr Kommunikation zwischen allen Beteiligten
Initialkosten	<ul style="list-style-type: none"> - Notwendigkeit hoher Investitionen um Modularität zu erreichen

Nachteile der Modulbauweise (vgl. Kamali & Hewage, 2016, S. 1175)

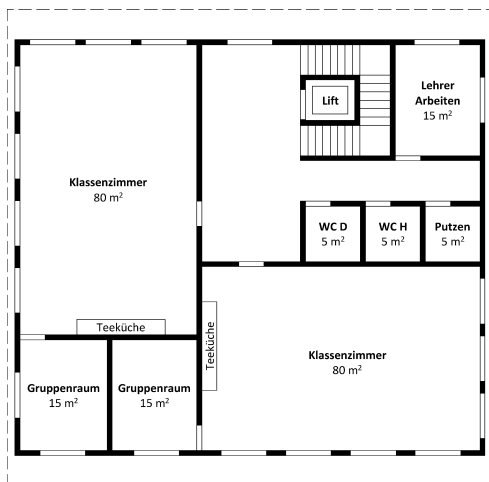
Anhang 3 Grundrisse Musterprojekte Modul- und Massivbau



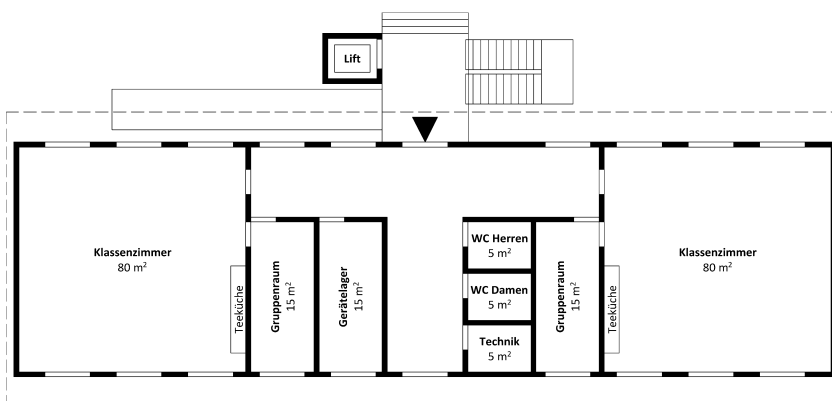
Massivbau Erdgeschoss, Masstab 1:300



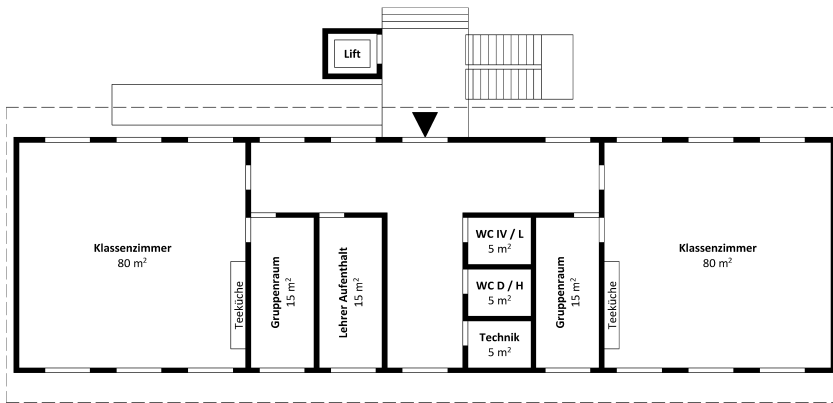
Massivbau 1. Obergeschoss, Masstab 1:300



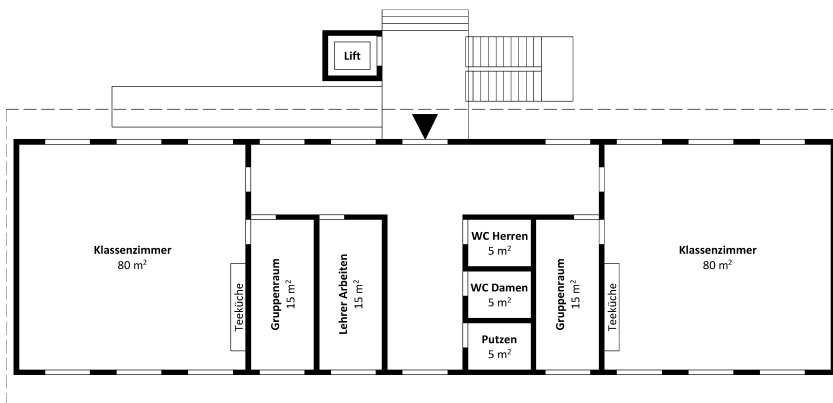
Massivbau 2. Obergeschoss, Masstab 1:300



Modulbau Erdgeschoss, Masstab 1:300



Modulbau 1. Obergeschoss, Masstab 1:300



Modulbau 2. Obergeschoss, Masstab 1:300

Anhang 4 Raumprogramm Modul- und Massivbau

Raumbezeichnung	Raumtyp gemäss ISB	Anzahl	Fläche in m ²	Fläche total in m ²
Klassenzimmer inkl. Teeküchen	HNF	6	80	480
Gruppenraum	HNF	6	15	90
Lehrer Aufenthalt	HNF	1	15	15
Lehrer Arbeiten	HNF	1	15	15
Total HNF				600
Gerätelager	NNF	1	15	15
Total NNF				15
Toiletten Damen	FF	3	5	15
Toiletten Herren	FF	2	5	10
Toiletten IV / Lehrer	FF	1	5	5
Putzraum	FF	1	5	5
Technik	FF	2	5	10
Total FF				45
Total GF				920

Raumprogramm Modul- und Massivbau

Anhang 5 Lebenszykluskostenermittlung Massivbau, 60 Jahre

Eingabeblatt

Raum- und Funktionsprogramm Massivbau						
Anzahl Geschosse						3 Stk.
Gebäudehöhe						11 m
Fenster (1.80 x 1.80 m)	1.80 m	x 1.80 m	= 3.24 m ²			57 Stk.
Aussentüren (1.80 x 2.60 m)	1.80 m	x 2.60 m	= 4.68 m ²			3 Stk.
Umfang						70 m
AT Anzahl Transportanlagen						1 Stk.
BUF Bearbeitete Umgebungsfläche (gemäss Richtprogramm der Stadt Bern)						1'230 m ²
FAW Fläche Aussenwand						770 m ²
FAWU Fläche Aussenwand unter Terrain						0 m ²
FAWUE Fläche Aussenwand über Terrain						571 m ²
FB Fläche Bedachung Gebäude						363 m ²
FBF Fläche Bodenplatte, Fundament						307 m ²
FDD Fläche Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion						920 m ²
FEA Fläche Einbaute zu Aussenwand						199 m ²
GSF Grundstücksfläche						1'537 m ²
GF Geschossfläche						920 m ²
HNF Hauptnutzfläche						600 m ²
NF Nutzfläche						615 m ²
GV Gebäudevolumen						3'373 m ³
Terminrahmen Massivbau						
Planungs- und Bauzeit						4 Jahre
	5 Jahre	4 Jahre	3 Jahre	2 Jahre	1 Jahre	0 Jahre
Kostenverteilung Planungs- und Bauzeit			2%	5%	17%	76%
Berechnungsparameter Massivbau						
Preissteigerung Bau	0.41%	Quelle: SNB, Jan. 1988 – Feb. 2018	Quelle: Richtlinien Immobilienbewertung, Immobilien Stadt Bern	Quelle: LIK		
Preissteigerung Verwaltung und Dienstleistungen	1.07%					
Preissteigerung Ver- und Entsorgung	0.75%					
Kalkulationszinssatz		nominaler risikoloser Zins	Risikoprämie	Inflation		total
		1.00%	1.05%	0.08%		1.97%
Mehrwertsteuer						7.70%
Betrachtungszellraum						60 Jahre
Erstellungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten Massivbau						
	Bezug	Lebensdauer (a)	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Kostenkennwert pro m ²		Pauschalzuschlag
			Quelle: CRB, 2012, LCC Handbuch, Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken	Quelle: Intep und AMEV, Personalbedarf: 2000	Quelle: Hochbau Stadt Bern	Quelle: Hochbau Stadt Bern
B Vorbereitung	GF			CHF 300		
C Konstruktion Gebäude		80 Jahre	0.01%			
C1 Bodenplatte Fundament	FBF			CHF 250		
C2,3 Wand- / Stützenkonstruktion / Ergänzende Leistung (a)	GF			CHF 210		
C4 Decken-, Dachkonstruktion / Ergänzende Leistung (an)	FDD			CHF 200		
D Technik Gebäude						
D1 Elektroanlage	GF	40 Jahre	0.84%	CHF 170		
D2-4 Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, Sicherhe	GF			CHF 40		
D5 Wärmeanlage	GF	30 Jahre	0.66%	CHF 80		
D6 Kälteanlage	GF	30 Jahre	0.86%	CHF 50		
D7 Lufttechnische Anlage	GF	20 Jahre	1.10%	CHF 100		
D8 Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	GF	30 Jahre	0.98%	CHF 110		
D9 Transportanlage	AT	30 Jahre	1.78%			CHF 50'000
E Äussere Wandbekleidung Gebäude						
E1 Äussere Wandbekleidung unter Terrain	FAWU					CHF 10'000
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain	FAWUE	35 Jahre	0.01%	CHF 450		
E3 Einbaute zu Aussenwand	FEA	35 Jahre	0.01%	CHF 900		
E3.3 Sonnenschutz	FEA	20 Jahre	0.01%	CHF 300		
F Bedachung Gebäude	FB	35 Jahre	0.01%	CHF 230		
G Ausbau Gebäude	GF	35 Jahre	0.01%	CHF 650		CHF 90'000
H Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude	NFH					
I Umgebung Gebäude	BUF	60 Jahre	0.01%	CHF 210		CHF 20'000
J Ausstaffung Gebäude						
J1-3 Mobiliar / Kleininventar / Textilien	NF			CHF 200		CHF 90'000
J4 Kunst am Bau	% B-G				1.00%	
V Planungskosten		60 Jahre				
V1-2 Planer und Unternehmer	% B-J				20.00%	
V3b Hochbau Stadt Bern	% B-J				3.80%	
W Nebenkosten	GF			CHF 100		
W3 Kapitalkosten	2.57%					CHF 115'980
Y Reserve, Teuerung						
Y1a Rückstellungen (BKP 581)	% B-V1/2				3.00%	
Y1b Reserve für Unvorher-gesehenes (BKP 583)	% B-V1/3				3.00%	
Z Mehrwertsteuer	% A-Y				7.70%	
Total Erneuerung (Annuität)			CHF 36'226			
Total Instandsetzung Rückstellung (Jahr 0)				CHF 6'030		
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (ohne Kapitalkosten)						CHF 4'404'716
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (mit Kapitalkosten)						CHF 4'520'696
BKP 2 / GF						CHF 3'387

Verwaltungs- und Betriebskosten Massivbau		Benchmark CHF / m ² GF / a	CHF / a
Verwaltung, Versicherung		CHF 4.45	CHF 4'094
Bewirtschaftungskosten			
Ver- und Entsorgung (Wasser, Wärme, Strom)		CHF 13.15	CHF 12'098
Reinigung und Pflege (Glas-, Fassadenreinigung inkl. Umgebung)		CHF 15.95	CHF 14'674
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)		CHF 19.75	CHF 18'170
Kontrolle und Sicherheit		CHF 2.35	CHF 2'162
Abgaben und Beiträge		CHF 1.75	CHF 1'610
Total Verwaltungs- und Betriebskosten		CHF 57.40	CHF 52'808
Kosten am Ende des Lebenszyklus Massivbau			
		Benchmark CHF / m ³ GV	Total
Rückbau und Entsorgung		CHF 50	CHF 168'667
Wiederherstellung			CHF 0
Erlöse			CHF 0
Total Kosten am Ende des Lebenszyklus			CHF 168'667

Ausgabeblatt unregelmässige Kosten

Massivbau	Bezeichnung	Lebensdauer (a)	Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Instandsetzungskosten
A	Grundstück					CHF 0.00
B	Vorbereitung		CHF 248'400.00	CHF 267'526.80	0.00%	CHF 0.00
C	Gebäude					CHF 0.00
C1+C2+C3+C4+C5	Fundament, Wand, Stützen-, Decken-, Dachkonstruktion, Ergl	80	CHF 453'866.70	CHF 488'814.44	0.01%	CHF 46.88
D	Technik Gebäude					CHF 0.00
D1+D2+D3+D4	Elektroanlage, Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, S	40	CHF 193'200.00	CHF 208'076.40	0.84%	CHF 1'747.84
D5	Wärmeanlage	30	CHF 73'600.00	CHF 79'267.20	0.66%	CHF 523.16
D6	Kälteanlage	30	CHF 46'000.00	CHF 49'542.00	0.86%	CHF 426.06
D7	Lufttechnische Anlage	20	CHF 92'000.00	CHF 99'084.00	1.10%	CHF 1'089.92
D8	Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	30	CHF 101'200.00	CHF 108'992.40	0.98%	CHF 1'068.13
D9	Transportanlage	30	CHF 50'000.00	CHF 53'850.00	1.78%	CHF 958.53
E	Äussere Wandbekleidung Gebäude					CHF 0.00
E1+E2	Äussere Wandbekleidung unter/über Terrain	35	CHF 267'076.00	CHF 287'640.85	0.01%	CHF 28.76
E3.1+E3.2+E3.3	Fenster, Tür, Tor, Absturzsicherung Aussenwand, Einbauten, ,	35	CHF 178'848.00	CHF 192'619.30	0.01%	CHF 19.26
E3.3	Sonnenschutz	20	CHF 59'616.00	CHF 64'206.43	0.01%	CHF 6.42
F	Bedachung Gebäude	35	CHF 83'490.00	CHF 89'918.73	0.01%	CHF 8.99
F1.1+F1.2+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Flachdach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
F1.1+F1.3+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Geneigtes Dach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
G	Ausbau Gebäude	35	CHF 688'000.00	CHF 740'976.00	0.01%	CHF 74.10
H	Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00		CHF 0.00
I	Umgebung Gebäude	60	CHF 278'300.00	CHF 299'729.10	0.01%	CHF 29.97
J	Ausstattung Gebäude		CHF 238'353.00	CHF 256'706.18	0.00%	CHF 0.00
V	Planungskosten	60	CHF 726'111.50	CHF 782'022.09		CHF 0.00
V1.1	Architekt			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.2	Bauingenieur			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.3+V1.4	Fachingenieur, Gebäudetechnik, Spezialist			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.5+V2.1+V2.2	Generalplaner, Planergemeinschaft, Beratung Planung, Vorbereitung Bewirtschaftung			CHF 0.00		CHF 0.00
W	Nebenkosten		CHF 92'000.00	CHF 99'084.00		CHF 0.00
Y	Reserve, Teuerung		CHF 219'740.00	CHF 236'659.98		CHF 0.00
Z	Mehrwertsteuer		CHF 314'914.70			CHF 0.00
			CHF 36'226.03	CHF 4'404'715.90		CHF 6'030.04
	Erneuerungskosten Annuität CHF/a		Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst		Instandsetzungskosten Jahr 0
Kosten am Ende des Lebenszyklus	60	CHF 168'666.67		CHF 181'654.00		

Ausgabeblatt Lebenszykluskosten

Jahre	LzK Massivbau dynamisch	Erstellungskosten	Verwaltungs- und Betriebskosten	Instandsetzungskosten	Erneuerungskosten	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5	CHF 0	CHF 0				
-4	CHF 0	CHF 0				
-3	CHF 89'830	CHF 88'094				
-2	CHF 316'174	CHF 220'236				
-1	CHF 1'076'601	CHF 739'628				
0	CHF 4'520'696	CHF 3'356'758				
1	CHF 4'578'977		CHF 52'304	CHF 5'977	CHF 0	CHF 0
2	CHF 4'636'706		CHF 51'805	CHF 5'924	CHF 0	CHF 0
3	CHF 4'693'888		CHF 51'310	CHF 5'872	CHF 0	CHF 0
4	CHF 4'750'529		CHF 50'821	CHF 5'820	CHF 0	CHF 0
5	CHF 4'806'634		CHF 50'336	CHF 5'769	CHF 0	CHF 0
6	CHF 4'862'208		CHF 49'856	CHF 5'718	CHF 0	CHF 0
7	CHF 4'917'256		CHF 49'381	CHF 5'667	CHF 0	CHF 0
8	CHF 4'971'783		CHF 48'910	CHF 5'617	CHF 0	CHF 0
9	CHF 5'025'795		CHF 48'444	CHF 5'568	CHF 0	CHF 0
10	CHF 5'079'296		CHF 47'982	CHF 5'518	CHF 0	CHF 0
11	CHF 5'132'290		CHF 47'525	CHF 5'470	CHF 0	CHF 0
12	CHF 5'184'784		CHF 47'072	CHF 5'421	CHF 0	CHF 0
13	CHF 5'236'782		CHF 46'624	CHF 5'374	CHF 0	CHF 0
14	CHF 5'288'289		CHF 46'180	CHF 5'326	CHF 0	CHF 0
15	CHF 5'339'308		CHF 45'740	CHF 5'279	CHF 0	CHF 0
16	CHF 5'389'846		CHF 45'305	CHF 5'233	CHF 0	CHF 0
17	CHF 5'439'906		CHF 44'874	CHF 5'186	CHF 0	CHF 0
18	CHF 5'489'494		CHF 44'447	CHF 5'141	CHF 0	CHF 0
19	CHF 5'538'613		CHF 44'024	CHF 5'095	CHF 0	CHF 0
20	CHF 5'587'233		CHF 43'605	CHF 5'050	CHF 119'964	CHF 0
21	CHF 5'635'429		CHF 43'191	CHF 5'006	CHF 0	CHF 0
22	CHF 5'683'171		CHF 42'780	CHF 4'962	CHF 0	CHF 0
23	CHF 5'730'461		CHF 42'373	CHF 4'918	CHF 0	CHF 0
24	CHF 5'777'306		CHF 41'970	CHF 4'874	CHF 0	CHF 0
25	CHF 5'824'709		CHF 41'571	CHF 4'831	CHF 0	CHF 0
26	CHF 5'871'674		CHF 41'176	CHF 4'789	CHF 0	CHF 0
27	CHF 5'918'206		CHF 40'785	CHF 4'746	CHF 0	CHF 0
28	CHF 5'964'308		CHF 40'398	CHF 4'705	CHF 0	CHF 0
29	CHF 6'010'985		CHF 40'014	CHF 4'663	CHF 0	CHF 0
30	CHF 6'057'896		CHF 39'634	CHF 4'622	CHF 183'654	CHF 0
31	CHF 6'104'935		CHF 39'258	CHF 4'581	CHF 0	CHF 0
32	CHF 6'152'161		CHF 38'888	CHF 4'541	CHF 0	CHF 0
33	CHF 6'200'516		CHF 38'516	CHF 4'501	CHF 0	CHF 0
34	CHF 6'249'039		CHF 38'151	CHF 4'461	CHF 0	CHF 0
35	CHF 6'297'766		CHF 37'789	CHF 4'421	CHF 764'387	CHF 0
36	CHF 6'346'741		CHF 37'430	CHF 4'382	CHF 0	CHF 0
37	CHF 6'395'919		CHF 37'075	CHF 4'344	CHF 0	CHF 0
38	CHF 6'445'308		CHF 36'724	CHF 4'305	CHF 0	CHF 0
39	CHF 6'494'951		CHF 36'376	CHF 4'267	CHF 0	CHF 0
40	CHF 6'544'792		CHF 36'031	CHF 4'230	CHF 200'440	CHF 0
41	CHF 6'594'981		CHF 35'690	CHF 4'192	CHF 0	CHF 0
42	CHF 6'645'466		CHF 35'351	CHF 4'155	CHF 0	CHF 0
43	CHF 6'696'296		CHF 35'016	CHF 4'119	CHF 0	CHF 0
44	CHF 6'747'419		CHF 34'685	CHF 4'082	CHF 0	CHF 0
45	CHF 6'798'886		CHF 34'356	CHF 4'046	CHF 0	CHF 0
46	CHF 6'850'647		CHF 34'031	CHF 4'011	CHF 0	CHF 0
47	CHF 6'902'741		CHF 33'709	CHF 3'975	CHF 0	CHF 0
48	CHF 6'955'119		CHF 33'390	CHF 3'940	CHF 0	CHF 0
49	CHF 7'007'811		CHF 33'074	CHF 3'905	CHF 0	CHF 0
50	CHF 7'060'859		CHF 32'761	CHF 3'871	CHF 0	CHF 0
51	CHF 7'114'311		CHF 32'451	CHF 3'837	CHF 0	CHF 0
52	CHF 7'168'198		CHF 32'144	CHF 3'803	CHF 0	CHF 0
53	CHF 7'222'551		CHF 31'840	CHF 3'769	CHF 0	CHF 0
54	CHF 7'277'401		CHF 31'539	CHF 3'736	CHF 0	CHF 0
55	CHF 7'332'779		CHF 31'240	CHF 3'703	CHF 0	CHF 0
56	CHF 7'388'616		CHF 30'945	CHF 3'670	CHF 0	CHF 0
57	CHF 7'444'943		CHF 30'653	CHF 3'638	CHF 0	CHF 0
58	CHF 7'501'791		CHF 30'363	CHF 3'606	CHF 0	CHF 0
59	CHF 7'559'180		CHF 30'076	CHF 3'574	CHF 0	CHF 0
60	CHF 7'617'141		CHF 29'792	CHF 3'543	CHF 0	CHF 72'031
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)		CHF 4'404'716	CHF 1'849'059	CHF 211'140		
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)		CHF 4'404'716	CHF 2'399'782	CHF 279'350	CHF 1'268'445	CHF 72'031
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a		CHF 125'796	CHF 68'536	CHF 7'978	CHF 36'226	CHF 2'057

Anhang 6 Lebenszykluskostenermittlung Modulbau, 60 Jahre

Eingabeblatt

Raum- und Funktionsprogramm Modulbau					
Anzahl Geschosse					3 Stk.
Gebäudehöhe					11 m
Fenster (1.80 x 1.80 m)	1.80 m	x 1.80 m	= 3.24 m ²		57 Stk.
Aussentüren (1.80 x 2.60 m)	1.80 m	x 2.60 m	= 4.68 m ²		3 Stk.
Umfang					84 m
AT Anzahl Transportanlagen					1 Stk.
BUF Bearbeitete Umgebungsfläche (gemäss Richtprogramm der Stadt Bern)					1'230 m ²
FAW Fläche Aussenwand					924 m ²
FAWU Fläche Aussenwand unter Terrain					0 m ²
FAWUE Fläche Aussenwand über Terrain					725 m ²
FB Fläche Bedachung Gebäude					392 m ²
FBF Fläche Bodenplatte, Fundament					307 m ²
FDD Fläche Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion					920 m ²
FEA Fläche Einbaue zu Aussenwand					199 m ²
GSF Grundstücksfläche					1'537 m ²
GF Geschossfläche					920 m ²
HNF Hauptnutzfläche					600 m ²
NF Nutzfläche					615 m ²
GV Gebäudevolumen					3'373 m ³
Volumen Liftschacht	4.75 m ³	x 11.00 m			52 m ³
Terminrahmen Modulbau					
Planungs- und Bauzeit					2 Jahre
Kostenverteilung Planungs- und Bauzeit	5 Jahre	4 Jahre	3 Jahre	2 Jahre	1. Jahre
					0 Jahre
					19%
					81%
Berechnungsparameter Modulbau					
Preissteigerung Bau	0.41%	Quelle: SNB, Jan. 1988 – Feb. 2018	Quelle: Richtlinien Immobilienbewertung, Immobilien Stadt Bern	Quelle: LIK	
Preissteigerung Verwaltung und Dienstleistungen	1.07%				
Preissteigerung Ver- und Entsorgung	0.75%				
Kalkulationszinssatz	1.00%	nominaler risikoloser Zins	Risikoprämie	Inflation	total
					1.97%
Mehrwertsteuer					7.70%
Betrachtungszeitraum					60 Jahre
Erstellungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten Modulbau					
Bezug	Lebensdauer (a)	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Kostenkennwert pro m ²	Pauschalzuschlag	
		Quelle: CRB, 2012, LOC Handbuch, Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken	Quelle: Inlep und AMEV, Personalbedarf: 2000	Quelle: Hochbau Stadt Bern	Quelle: Hochbau Stadt Bern
B Vorbereitung	GF			CHF 250	
C Konstruktion Gebäude		70 Jahre	0.01%		
C1 Bodenplatte Fundament	FBF			CHF 150	
C2.3 Wand- / Stützenkonstruktion / Ergänzende Leistung (a)	GF			CHF 160	
C4 Decken-, Dachkonstruktion / Ergänzende Leistung (an)	FDD			CHF 160	
D Technik Gebäude					
D1 Elektroanlage	GF	40 Jahre	0.84%	CHF 140	
D2-4 Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, Sicherhe	GF			CHF 40	
D5 Wärmeanlage	GF	35 Jahre	0.66%	CHF 60	
D6 Kälteanlage	GF	30 Jahre	0.86%	CHF 50	
D7 Lufttechnische Anlage	GF	20 Jahre	1.10%	CHF 80	
D8 Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	GF	30 Jahre	0.98%	CHF 100	
D9 Transportanlage	AT	30 Jahre	1.78%		CHF 90'000
E Äussere Wandbekleidung Gebäude					
E1 Äussere Wandbekleidung unter Terrain	FAWU				
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain	FAWUE	35 Jahre	0.01%	CHF 350	
E3 Einbaue zu Aussenwand	FEA	35 Jahre	0.01%	CHF 900	
E3.3 Sonnenschutz	FEA	20 Jahre	0.01%	CHF 300	
F Bedachung Gebäude	FB	35 Jahre	0.01%	CHF 230	
G Ausbau Gebäude	GF	25 Jahre	0.01%	CHF 400	CHF 90'000
H Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude	NFH				
I Umgebung Gebäude	BUF	60 Jahre	0.01%	CHF 210	CHF 20'000
J Ausstattung Gebäude					
J1-3 Mobilier / Kleininventar / Textilien	NF			CHF 200	CHF 90'000
J4 Kunst am Bau	% B-G		1.00%		
V Planungskosten		60 Jahre			
V1.2 Planer und Unternehmer	% B-J			15.00%	
V3b Hochbau Stadt Bern	% B-J			3.80%	
W Nebenkosten	GF			CHF 100	
W3 Kapitalkosten	2.30%				CHF 84'684
Y Reserve, Teuerung					
Y1a Rückstellungen (BKP 581)	% B-V1/2			3.00%	
Y1b Reserve für Unvorher-gesehenes (BKP 583)	% B-V1/3			3.00%	
Z Mehrwertsteuer	% A-Y			7.70%	
Total Erneuerung (Annuität)		CHF 38'077			
Total Instandsetzung Rückstellung (Jahr 0)			CHF 5'297		
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (ohne Kapitalkosten)					CHF 3'600'749
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (mit Kapitalkosten)					CHF 3'685'433
BKP 2 / GF					CHF 2'648

Verwaltungs- und Betriebskosten Modulbau		Benchmark CHF / m ² GF / a	CHF / a
Verwaltung, Versicherung		CHF 4.45	CHF 4'094
Bewirtschaftungskosten			
Ver- und Entsorgung (Wasser, Wärme, Strom)		CHF 14.75	CHF 13'570
Reinigung und Pflege (Glas-, Fassadenreinigung inkl. Umgebung)		CHF 15.95	CHF 14'674
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)		CHF 19.75	CHF 18'170
Kontrolle und Sicherheit		CHF 2.35	CHF 2'162
Abgaben und Beiträge		CHF 1.75	CHF 1'610
Total Verwaltungs- und Betriebskosten		CHF 59.00	CHF 54'280
Kosten am Ende des Lebenszyklus Modulbau			
		Benchmark CHF / m ³ GV	Total
Rückbau und Entsorgung Beton		CHF 50	CHF 17'946
Rückbau und Entsorgung Module		CHF 45	CHF 138'000
Wiederherstellung			CHF 0
Erlöse			CHF 0
Total Kosten am Ende des Lebenszyklus			CHF 155'946

Ausgabeblatt unregelmässige Kosten

Modulbau	Bezeichnung	Lebensdauer (a)	Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Instandsetzungskosten
A	Grundstück					CHF 0.00
B	Vorbereitung		CHF 207'000.00	CHF 222'939.00	0.00%	CHF 0.00
C	Gebäude					CHF 0.00
C1+C2+C3+C4+C5	Fundament, Wand, Stützen-, Decken-, Dachkonstruktion, Ergä	70	CHF 340'400.00	CHF 366'610.80	0.01%	CHF 36.86
D	Technik Gebäude					CHF 0.00
D1+D2+D3+D4	Elektroanlage, Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, S	40	CHF 165'600.00	CHF 178'351.20	0.84%	CHF 1'498.15
D5	Wärmeanlage	35	CHF 55'200.00	CHF 59'450.40	0.66%	CHF 392.37
D6	Kälteanlage	30	CHF 46'000.00	CHF 49'542.00	0.86%	CHF 426.06
D7	Lufttechnische Anlage	20	CHF 73'600.00	CHF 79'267.20	1.10%	CHF 871.94
D8	Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	30	CHF 92'000.00	CHF 99'084.00	0.98%	CHF 971.02
D9	Transportanlage	30	CHF 50'000.00	CHF 53'850.00	1.78%	CHF 958.53
E	Äussere Wandbekleidung Gebäude					CHF 0.00
E1+E2	Äussere Wandbekleidung unter/über Terrain	35	CHF 253'848.00	CHF 273'394.30	0.01%	CHF 27.34
E3.1+E3.2+E3.3+E3.4	Fenster, Tür, Tor, Absturzsicherung Aussenwand, Einbauten, ,	35	CHF 178'848.00	CHF 192'619.30	0.01%	CHF 19.26
E3.3	Sonnenschutz	20	CHF 59'616.00	CHF 64'206.43	0.01%	CHF 6.42
F	Bedachung Gebäude					CHF 9.71
F1.1+F1.2+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Flachdach, Blitzschutz	35	CHF 90'160.00	CHF 97'102.32	0.01%	CHF 9.71
F1.1+F1.3+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Geneigtes Dach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
				CHF 0.00		CHF 0.00
G	Ausbau Gebäude					CHF 49.33
G	Ausbau Gebäude	25	CHF 458'000.00	CHF 493'266.00	0.01%	CHF 49.33
H	Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude					CHF 0.00
H	Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00		CHF 0.00
I	Umgebung Gebäude					CHF 29.97
I	Umgebung Gebäude	60	CHF 278'300.00	CHF 299'729.10	0.01%	CHF 29.97
J	Ausstattung Gebäude					CHF 0.00
J	Ausstattung Gebäude		CHF 233'702.70	CHF 251'697.81	0.00%	CHF 0.00
V	Planungskosten					CHF 0.00
V	Planungskosten	60	CHF 490'862.80	CHF 528'659.24		CHF 0.00
V1.1	Architekt			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.2	Bauingenieur			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.3+V1.4	Fachingenieur, Gebäudetechnik, Spezialist			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.5+V2.1+V2.2	Generalplaner, Planergemeinschaft, Beratung Planung, Vorbereitung Bewirtschaftung			CHF 0.00		CHF 0.00
W	Nebenkosten					CHF 0.00
W	Nebenkosten		CHF 92'000.00	CHF 99'084.00		CHF 0.00
Y	Reserve, Teuerung					CHF 0.00
Y	Reserve, Teuerung		CHF 178'176.00	CHF 191'895.55		CHF 0.00
Z	Mehrwertsteuer					CHF 0.00
Z	Mehrwertsteuer		CHF 257'435.10			CHF 0.00
			CHF 38'076.88	CHF 3'600'748.60		CHF 3'600'748.64
	Erneuerungskosten Annuität CHF/a		Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst		Instandsetzungskosten Jahr 0
Kosten am Ende des Lebenszyklus		60	CHF 155'945.83	CHF 167'953.66		

Ausgabeblatt Lebenszykluskosten

Jahre	LzK Modulbau dynamisch	Erstellungskosten	Verwaltungs- und Betriebskosten	Instandsetzungskosten	Erneuerungskosten	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5		CHF 0				
-4		CHF 0				
-3		CHF 0				
-2	CHF 0	CHF 0				
-1	CHF 697'948	CHF 684'464				
0	CHF 3'685'433	CHF 2'916'285				
1	CHF 3'744'441		CHF 53'758	CHF 5'250	CHF 0	CHF 0
2	CHF 3'802'887		CHF 53'242	CHF 5'204	CHF 0	CHF 0
3	CHF 3'860'775		CHF 52'730	CHF 5'158	CHF 0	CHF 0
4	CHF 3'918'111		CHF 52'224	CHF 5'112	CHF 0	CHF 0
5	CHF 3'974'900		CHF 51'722	CHF 5'067	CHF 0	CHF 0
6	CHF 4'031'148		CHF 51'226	CHF 5'022	CHF 0	CHF 0
7	CHF 4'086'860		CHF 50'734	CHF 4'978	CHF 0	CHF 0
8	CHF 4'142'041		CHF 50'247	CHF 4'934	CHF 0	CHF 0
9	CHF 4'196'697		CHF 49'765	CHF 4'891	CHF 0	CHF 0
10	CHF 4'250'832		CHF 49'287	CHF 4'847	CHF 0	CHF 0
11	CHF 4'304'451		CHF 48'815	CHF 4'805	CHF 0	CHF 0
12	CHF 4'357'560		CHF 48'346	CHF 4'762	CHF 0	CHF 0
13	CHF 4'410'163		CHF 47'883	CHF 4'720	CHF 0	CHF 0
14	CHF 4'462'265		CHF 47'424	CHF 4'679	CHF 0	CHF 0
15	CHF 4'513'872		CHF 46'969	CHF 4'637	CHF 0	CHF 0
16	CHF 4'564'987		CHF 46'519	CHF 4'596	CHF 0	CHF 0
17	CHF 4'615'616		CHF 46'074	CHF 4'556	CHF 0	CHF 0
18	CHF 4'665'764		CHF 45'632	CHF 4'516	CHF 0	CHF 0
19	CHF 4'715'435		CHF 45'195	CHF 4'476	CHF 0	CHF 0
20	CHF 4'770'039		CHF 44'762	CHF 4'436	CHF 105'405	CHF 0
21	CHF 4'818'770		CHF 44'334	CHF 4'397	CHF 0	CHF 0
22	CHF 4'867'037		CHF 43'909	CHF 4'358	CHF 0	CHF 0
23	CHF 4'914'846		CHF 43'489	CHF 4'320	CHF 0	CHF 0
24	CHF 4'962'201		CHF 43'073	CHF 4'282	CHF 0	CHF 0
25	CHF 5'009'608		CHF 42'661	CHF 4'244	CHF 335'502	CHF 0
26	CHF 5'051'067		CHF 42'253	CHF 4'206	CHF 0	CHF 0
27	CHF 5'093'085		CHF 41'849	CHF 4'169	CHF 0	CHF 0
28	CHF 5'134'666		CHF 41'449	CHF 4'132	CHF 0	CHF 0
29	CHF 5'175'815		CHF 41'053	CHF 4'096	CHF 0	CHF 0
30	CHF 5'216'535		CHF 40'660	CHF 4'060	CHF 127'500	CHF 0
31	CHF 5'256'830		CHF 40'272	CHF 4'024	CHF 0	CHF 0
32	CHF 5'296'705		CHF 39'887	CHF 3'988	CHF 0	CHF 0
33	CHF 5'336'164		CHF 39'506	CHF 3'953	CHF 0	CHF 0
34	CHF 5'375'211		CHF 39'128	CHF 3'918	CHF 0	CHF 0
35	CHF 5'413'846		CHF 38'755	CHF 3'884	CHF 362'948	CHF 0
36	CHF 5'452'073		CHF 38'385	CHF 3'850	CHF 0	CHF 0
37	CHF 5'489'896		CHF 38'018	CHF 3'816	CHF 0	CHF 0
38	CHF 5'527'319		CHF 37'656	CHF 3'782	CHF 0	CHF 0
39	CHF 5'564'349		CHF 37'296	CHF 3'748	CHF 0	CHF 0
40	CHF 5'600'984		CHF 36'940	CHF 3'715	CHF 173'701	CHF 0
41	CHF 5'637'221		CHF 36'588	CHF 3'683	CHF 0	CHF 0
42	CHF 5'673'058		CHF 36'239	CHF 3'650	CHF 0	CHF 0
43	CHF 5'708'500		CHF 35'894	CHF 3'618	CHF 0	CHF 0
44	CHF 5'743'547		CHF 35'551	CHF 3'586	CHF 0	CHF 0
45	CHF 5'778'200		CHF 35'213	CHF 3'554	CHF 0	CHF 0
46	CHF 5'812'459		CHF 34'877	CHF 3'523	CHF 0	CHF 0
47	CHF 5'846'224		CHF 34'545	CHF 3'492	CHF 0	CHF 0
48	CHF 5'879'595		CHF 34'216	CHF 3'461	CHF 0	CHF 0
49	CHF 5'912'571		CHF 33'890	CHF 3'430	CHF 0	CHF 0
50	CHF 5'945'152		CHF 33'567	CHF 3'400	CHF 228'196	CHF 0
51	CHF 5'977'339		CHF 33'247	CHF 3'370	CHF 0	CHF 0
52	CHF 6'009'132		CHF 32'931	CHF 3'340	CHF 0	CHF 0
53	CHF 6'040'531		CHF 32'618	CHF 3'311	CHF 0	CHF 0
54	CHF 6'071'536		CHF 32'307	CHF 3'282	CHF 0	CHF 0
55	CHF 6'102'147		CHF 32'000	CHF 3'253	CHF 0	CHF 0
56	CHF 6'132'364		CHF 31'695	CHF 3'224	CHF 0	CHF 0
57	CHF 6'162'187		CHF 31'394	CHF 3'196	CHF 0	CHF 0
58	CHF 6'191'616		CHF 31'095	CHF 3'167	CHF 0	CHF 0
59	CHF 6'220'751		CHF 30'800	CHF 3'139	CHF 0	CHF 0
60	CHF 6'249'595		CHF 30'507	CHF 3'112	CHF 0	CHF 66'598
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)		CHF 3'600'749	CHF 1'900'601	CHF 185'465		
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)		CHF 3'600'749	CHF 2'462'302	CHF 245'380	CHF 1'333'252	CHF 66'598
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a		CHF 102'835	CHF 70'322	CHF 7'008	CHF 38'077	CHF 1'902

Anhang 7 **Beschrieb Kostenarten Verwaltungs- und Betriebskosten**

Kostenarten	Beispiele (nicht abschliessend)
Verwaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Verwaltungshonorar - Vermietungskosten - Objekt- / Liegenschaftsbuchhaltung - Objektdokumentation - Heiz- und Betriebskostenabrechnung
Ver- und Entsorgung	<ul style="list-style-type: none"> - Betriebskosten für Ab-/Wasser, Wärme, Kälte und Strom (inklusive Warmwasseraufbereitung) - Elektrokosten (inklusive Strom für den Betrieb der Heizung) - Personalkosten, Geräteamortisation sowie Transport von Abfällen zu Entsorgungspunkten, Einsammeln von Abfällen, Leeren der Mülleimer, etc. - Kosten für die Abfallverarbeitung und externe Anlieferung, die durch die Entsorgung der Abfallmenge anfallen
Reinigung und Pflege	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung von Bauwerkseinheiten (Fussböden, Sanitärobjekte, Fensterreinigung, Fassadenreinigung) - Umgebungsflächen (Unterhalt der Umgebungsfläche, Pflanzenschnitt, Winterdienst) - Ausstattung und technische Anlagen (technische Reinigung, Reinigungsmaterial, Verbrauchsmaterialien)
Überwachung und Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudehülle (Neue Anstriche, Fugenkitte ersetzen, Versiegelungen bei Fenstern) - Dach (Ersatz schadhafter Ziegel, Reinigung von Rinnen, Flachdachkontrollgänge) - Küche (Ersetzen von Küchengeräten, Auswechseln von Armaturendichtungen und Filtern, Richten von Scharnieren und Bändern) - Sanitärinstallationen (Dichtungen, Auswechseln von Bauteilen, Reinigung von Siphons und Ablaufsieben) - Wärmeerzeugung (Verordnete Kontrollen, Reinigung und Entlüftung, Revisionen)
Kontrolle und Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung von Konzepten, Durchführung von Übungen - Instandhaltung von Sicherheits-Ausrüstung (z.B. Sanitätsmaterial) - Alarmmanagement - Integrale Sicherheitssysteme und Sicherheits-Leitsysteme - Brandmelde- und Brandlöschanlagen / Einbruch-/Intrusionsmeldeanlagen - Schlösser und Beschläge
Abgaben und Beiträge	<ul style="list-style-type: none"> - Steuern (Liegenschaftssteuer) - Versicherungsbeiträge - Gebäudeversicherungsprämien - Anschlussgebühren

Kostenarten Verwaltungs- und Betriebskosten (vgl. pom+ Consulting AG, 2017b)

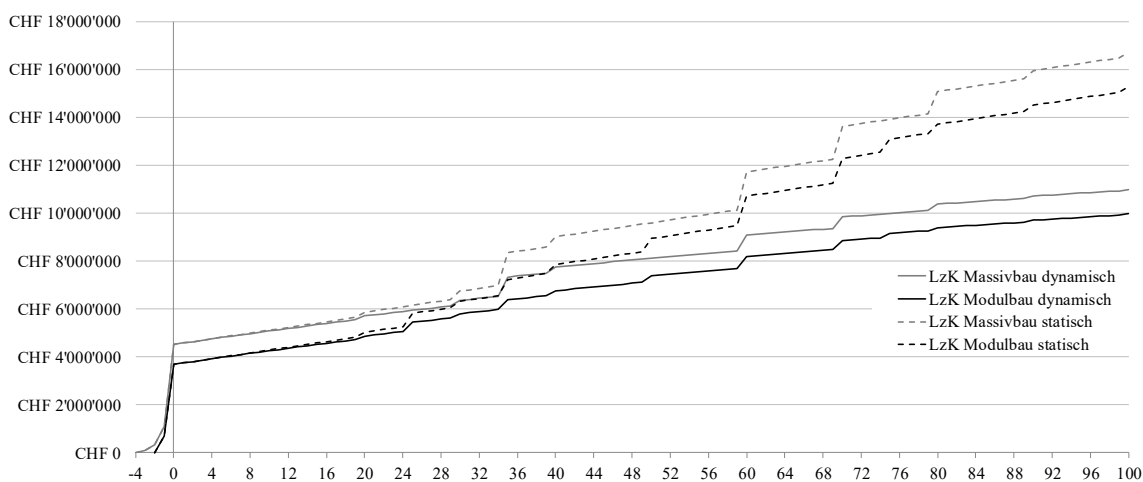
Anhang 8 Heiz- und Betriebskostenabrechnung Modulbau Wyssloch

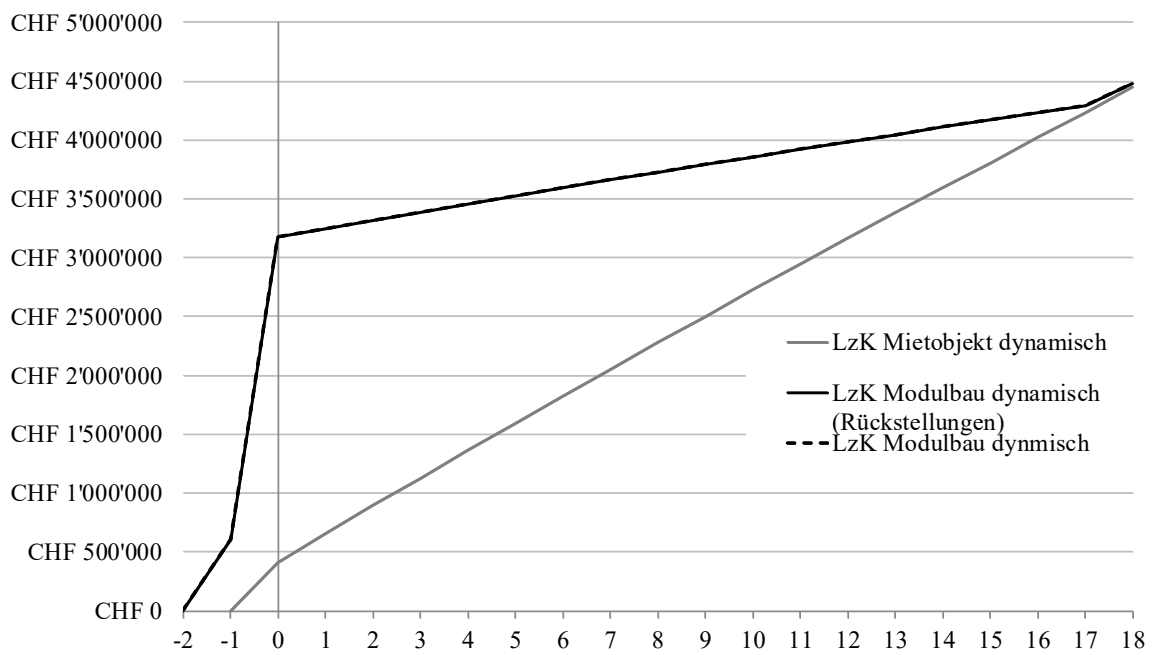
Heiz- und Betriebskostenabrechnung (Detail pro Kostenträger)			Flächenkosten	
Liegenschaft:	1384G004 Neubau Provisorium Wyssloch			
Abrechnungsdatum:	29. September 2017			
Abrechnungsperiode:	01.08.2016 bis 30.06.2017 (11 Monate)			
Beschreibung	Umlageschlüssel	total Einheit	total Kosten 11 Monate	total Kosten 12 Monate*
Reinigung	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 19'146.97	CHF 20'887.60
Hauswart	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 18'436.67	CHF 20'112.73
Strom/Gas	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 6'015.25	CHF 6'562.09
Wasser	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 312.36	CHF 340.76
Abfallgebühren	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 2'580.00	CHF 2'814.55
Vertriebs-/Verbrauchsmaterial	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 1'702.25	CHF 1'857.00
Wartungsverträge	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 464.40	CHF 506.62
Kleinreparaturen z.L. Nutzer < 500	Fläche (HNF)	548.43 m ²	CHF 293.75	CHF 320.45
Total Betriebskosten			CHF 48'951.65	CHF 53'401.80
3% Honorar			CHF 1'468.55	CHF 1'602.05
Total Forderungen			CHF 50'420.20	CHF 55'003.85

* Die Kosten wurden von 11 auf 12 Monate hochgerechnet

Heiz- und Betriebskostenabrechnung Modulbau Wyssloch (vgl. ISB, 2017)

Anhang 9 Lebenszykluskostenermittlung Massiv- und Modulbau, 100 Jahre



Anhang 10 Lebenszykluskostenermittlung, 18 Jahre / ohne Standortwechsel

Anhang 11 Lebenszykluskostenermittlung, 20 Jahre / ohne Standortwechsel

Eingabeblatt

Raum- und Funktionsprogramm 20 Jahre					
Anzahl Geschosse					3 Stk.
Gebäudehöhe					11 m
Fenster (1.80 x 1.80 m)	1.80 m	x 1.80 m	= 3.24 m ²		57 Stk.
Aussentüren (1.80 x 2.60 m)	1.80 m	x 2.60 m	= 4.68 m ²		3 Stk.
Umfang					84 m
AT Anzahl Transportanlagen					1 Stk.
BUF Bearbeitete Umgebungsfläche (gemäss Richtprogramm der Stadt Bern)					1'230 m ²
FAW Fläche Aussenwand					924 m ²
FAWU Fläche Aussenwand unter Terrain					0 m ²
FAWUE Fläche Aussenwand über Terrain					725 m ²
FB Fläche Bedachung Gebäude					392 m ²
FBF Fläche Bodenplatte, Fundament					307 m ²
FDD Fläche Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion					920 m ²
FEA Fläche Einbaute zu Aussenwand					199 m ²
GSF Grundstücksfläche					1'537 m ²
GF Geschossfläche					920 m ²
HNF Hauptnutzfläche					600 m ²
NF Nutzfläche					615 m ²
GV Gebäudevolumen					3'373 m ³
Volumen Liftschacht	4.75 m ³	x 11.00 m			52 m ³
Terminrahmen 20 Jahre					
Planungs- und Bauzeit					2 Jahre
	5 Jahre	4 Jahre	3 Jahre	2 Jahre	1 Jahre
Kostenverteilung Planungs- und Bauzeit					19%
					81%
Berechnungsparameter 20 Jahre					
Preissteigerung Bau	0.41%	Quelle: SNB, Jan. 1988 – Feb. 2018	Quelle: Richtlinien Immobilienbewertung, Immobilien Stadt Bern	Quelle: LIK	
Preissteigerung Verwaltung und Dienstleistungen	1.07%				
Preissteigerung Ver- und Entsorgung	1.07%				
Kalkulationszinssatz	1.00%	nominaler risikoloser Zins	Risikoprämie	Inflation	total
					1.97%
Mehrwertsteuer					7.70%
Betrachtungzeitraum					20 Jahre
Standortwechsel nach					0 Jahre
Erstellungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten Modulbau 20 Jahre					
	Bezug	Lebensdauer (a)	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Kostenkennwert pro m ²	Pauschalzuschlag
			Quelle: CRB, 2012, LOC Handbuch, Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken	Quelle: Integ und AMEV, Personalbedarf, 2000	Quelle: Hochbau Stadt Bern
				Quelle: Hochbau Stadt Bern	Quelle: Hochbau Stadt Bern
B Vorbereitung	GF			CHF 250	
C Konstruktion Gebäude		70 Jahre	0.01%		
C1 Bodenplatte Fundament	FBF			CHF 150	
C2,3 Wand- / Stützenkonstruktion / Ergänzende Leistung (a)	GF			CHF 160	
C4 Decken-, Dachkonstruktion / Ergänzende Leistung (an)	FDD			CHF 160	
D Technik Gebäude					
D1 Elektroanlage	GF	40 Jahre	0.84%	CHF 140	
D2-4 Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, Sicherhe	GF			CHF 40	
D5 Wärmearanlage	GF	35 Jahre	0.66%	CHF 60	
D6 Kälteanlage	GF	30 Jahre	0.86%	CHF 50	
D7 Lufttechnische Anlage	GF	20 Jahre	1.10%	CHF 80	
D8 Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	GF	30 Jahre	0.98%	CHF 100	
D9 Transportanlage	AT	30 Jahre	1.78%		CHF 50'000
E Äussere Wandbekleidung Gebäude					
E1 Äussere Wandbekleidung unter Terrain	FAWU				
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain	FAWUE	35 Jahre	0.01%	CHF 350	
E3 Einbaute zu Aussenwand	FEA	35 Jahre	0.01%	CHF 900	
E3.3 Sonnenschutz	FEA	20 Jahre	0.01%	CHF 300	
F Bedachung Gebäude	FB	35 Jahre	0.01%	CHF 230	
G Ausbau Gebäude	GF	25 Jahre	0.01%	CHF 400	CHF 90'000
H Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude	NFH				
I Umgebung Gebäude	BUF	60 Jahre	0.01%	CHF 100	CHF 20'000
J Ausattung Gebäude					
J1-3 Mobiliar / Kleininventar / Textilien	NF			CHF 0	
J4 Kunst am Bau	% B-G			0.00%	
V Planungskosten		60 Jahre			
V1-2 Planer und Unternehmer	% B-J			15.00%	
V3b Hochbau Stadt Bern	% B-J			3.80%	
W Nebenkosten	GF			CHF 100	
W3 Kapitalkosten	2.30%	CHF 73'167			CHF 73'167
Y Reserve, Teuerung					
Y1a Rückstellungen (BKP 581)	% B-V1/2			3.00%	
Y1b Reserve für Unvorher-gesehenes (BKP 583)	% B-V1/3			3.00%	
Z Mehrwertsteuer	% A-Y			7.70%	
Total Erneuerung (Annuität)			CHF 0		
Total Instandsetzung Rückstellung (Jahr 0)				CHF 5'282	
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (ohne Kapitalkosten)					CHF 3'105'408
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (mit Kapitalkosten)					CHF 3'178'575
BKP 2 / GF					CHF 2'648

Kosten Mietobjekt 20 Jahre		Kostenkennwert pro m ²		Kosten /a
Bruttomiete	NF	CHF 300 / m ² NF		CHF 184'500
HBK /SB	NF	CHF 95 / m ² NF	CHF 64 / m ² GF	CHF 58'425
Baukosten ohne Umgebung	NF	CHF 410 / m ² NF	CHF 252'150	CHF 232'734
Umgebung				CHF 143'000
Mehrwertssteuer	%			CHF 28'932
Total Baukosten inkl. Mwst.				CHF 404'666
Total Baukosten inkl. Kapitalkosten				CHF 412'638
Rückbaukosten alter Standort		5%	Pauschalbetrag	CHF 20'000
Baukosten ohne Umgebung				CHF 232'734
Umgebung ohne Spielgeräte				CHF 123'000
Mehrwertssteuer				CHF 28'932
Total Ersatzkosten Mietobjekt				CHF 404'666
Anteil Ersatzkosten an Erstellungskosten				100%

Verwaltungs- und Betriebskosten Modulbau 20 Jahre		Benchmark CHF / m ² GF / a	CHF / a
Verwaltung, Versicherung		CHF 4.45	CHF 4'094
Bewirtschaftungskosten			
Ver- und Entsorgung (Wasser, Wärme, Strom)		CHF 14.75	CHF 13'570
Reinigung und Pflege (Glas-, Fassadenreinigung inkl. Umgebung)		CHF 15.95	CHF 14'674
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)		CHF 19.75	CHF 18'170
Kontrolle und Sicherheit		CHF 2.35	CHF 2'162
Abgaben und Beiträge		CHF 1.75	CHF 1'610
Total Verwaltungs- und Betriebskosten		CHF 59.00	CHF 54'280

Kosten am Ende des Lebenszyklus Modulbau 20 Jahre		Benchmark CHF / m ³ GV	Total
Reduktion Rückbau Module Jahre 1-12			100%
Reduktion Rückbau Module Jahre 13-15			50%
Reduktion Rückbau Module ab Jahr 16			0%
Rückbau und Entsorgung Beton		CHF 50	CHF 17'946
Reduktion Rückbau und Entsorgung Module			0%
Rückbau und Entsorgung Module		CHF 45	CHF 138'000
Wiederherstellung			CHF 0
Erlöse			CHF 0
Total Kosten am Ende des Lebenszyklus			CHF 155'946

Versetzung Modulbau 20 Jahre			
B Rückbaukosten alter Standort			CHF 17'946
B Vorbereitungsarbeiten neuer Standort			CHF 207'000
C-G Montagebau in Holz		CHF 275'000	CHF 222'144
I Umgebung ohne Spielgeräte			CHF 123'000
V Planungskosten		19%	CHF 109'573
W Baunebenkosten			CHF 92'000
Z Mehrwertsteuer		7.70%	CHF 59'418
Total Kosten Versatz			CHF 831'081
Anteil Ersatzkosten an Erstellungskosten			27%

Opportunitätskosten Modulbau 20 Jahre		Terrainmiete/(m ² a):	Terrainmiete/a:	Terrainmiete total
A Grundstück	GSF	CHF 8	CHF 12'293	CHF 201'597

Ausgabeblatt unregelmässige Kosten

Modulbau	Bezeichnung	Lebensdauer (a)	Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Instandsetzungskosten
A	Grundstück					CHF 0.00
B	Vorbereitung		CHF 207'000.00	CHF 222'939.00	0.00%	CHF 0.00
C	Gebäude					CHF 0.00
C1+C2+C3+C4+C5	Fundament, Wand, Stützen-, Decken-, Dachkonstruktion, Ergl	70	CHF 340'400.00	CHF 366'610.80	0.01%	CHF 36.86
D	Technik Gebäude					CHF 0.00
D1+D2+D3+D4	Elektroanlage, Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, S	40	CHF 165'600.00	CHF 178'351.20	0.84%	CHF 1'498.15
D5	Wärmeanlage	35	CHF 55'200.00	CHF 59'450.40	0.66%	CHF 392.37
D6	Kälteanlage	30	CHF 46'000.00	CHF 49'542.00	0.86%	CHF 426.06
D7	Lufttechnische Anlage	20	CHF 73'600.00	CHF 79'267.20	1.10%	CHF 871.94
D8	Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	30	CHF 92'000.00	CHF 99'084.00	0.98%	CHF 971.02
D9	Transportanlage	30	CHF 50'000.00	CHF 53'850.00	1.78%	CHF 958.53
E	Aussere Wandbekleidung Gebäude					CHF 0.00
E1+E2	Aussere Wandbekleidung unter/über Terrain	35	CHF 253'848.00	CHF 273'394.30	0.01%	CHF 27.34
E3.1+E3.2+E3.4+F	Fenster, Tür, Tor, Absturzsicherung Aussenwand, Einbauten, ,	35	CHF 178'848.00	CHF 192'619.30	0.01%	CHF 19.26
E3.3	Sonnenschutz	20	CHF 59'616.00	CHF 64'206.43	0.01%	CHF 6.42
F	Bedachung Gebäude					CHF 9.71
F1.1+F1.2+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Flachdach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
F1.1+F1.3+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Geneigtes Dach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
G	Ausbau Gebäude					CHF 49.33
H	Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude	25	CHF 458'000.00	CHF 493'266.00	0.01%	CHF 49.33
I	Umgebung Gebäude	60	CHF 143'900.00	CHF 154'011.00	0.01%	CHF 15.40
J	Ausstattung Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00	0.00%	CHF 0.00
V	Planungskosten	60	CHF 425'399.20	CHF 458'154.94		CHF 0.00
V1.1	Architekt			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.2	Baugenieur			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.3+V1.4	Fachingenieur, Gebäudetechnik, Spezialist			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.5+V2.1+V2.2	Generalplaner, Planergemeinschaft, Beratung Planung, Vorbereitung Bewirtschaftung			CHF 0.00		CHF 0.00
W	Nebenkosten		CHF 92'000.00	CHF 99'084.00		CHF 0.00
Y	Reserve, Teuerung		CHF 152'716.00	CHF 164'475.13		CHF 0.00
Z	Mehrwertsteuer		CHF 222'020.80			CHF 0.00
		CHF 0.00	CHF 3'105'408.00	CHF 3'105'408.01		CHF 5'282.20
	Erneuerungskosten Annuität CHF/a		Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst		Instandsetzungskosten Jahr 0
Kosten am Ende des Lebenszyklus	20	CHF 155'945.83	CHF 167'953.66			
Versatzkosten Modulbau	0		CHF 831'081.27			
Versatzkosten Zumiete	0		CHF 404'686.00			

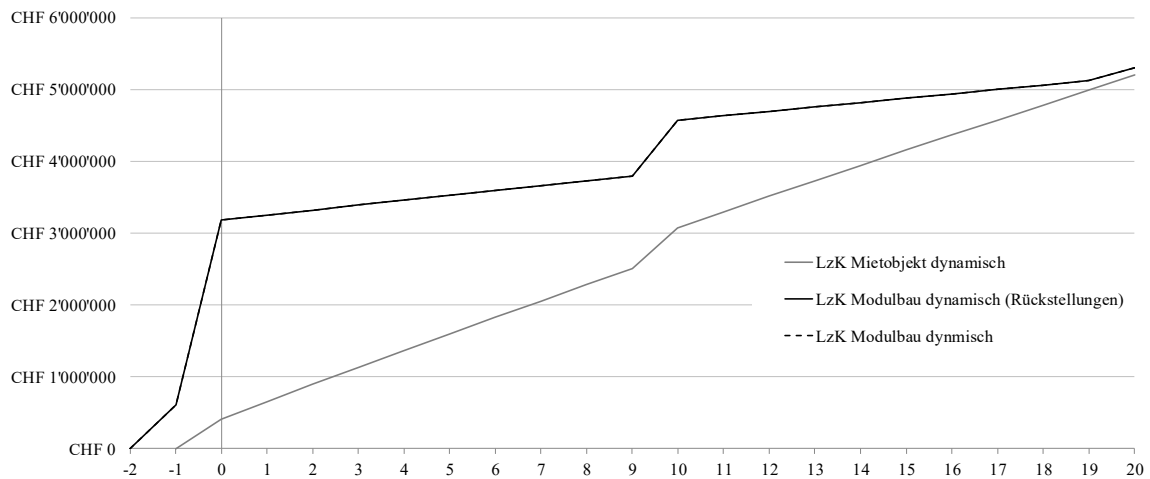
Ausgabeblatt Lebenszykluskosten Modulbau

Jahre	LxK Modulbau 20 Jahre dynamisch	LxK Modulbau dynamisch (Rückstellung)	Erstellungskosten	Verwaltungs- und Betriebskosten	Instandsetzungskosten	Erneuerungskosten Rückstellung	Erneuerungskosten	Opportunitätskosten Grundstück	Versatzkosten	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-4	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-3	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-2	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-1	CHF 608'629.44	CHF 608'629.44	CHF 608'629.44							
0	CHF 3'178'574.54	CHF 3'178'574.54	CHF 2'908'536.52							
1	CHF 3'249'666.86	CHF 3'249'666.86	CHF 5'360.92	CHF 5'360.92	CHF 5'360.92	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 12'055.83	CHF 0.00	CHF 0.00
2	CHF 3'320'005.22	CHF 3'320'005.22	CHF 5'328.06	CHF 5'328.06	CHF 5'189.37	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 11'822.92	CHF 0.00	CHF 0.00
3	CHF 3'389'588.69	CHF 3'389'588.69	CHF 5'285.40	CHF 5'143.56	CHF 5'143.56	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 11'594.51	CHF 0.00	CHF 0.00
4	CHF 3'458'156.28	CHF 3'458'156.28	CHF 5'238.89	CHF 5'088.17	CHF 5'088.17	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 11'370.51	CHF 0.00	CHF 0.00
5	CHF 3'526'586.77	CHF 3'526'586.77	CHF 5'192.50	CHF 5'033.17	CHF 5'033.17	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 11'150.84	CHF 0.00	CHF 0.00
6	CHF 3'593'968.95	CHF 3'593'968.95	CHF 5'146.19	CHF 5'008.57	CHF 5'008.57	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 10'935.41	CHF 0.00	CHF 0.00
7	CHF 3'660'701.39	CHF 3'660'701.39	CHF 5'101.93	CHF 4'964.36	CHF 4'964.36	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 10'724.15	CHF 0.00	CHF 0.00
8	CHF 3'726'702.57	CHF 3'726'702.57	CHF 5'056.67	CHF 4'920.55	CHF 4'920.55	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 10'516.96	CHF 0.00	CHF 0.00
9	CHF 3'792'010.86	CHF 3'792'010.86	CHF 5'011.39	CHF 4'877.12	CHF 4'877.12	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 10'313.78	CHF 0.00	CHF 0.00
10	CHF 3'856'634.50	CHF 3'856'634.50	CHF 4'967.05	CHF 4'834.07	CHF 4'834.07	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 10'114.52	CHF 0.00	CHF 0.00
11	CHF 3'920'581.84	CHF 3'920'581.84	CHF 4'922.61	CHF 4'791.41	CHF 4'791.41	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 9'919.12	CHF 0.00	CHF 0.00
12	CHF 3'983'860.28	CHF 3'983'860.28	CHF 4'878.29	CHF 4'748.29	CHF 4'748.29	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 9'723.49	CHF 0.00	CHF 0.00
13	CHF 4'046'476.35	CHF 4'046'476.35	CHF 4'833.13	CHF 4'707.20	CHF 4'707.20	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 9'538.56	CHF 0.00	CHF 0.00
14	CHF 4'108'443.64	CHF 4'108'443.64	CHF 4'784.38	CHF 4'665.65	CHF 4'665.65	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 9'355.28	CHF 0.00	CHF 0.00
15	CHF 4'169'763.84	CHF 4'169'763.84	CHF 4'732.21	CHF 4'624.47	CHF 4'624.47	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 9'174.52	CHF 0.00	CHF 0.00
16	CHF 4'230'446.56	CHF 4'230'446.56	CHF 4'710.179	CHF 4'583.66	CHF 4'583.66	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 8'997.27	CHF 0.00	CHF 0.00
17	CHF 4'290'499.28	CHF 4'290'499.28	CHF 4'658.06	CHF 4'543.20	CHF 4'543.20	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 8'823.45	CHF 0.00	CHF 0.00
18	CHF 4'349'929.37	CHF 4'349'929.37	CHF 4'6074.00	CHF 4'503.10	CHF 4'503.10	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 8'652.99	CHF 0.00	CHF 0.00
19	CHF 4'408'744.13	CHF 4'408'744.13	CHF 4'555.58	CHF 4'463.38	CHF 4'463.38	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 8'486.82	CHF 0.00	CHF 0.00
20	CHF 4'467'340.87	CHF 4'467'340.87	CHF 4'500.77	CHF 4'421.96	CHF 4'421.96	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 8'321.88	CHF 0.00	CHF 123'380.13
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)			CHF 3'105'408.00	CHF 890'130.72	CHF 86'622.07					
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)			CHF 3'105'408.00	CHF 890'399.77	CHF 86'379.64	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 201'656.78	CHF 0.00	CHF 123'380.13
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a			CHF 189'367.16	CHF 60'394.39	CHF 6'977.21	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 12'293.33	CHF 0.00	CHF 7'524.31

Ausgabeblatt Lebenszykluskosten Mietobjekt

Jahre	LzK Mietobjekt 20 Jahre dynamisch	Bruttomietkosten	HBK ISB	Baukosten dynamisch	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5					
-4					
-3					
-2					
-1	CHF 0.00				
0	CHF 412'637.92			CHF 412'637.92	
1	CHF 653'418.84	CHF 182'871.58	CHF 57'909.33	CHF 0.00	CHF 0.00
2	CHF 892'074.59	CHF 181'257.53	CHF 57'398.22	CHF 0.00	CHF 0.00
3	CHF 1'128'623.93	CHF 179'657.73	CHF 56'891.61	CHF 0.00	CHF 0.00
4	CHF 1'363'085.46	CHF 178'072.05	CHF 56'389.48	CHF 0.00	CHF 0.00
5	CHF 1'595'477.61	CHF 176'500.36	CHF 55'891.78	CHF 0.00	CHF 0.00
6	CHF 1'825'818.63	CHF 174'942.55	CHF 55'398.47	CHF 0.00	CHF 0.00
7	CHF 2'054'126.63	CHF 173'398.48	CHF 54'909.52	CHF 0.00	CHF 0.00
8	CHF 2'280'419.56	CHF 171'868.05	CHF 54'424.88	CHF 0.00	CHF 0.00
9	CHF 2'504'715.20	CHF 170'351.12	CHF 53'944.52	CHF 0.00	CHF 0.00
10	CHF 2'727'031.18	CHF 168'847.58	CHF 53'468.40	CHF 0.00	CHF 0.00
11	CHF 2'947'384.97	CHF 167'357.31	CHF 52'996.48	CHF 0.00	CHF 0.00
12	CHF 3'165'793.89	CHF 165'880.19	CHF 52'528.73	CHF 0.00	CHF 0.00
13	CHF 3'382'275.10	CHF 164'416.11	CHF 52'065.10	CHF 0.00	CHF 0.00
14	CHF 3'596'845.62	CHF 162'964.95	CHF 51'605.57	CHF 0.00	CHF 0.00
15	CHF 3'809'522.32	CHF 161'526.61	CHF 51'150.09	CHF 0.00	CHF 0.00
16	CHF 4'020'321.91	CHF 160'100.95	CHF 50'698.63	CHF 0.00	CHF 0.00
17	CHF 4'229'260.95	CHF 158'687.88	CHF 50'251.16	CHF 0.00	CHF 0.00
18	CHF 4'436'355.87	CHF 157'287.28	CHF 49'807.64	CHF 0.00	CHF 0.00
19	CHF 4'641'622.94	CHF 155'899.04	CHF 49'368.03	CHF 0.00	CHF 0.00
20	CHF 4'859'771.66	CHF 154'523.06	CHF 48'932.30	CHF 0.00	CHF 14'693.35
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)		CHF 890'130.72	CHF 86'622.07		
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)		CHF 3'366'410.42	CHF 1'066'029.97	CHF 412'637.92	CHF 14'693.35
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a		CHF 205'283.06	CHF 65'006.30	CHF 25'162.58	

Anhang 12 Lebenszykluskostenermittlung, 20 Jahre / ein Standortwechsel



Anhang 13 Lebenszykluskostenermittlung, 22 Jahre / ein Standortwechsel

Eingabeblatt

Raum- und Funktionsprogramm 22 Jahre					
Anzahl Geschosse					3 Stk.
Gebäudehöhe					11 m
Fenster (1.80 x 1.80 m)	1.80 m	x 1.80 m	= 3.24 m ²		57 Stk.
Aussentüren (1.80 x 2.60 m)	1.80 m	x 2.60 m	= 4.68 m ²		3 Stk.
Umfang					84 m
AT Anzahl Transportanlagen					1 Stk.
BUF Bearbeitete Umgebungsfläche (gemäss Richtprogramm der Stadt Bern)					1'230 m ²
FAW Fläche Aussenwand					924 m ²
FAWU Fläche Aussenwand unter Terrain					0 m ²
FAWUE Fläche Aussenwand über Terrain					725 m ²
FB Fläche Bedachung Gebäude					392 m ²
FBF Fläche Bodenplatte, Fundament					307 m ²
FDD Fläche Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion					920 m ²
FEA Fläche Einbaute zu Aussenwand					199 m ²
GSF Grundstücksfläche					1'537 m ²
GF Geschossfläche					920 m ²
HNF Hauptnutzfläche					600 m ²
NF Nutzfläche					615 m ²
GV Gebäudevolumen					3'373 m ³
Volumen Liftschacht	4.75 m ³	x 11.00 m			52 m ³

Terminrahmen 22 Jahre					
Planungs- und Bauzeit					2 Jahre
	5 Jahre	4 Jahre	3 Jahre	2 Jahre	1 Jahre
Kostenverteilung Planungs- und Bauzeit					19%
					81%

Berechnungsparameter 22 Jahre					
Preissteigerung Bau	0.41%	Quelle: SNB, Jan. 1988 – Feb. 2018	Quelle: Richtlinien Immobilienbewertung, Immobilien Stadt Bern	Quelle: LIK	
Preissteigerung Verwaltung und Dienstleistungen	1.07%				
Preissteigerung Ver- und Entsorgung	1.07%				
Kalkulationszinssatz	1.00%	nominaler risikoloser Zins	Risikoprämie	Inflation	total
					1.97%
Mehrwertsteuer					7.70%
Betrachtungzeitraum					22 Jahre
Standortwechsel nach					11 Jahre

Erstellungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten Modulbau 22 Jahre					
	Bezug	Lebensdauer (a)	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Kostenkennwert pro m ²	Pauschalzuschlag
B Vorbereitung	GF			CHF 250	
C Konstruktion Gebäude		70 Jahre	0.01%		
C1 Bodenplatte Fundament	FBF			CHF 150	
C2.3 Wand- / Stützenkonstruktion / Ergänzende Leistung (a)	GF			CHF 160	
C4 Decken-, Dachkonstruktion / Ergänzende Leistung (an)	FDD			CHF 160	
D Technik Gebäude					
D1 Elektroanlage	GF	40 Jahre	0.84%	CHF 140	
D2-4 Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, Sicherhe	GF			CHF 40	
D5 Wärmearanlage	GF	35 Jahre	0.66%	CHF 60	
D6 Kälteanlage	GF	30 Jahre	0.86%	CHF 50	
D7 Lufttechnische Anlage	GF	20 Jahre	1.10%	CHF 80	
D8 Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	GF	30 Jahre	0.98%	CHF 100	
D9 Transportanlage	AT	30 Jahre	1.78%		CHF 50'000
E Äussere Wandbekleidung Gebäude					
E1 Äussere Wandbekleidung unter Terrain	FAWU				
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain	FAWUE	35 Jahre	0.01%	CHF 350	
E3 Einbaute zu Aussenwand	FEA	35 Jahre	0.01%	CHF 900	
E3.3 Sonnenschutz	FEA	20 Jahre	0.01%	CHF 300	
F Bedachung Gebäude	FB	35 Jahre	0.01%	CHF 230	
G Ausbau Gebäude	GF	25 Jahre	0.01%	CHF 400	CHF 90'000
H Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude	NFH				
I Umgebung Gebäude	BUF	60 Jahre	0.01%	CHF 100	CHF 20'000
J Ausstaffung Gebäude					
J1-3 Mobiliar / Kleininventar / Textilien	NF			CHF 0	
J4 Kunst am Bau	% B-G			0.00%	
V Planungskosten		60 Jahre			
V1-2 Planer und Unternehmer	% B-J			15.00%	
V3b Hochbau Stadt Bern	% B-J			3.80%	
W Nebenkosten	GF			CHF 100	
W3 Kapitalkosten	2.30%	CHF 73'167			CHF 73'167
Y Reserve, Teuerung					
Y1a Rückstellungen (BKP 581)	% B-V1/2			3.00%	
Y1b Reserve für Unvorher-gesehenes (BKP 583)	% B-V1/3			3.00%	
Z Mehrwertsteuer	% A-Y			7.70%	
Total Erneuerung (Annuität)			CHF 5'950		
Total Instandsetzung Rückstellung (Jahr 0)				CHF 5'282	
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (ohne Kapitalkosten)					CHF 3'105'408
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (mit Kapitalkosten)					CHF 3'178'575
BKP 2 / GF					CHF 2'648

Kosten Mietobjekt 22 Jahre		Kostenkennwert pro m ²		Kosten /a
Bruttomiete	NF	CHF 300 / m ² NF		CHF 184'500
HBK /SB	NF	CHF 95 / m ² NF	CHF 64 / m ² GF	CHF 58'425
Baukosten ohne Umgebung	NF	CHF 410 / m ² NF	CHF 252'150	CHF 232'734
Umgebung				CHF 143'000
Mehrwertssteuer	%			CHF 28'932
Total Baukosten inkl. Mwt.				CHF 404'666
Total Baukosten inkl. Kapitalkosten				CHF 412'638
Rückbaukosten alter Standort		5%	Pauschalbetrag	CHF 20'000
Baukosten ohne Umgebung				CHF 232'734
Umgebung ohne Spielgeräte				CHF 123'000
Mehrwertssteuer				CHF 28'932
Total Ersatzkosten Mietobjekt				CHF 404'666
Anteil Ersatzkosten an Erstellungskosten				100%

Verwaltungs- und Betriebskosten Modulbau 22 Jahre		Benchmark CHF / m ² GF / a	CHF / a
Verwaltung, Versicherung		CHF 4.45	CHF 4'094
Bewirtschaftungskosten			
Ver- und Entsorgung (Wasser, Wärme, Strom)		CHF 14.75	CHF 13'570
Reinigung und Pflege (Glas-, Fassadenreinigung inkl. Umgebung)		CHF 15.95	CHF 14'674
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)		CHF 19.75	CHF 18'170
Kontrolle und Sicherheit		CHF 2.35	CHF 2'162
Abgaben und Beiträge		CHF 1.75	CHF 1'610
Total Verwaltungs- und Betriebskosten		CHF 59.00	CHF 54'280

Kosten am Ende des Lebenszyklus Modulbau 22 Jahre		Benchmark CHF / m ³ GV	Total
Reduktion Rückbau Module Jahre 1-12			100%
Reduktion Rückbau Module Jahre 13-15			50%
Reduktion Rückbau Module ab Jahr 16			0%
Rückbau und Entsorgung Beton		CHF 50	CHF 17'946
Reduktion Rückbau und Entsorgung Module			0%
Rückbau und Entsorgung Module		CHF 45	CHF 138'000
Wiederherstellung			CHF 0
Erlöse			CHF 0
Total Kosten am Ende des Lebenszyklus			CHF 155'946

Versetzung Modulbau 22 Jahre			
B Rückbaukosten alter Standort			CHF 17'946
B Vorbereitungsarbeiten neuer Standort			CHF 207'000
C-G Montagebau in Holz		CHF 275'000	CHF 222'144
I Umgebung ohne Spielgeräte			CHF 123'000
V Planungskosten		19%	CHF 109'573
W Baunebenkosten			CHF 92'000
Z Mehrwertsteuer		7.70%	CHF 59'418
Total Kosten Versatz			CHF 831'081
Anteil Versatzkosten an Erstellungskosten			27%

Opportunitätskosten Modulbau 22 Jahre		Terrainmiete/(m ² a):	Terrainmiete/a:	Terrainmiete total
A Grundstück	GSF	CHF 8	CHF 12'293	CHF 217'761

Ausgabeblatt unregelmässige Kosten

Modulbau	Bezeichnung	Lebensdauer (a)	Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Instandsetzungskosten
A	Grundstück					CHF 0.00
B	Vorbereitung		CHF 207'000.00	CHF 222'939.00	0.00%	CHF 0.00
C	Gebäude					CHF 0.00
C1+C2+C3+C4+C5	Fundament, Wand, Stützen-, Decken-, Dachkonstruktion, Ergl	70	CHF 340'400.00	CHF 366'610.80	0.01%	CHF 36.86
D	Technik Gebäude					CHF 0.00
D1+D2+D3+D4	Elektroanlage, Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, S	40	CHF 165'600.00	CHF 178'351.20	0.84%	CHF 1'498.15
D5	Wärmeanlage	35	CHF 55'200.00	CHF 59'450.40	0.66%	CHF 392.37
D6	Kälteanlage	30	CHF 46'000.00	CHF 49'542.00	0.86%	CHF 426.06
D7	Lufttechnische Anlage	20	CHF 73'600.00	CHF 79'267.20	1.10%	CHF 871.94
D8	Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	30	CHF 92'000.00	CHF 99'084.00	0.98%	CHF 971.02
D9	Transportanlage	30	CHF 50'000.00	CHF 53'850.00	1.78%	CHF 958.53
E	Aussere Wandbekleidung Gebäude					CHF 0.00
E1+E2	Aussere Wandbekleidung unter/über Terrain	35	CHF 253'848.00	CHF 273'394.30	0.01%	CHF 27.34
E3.1+E3.2+E3.3+F	Fenster, Tür, Tor, Absturzsicherung Aussenwand, Einbauten, Sonnenschutz	35	CHF 178'848.00	CHF 192'619.30	0.01%	CHF 19.26
E3.3	Sonnenschutz	20	CHF 59'616.00	CHF 64'206.43	0.01%	CHF 6.42
F	Bedachung Gebäude					CHF 9.71
F1.1+F1.2+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Flachdach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
F1.1+F1.3+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Geneigtes Dach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
G	Ausbau Gebäude	25	CHF 458'000.00	CHF 493'266.00	0.01%	CHF 49.33
H	Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00		CHF 0.00
I	Umgebung Gebäude	60	CHF 143'900.00	CHF 154'011.00	0.01%	CHF 15.40
J	Ausstattung Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00	0.00%	CHF 0.00
V	Planungskosten	60	CHF 425'399.20	CHF 458'154.94		CHF 0.00
V1.1	Architekt			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.2	Bauingenieur			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.3+V1.4	Fachingenieur, Gebäudetechnik, Spezialist			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.5+V2.1+V2.2	Generalplaner, Planergemeinschaft, Beratung Planung, Vorbereitung Bewirtschaftung			CHF 0.00		CHF 0.00
W	Nebenkosten		CHF 92'000.00	CHF 99'084.00		CHF 0.00
Y	Reserve, Teuerung		CHF 152'716.00	CHF 164'475.13		CHF 0.00
Z	Mehrwertsteuer		CHF 222'020.80			CHF 0.00
			CHF 5'950.48	CHF 3'105'408.00	CHF 3'105'408.01	CHF 5'282.20
	Erneuerungskosten Annuität CHF/a		Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst		Instandsetzungskosten Jahr 0
Kosten am Ende des Lebenszyklus	22	CHF 155'945.83	CHF 167'953.66			
Versatzkosten Modulbau	11		CHF 831'081.27			
Versatzkosten Zumiete	11		CHF 404'666.00			

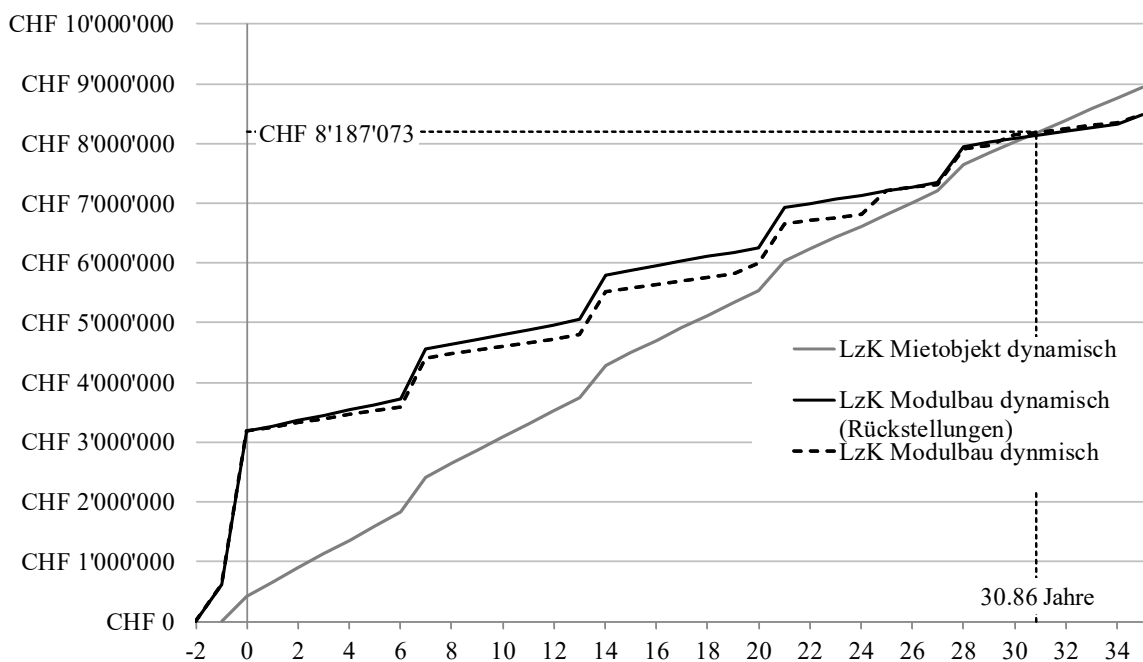
Ausgabeblatt Lebenszykluskosten Modulbau

Jahre	LxK Modulbau 22 Jahre dynamisch	LxK Modulbau dynamisch (Rückstellung)	Erstellungskosten	Verwaltungs- und Betriebskosten	Instandsetzungskosten	Erneuerungskosten Rückstellung	Erneuerungskosten	Opportunitätskosten Grundstück	Versatzkosten	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-4	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-3	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-2	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-1	CHF 608'629.44	CHF 608'629.44	CHF 608'629.44							
0	CHF 3'178'574.54	CHF 3'178'574.54	CHF 2'908'536.52							
1	CHF 3'249'696.86	CHF 3'259'502.38	CHF 5'360.92	CHF 5'360.92	CHF 5'360.92	CHF 5'360.92	CHF 0.00	CHF 12'055.83	CHF 0.00	CHF 0.00
2	CHF 3'320'005.22	CHF 3'331'563.52	CHF 5'328.06	CHF 5'328.06	CHF 5'328.06	CHF 5'328.06	CHF 0.00	CHF 11'822.92	CHF 0.00	CHF 0.00
3	CHF 3'389'586.69	CHF 3'407'769.21	CHF 5'285.40	CHF 5'285.40	CHF 5'285.40	CHF 5'285.40	CHF 0.00	CHF 11'594.51	CHF 0.00	CHF 0.00
4	CHF 3'458'156.28	CHF 3'481'130.58	CHF 5'238.89	CHF 5'238.89	CHF 5'238.89	CHF 5'238.89	CHF 0.00	CHF 11'370.51	CHF 0.00	CHF 0.00
5	CHF 3'525'586.77	CHF 3'554'658.56	CHF 5'198.50	CHF 5'198.50	CHF 5'198.50	CHF 5'198.50	CHF 0.00	CHF 11'150.84	CHF 0.00	CHF 0.00
6	CHF 3'593'986.95	CHF 3'627'363.92	CHF 5'146.19	CHF 5'146.19	CHF 5'146.19	CHF 5'146.19	CHF 0.00	CHF 10'935.41	CHF 0.00	CHF 0.00
7	CHF 3'660'701.39	CHF 3'699'257.28	CHF 5'103.93	CHF 5'103.93	CHF 5'103.93	CHF 5'103.93	CHF 0.00	CHF 10'724.15	CHF 0.00	CHF 0.00
8	CHF 3'726'702.57	CHF 3'770'349.11	CHF 5'056.67	CHF 5'056.67	CHF 5'056.67	CHF 5'056.67	CHF 0.00	CHF 10'516.96	CHF 0.00	CHF 0.00
9	CHF 3'792'010.86	CHF 3'840'649.69	CHF 5'011.39	CHF 5'011.39	CHF 5'011.39	CHF 5'011.39	CHF 0.00	CHF 10'313.78	CHF 0.00	CHF 0.00
10	CHF 3'856'634.50	CHF 3'910'169.18	CHF 4'967.05	CHF 4'967.05	CHF 4'967.05	CHF 4'967.05	CHF 0.00	CHF 10'114.52	CHF 0.00	CHF 0.00
11	CHF 3'920'326.87	CHF 3'980'562.81	CHF 4'923.61	CHF 4'923.61	CHF 4'923.61	CHF 4'923.61	CHF 0.00	CHF 9'919.12	CHF 70'344.83	CHF 0.00
12	CHF 3'983'305.11	CHF 4'049'349.56	CHF 4'882.04	CHF 4'882.04	CHF 4'882.04	CHF 4'882.04	CHF 0.00	CHF 9'723.49	CHF 0.00	CHF 0.00
13	CHF 4'045'623.18	CHF 4'116'585.16	CHF 4'837.13	CHF 4'837.13	CHF 4'837.13	CHF 4'837.13	CHF 0.00	CHF 9'538.26	CHF 0.00	CHF 0.00
14	CHF 4'107'388.47	CHF 4'182'078.78	CHF 4'794.38	CHF 4'794.38	CHF 4'794.38	CHF 4'794.38	CHF 0.00	CHF 9'355.28	CHF 0.00	CHF 0.00
15	CHF 4'168'506.68	CHF 4'249'939.84	CHF 4'752.12	CHF 4'752.12	CHF 4'752.12	CHF 4'752.12	CHF 0.00	CHF 9'174.52	CHF 0.00	CHF 0.00
16	CHF 4'229'091.39	CHF 4'317'877.61	CHF 4'710.19	CHF 4'710.19	CHF 4'710.19	CHF 4'710.19	CHF 0.00	CHF 8'997.27	CHF 0.00	CHF 0.00
17	CHF 4'289'184.11	CHF 4'385'991.23	CHF 4'668.06	CHF 4'668.06	CHF 4'668.06	CHF 4'668.06	CHF 0.00	CHF 8'823.45	CHF 0.00	CHF 0.00
18	CHF 4'348'787.20	CHF 4'454'274.00	CHF 4'627.40	CHF 4'627.40	CHF 4'627.40	CHF 4'627.40	CHF 0.00	CHF 8'652.99	CHF 0.00	CHF 0.00
19	CHF 4'407'908.98	CHF 4'522'719.97	CHF 4'585.58	CHF 4'585.58	CHF 4'585.58	CHF 4'585.58	CHF 0.00	CHF 8'486.82	CHF 0.00	CHF 0.00
20	CHF 4'466'549.01	CHF 4'591'330.77	CHF 4'543.92	CHF 4'543.92	CHF 4'543.92	CHF 4'543.92	CHF 0.00	CHF 8'323.88	CHF 0.00	CHF 0.00
21	CHF 4'524'706.56	CHF 4'660'112.57	CHF 4'502.93	CHF 4'502.93	CHF 4'502.93	CHF 4'502.93	CHF 0.00	CHF 8'163.10	CHF 0.00	CHF 0.00
22	CHF 4'582'486.65	CHF 4'729'160.65	CHF 4'462.82	CHF 4'462.82	CHF 4'462.82	CHF 4'462.82	CHF 0.00	CHF 8'003.44	CHF 0.00	CHF 11'9643.82
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)			CHF 3'105'408.00	CHF 861'903.64	CHF 93'567.65					
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)			CHF 3'105'408.00	CHF 1'080'121.12	CHF 109'116.78	CHF 105'406.45	CHF 105'406.46	CHF 217'761.33	CHF 701'444.83	CHF 119'643.82
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a			CHF 175'310.36	CHF 69'976.34	CHF 9'933.84	CHF 9'560.48	CHF 9'560.48	CHF 12'293.33	CHF 39'988.84	CHF 6'754.27

Ausgabeblatt Lebenszykluskosten Mietobjekt

Jahre	LzK Mietobjekt 22 Jahre dynamisch	Bruttomietkosten	HBK ISB	Baukosten dynamisch	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5					
-4					
-3					
-2					
-1	CHF 0.00				
0	CHF 412'637.92			CHF 412'637.92	
1	CHF 653'418.84	CHF 182'871.58	CHF 57'909.33	CHF 0.00	CHF 0.00
2	CHF 892'074.59	CHF 181'257.53	CHF 57'398.22	CHF 0.00	CHF 0.00
3	CHF 1'128'623.93	CHF 179'657.73	CHF 56'891.61	CHF 0.00	CHF 0.00
4	CHF 1'363'085.46	CHF 178'072.05	CHF 56'389.48	CHF 0.00	CHF 0.00
5	CHF 1'595'477.61	CHF 176'500.36	CHF 55'891.78	CHF 0.00	CHF 0.00
6	CHF 1'825'818.63	CHF 174'942.55	CHF 55'398.47	CHF 0.00	CHF 0.00
7	CHF 2'054'126.63	CHF 173'398.48	CHF 54'909.52	CHF 0.00	CHF 0.00
8	CHF 2'280'419.56	CHF 171'868.05	CHF 54'424.88	CHF 0.00	CHF 0.00
9	CHF 2'504'715.20	CHF 170'351.12	CHF 53'944.52	CHF 0.00	CHF 0.00
10	CHF 2'727'031.18	CHF 168'847.58	CHF 53'468.40	CHF 0.00	CHF 0.00
11	CHF 3'288'929.03	CHF 167'357.31	CHF 52'996.48	CHF 341'544.07	CHF 0.00
12	CHF 3'507'337.95	CHF 165'880.19	CHF 52'528.73	CHF 0.00	CHF 0.00
13	CHF 3'723'819.17	CHF 164'416.11	CHF 52'065.10	CHF 0.00	CHF 0.00
14	CHF 3'938'389.69	CHF 162'964.95	CHF 51'605.57	CHF 0.00	CHF 0.00
15	CHF 4'151'066.39	CHF 161'526.61	CHF 51'150.09	CHF 0.00	CHF 0.00
16	CHF 4'361'865.97	CHF 160'100.95	CHF 50'698.63	CHF 0.00	CHF 0.00
17	CHF 4'570'805.02	CHF 158'687.88	CHF 50'251.16	CHF 0.00	CHF 0.00
18	CHF 4'777'899.94	CHF 157'287.28	CHF 49'807.64	CHF 0.00	CHF 0.00
19	CHF 4'983'167.01	CHF 155'899.04	CHF 49'368.03	CHF 0.00	CHF 0.00
20	CHF 5'186'622.37	CHF 154'523.06	CHF 48'932.30	CHF 0.00	CHF 0.00
21	CHF 5'388'282.01	CHF 153'159.22	CHF 48'500.42	CHF 0.00	CHF 0.00
22	CHF 5'602'408.99	CHF 151'807.42	CHF 48'072.35	CHF 0.00	CHF 14'247.22
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)		CHF 961'503.64	CHF 93'567.65		
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)		CHF 3'671'377.05	CHF 1'162'602.73	CHF 754'181.99	CHF 14'247.22
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a		CHF 207'261.15	CHF 65'632.70	CHF 42'576.02	

Anhang 14 Lebenszykluskostenermittlung, 35 Jahre / vier Standortwechsel



Anhang 15 Lebenszykluskostenermittlung, 24 Jahre / zwei Standortwechsel

Eingabeblatt

Raum- und Funktionsprogramm 24 Jahre					
Anzahl Geschosse					3 Stk.
Gebäudehöhe					11 m
Fenster (1.80 x 1.80 m)	1.80 m	x 1.80 m	= 3.24 m ²		57 Stk.
Aussentüren (1.80 x 2.60 m)	1.80 m	x 2.60 m	= 4.68 m ²		3 Stk.
Umfang					84 m
AT Anzahl Transportanlagen					1 Stk.
BUF Bearbeitete Umgebungsfläche (gemäss Richtprogramm der Stadt Bern)					1'230 m ²
FAW Fläche Aussenwand					924 m ²
FAWU Fläche Aussenwand unter Terrain					0 m ²
FAWUE Fläche Aussenwand über Terrain					725 m ²
FB Fläche Bedachung Gebäude					392 m ²
FBF Fläche Bodenplatte, Fundament					307 m ²
FDD Fläche Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion					920 m ²
FEA Fläche Einbaute zu Aussenwand					199 m ²
GSF Grundstücksfläche					1'537 m ²
GF Geschossfläche					920 m ²
HNF Hauptnutzfläche					600 m ²
NF Nutzfläche					615 m ²
GV Gebäudevolumen					3'373 m ³
Volumen Liftschacht	4.75 m ³	x 11.00 m			52 m ³

Terminrahmen 24 Jahre					
Planungs- und Bauzeit					2 Jahre
	5 Jahre	4 Jahre	3 Jahre	2 Jahre	1 Jahre
Kostenverteilung Planungs- und Bauzeit					19%
					81%

Berechnungsparameter 24 Jahre					
Preissteigerung Bau	0.41%	Quelle: SNB, Jan. 1988 – Feb. 2018	Quelle: Richtlinien Immobilienbewertung, Immobilien Stadt Bern	Quelle: LIK	
Preissteigerung Verwaltung und Dienstleistungen	1.07%				
Preissteigerung Ver- und Entsorgung	1.07%				
Kalkulationszinssatz	1.00%	nominaler risikoloser Zins	Risikoprämie	Inflation	total
					1.97%
Mehrwertsteuer					7.70%
Betrachtungszeitraum					24 Jahre
Standortwechsel nach					8 Jahre

Erstellungs-, Instandsetzungs- und Erneuerungskosten Modulbau 24 Jahre					
	Bezug	Lebensdauer (a)	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Kostenkennwert pro m ²	Pauschalzuschlag
B Vorbereitung	GF			CHF 250	
C Konstruktion Gebäude		70 Jahre	0.01%		
C1 Bodenplatte Fundament	FBF			CHF 150	
C2.3 Wand- / Stützenkonstruktion / Ergänzende Leistung (a)	GF			CHF 160	
C4 Decken-, Dachkonstruktion / Ergänzende Leistung (an)	FDD			CHF 160	
D Technik Gebäude					
D1 Elektroanlage	GF	40 Jahre	0.84%	CHF 140	
D2-4 Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, Sicherhe	GF			CHF 40	
D5 Wärmearanlage	GF	35 Jahre	0.66%	CHF 60	
D6 Kälteanlage	GF	30 Jahre	0.86%	CHF 50	
D7 Lufttechnische Anlage	GF	20 Jahre	1.10%	CHF 80	
D8 Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	GF	30 Jahre	0.98%	CHF 100	
D9 Transportanlage	AT	30 Jahre	1.78%		CHF 50'000
E Äussere Wandbekleidung Gebäude					
E1 Äussere Wandbekleidung unter Terrain	FAWU				
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain	FAWUE	35 Jahre	0.01%	CHF 350	
E3 Einbaute zu Aussenwand	FEA	35 Jahre	0.01%	CHF 900	
E3.3 Sonnenschutz	FEA	20 Jahre	0.01%	CHF 300	
F Bedachung Gebäude	FB	35 Jahre	0.01%	CHF 230	
G Ausbau Gebäude	GF	25 Jahre	0.01%	CHF 400	CHF 90'000
H Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude	NFH				
I Umgebung Gebäude	BUF	60 Jahre	0.01%	CHF 100	CHF 20'000
J Ausstaffung Gebäude					
J1-3 Mobiliar / Kleininventar / Textilien	NF			CHF 0	
J4 Kunst am Bau	% B-G			0.00%	
V Planungskosten		60 Jahre			
V1-2 Planer und Unternehmer	% B-J			15.00%	
V3b Hochbau Stadt Bern	% B-J			3.80%	
W Nebenkosten	GF			CHF 100	
W3 Kapitalkosten	2.30%	CHF 73'167			CHF 73'167
Y Reserve, Teuerung					
Y1a Rückstellungen (BKP 581)	% B-V1/2			3.00%	
Y1b Reserve für Unvorher-gesehenes (BKP 583)	% B-V1/3			3.00%	
Z Mehrwertsteuer	% A-Y			7.70%	
Total Erneuerung (Annuität)			CHF 5'554		
Total Instandsetzung Rückstellung (Jahr 0)				CHF 5'282	
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (ohne Kapitalkosten)					CHF 3'105'408
Total Anlagekosten inkl. Mwst. (mit Kapitalkosten)					CHF 3'178'575
BKP 2 / GF					CHF 2'648

Kosten Mietobjekt 24 Jahre	Kostenkennwert pro m ²		Kosten /a
Bruttomiete	NF	CHF 300 / m ² NF	CHF 184'500
HBK /SB	NF	CHF 95 / m ² NF	CHF 58'425
Baukosten ohne Umgebung	NF	CHF 410 / m ² NF	CHF 232'734
Umgebung		CHF 64 / m ² GF	CHF 143'000
Mehrwertssteuer	%		CHF 28'932
Total Baukosten inkl. Mwst.			CHF 404'666
Total Baukosten inkl. Kapitalkosten			CHF 412'638
Rückbaukosten alter Standort	5%	Pauschalbetrag	CHF 20'000
Baukosten ohne Umgebung			CHF 232'734
Umgebung ohne Spielgeräte			CHF 123'000
Mehrwertssteuer			CHF 28'932
Total Ersatzkosten Mietobjekt			CHF 404'666
Anteil Ersatzkosten an Erstellungskosten			100%

Verwaltungs- und Betriebskosten Modulbau 24 Jahre	Benchmark CHF / m ² GF / a	CHF / a
Verwaltung, Versicherung	CHF 4.45	CHF 4'094
Bewirtschaftungskosten		
Ver- und Entsorgung (Wasser, Wärme, Strom)	CHF 14.75	CHF 13'570
Reinigung und Pflege (Glas-, Fassadenreinigung inkl. Umgebung)	CHF 15.95	CHF 14'674
Überwachung- und Instandhaltung (Inspektion, Wartung)	CHF 19.75	CHF 18'170
Kontrolle und Sicherheit	CHF 2.35	CHF 2'162
Abgaben und Beiträge	CHF 1.75	CHF 1'610
Total Verwaltungs- und Betriebskosten	CHF 59.00	CHF 54'280

Kosten am Ende des Lebenszyklus Modulbau 24 Jahre	Benchmark CHF / m ³ GV	Total
Reduktion Rückbau Module Jahre 1-12		100%
Reduktion Rückbau Module Jahre 13-15		50%
Reduktion Rückbau Module ab Jahr 16		0%
Rückbau und Entsorgung Beton	CHF 50	CHF 17'946
Reduktion Rückbau und Entsorgung Module		0%
Rückbau und Entsorgung Module	CHF 45	CHF 138'000
Wiederherstellung		CHF 0
Erlöse		CHF 0
Total Kosten am Ende des Lebenszyklus		CHF 155'946

Versetzung Modulbau 24 Jahre		
B Rückbaukosten alter Standort		CHF 17'946
B Vorbereitungsarbeiten neuer Standort		CHF 207'000
C-G Montagebau in Holz	CHF 275'000	CHF 222'144
I Umgebung ohne Spielgeräte		CHF 123'000
V Planungskosten	19%	CHF 109'573
W Baunebenkosten		CHF 92'000
Z Mehrwertsteuer	7.70%	CHF 59'418
Total Kosten Versatz		CHF 831'081
Anteil Ersatzkosten an Erstellungskosten		27%

Opportunitätskosten Modulbau 24 Jahre		Terrainmiete/(m ² a):	Terrainmiete/a:	Terrainmiete total
A Grundstück	GSF	CHF 8	CHF 12'293	CHF 233'307

Ausgabeblatt unregelmässige Kosten

Modulbau	Bezeichnung	Lebensdauer (a)	Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst	Instandsetzungskosten/a in Bezug auf Erstellungskosten	Instandsetzungskosten
A	Grundstück					CHF 0.00
B	Vorbereitung		CHF 207'000.00	CHF 222'939.00	0.00%	CHF 0.00
C	Gebäude					CHF 0.00
C1+C2+C3+C4+C5	Fundament, Wand, Stützen-, Decken-, Dachkonstruktion, Ergl	70	CHF 340'400.00	CHF 366'610.90	0.01%	CHF 36.86
D	Technik Gebäude					CHF 0.00
D1+D2+D3+D4	Elektroanlage, Automations-, Leit-, Kommunikationssystem, S	40	CHF 165'600.00	CHF 178'351.20	0.84%	CHF 1'498.15
D5	Wärmeanlage	35	CHF 55'200.00	CHF 59'450.40	0.66%	CHF 392.37
D6	Kälteanlage	30	CHF 46'000.00	CHF 49'542.00	0.86%	CHF 426.06
D7	Lufttechnische Anlage	20	CHF 73'600.00	CHF 79'267.20	1.10%	CHF 871.94
D8	Wasser-, Gas- und Druckluftanlagen	30	CHF 92'000.00	CHF 99'084.00	0.98%	CHF 971.02
D9	Transportanlage	30	CHF 50'000.00	CHF 53'850.00	1.78%	CHF 958.53
E	Aussere Wandbekleidung Gebäude					CHF 0.00
E1+E2	Aussere Wandbekleidung unter/über Terrain	35	CHF 253'848.00	CHF 273'394.30	0.01%	CHF 27.34
E3.1+E3.2+E3.4+F	Fenster, Tür, Tor, Absturzsicherung Aussenwand, Einbauten, ,	35	CHF 178'848.00	CHF 192'619.30	0.01%	CHF 19.26
E3.3	Sonnenschutz	20	CHF 59'616.00	CHF 64'206.43	0.01%	CHF 6.42
F	Bedachung Gebäude					CHF 9.71
F1.1+F1.2+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Flachdach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
F1.1+F1.3+F1.4	Abdichtung unter Terrain, Geneigtes Dach, Blitzschutz			CHF 0.00		CHF 0.00
G	Ausbau Gebäude					CHF 49.33
H	Nutzungsspezifische Anlagen Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00		CHF 0.00
I	Umgebung Gebäude					CHF 15.40
J	Ausstattung Gebäude		CHF 0.00	CHF 0.00	0.00%	CHF 0.00
V	Planungskosten					CHF 0.00
V1.1	Architekt		CHF 425'399.20	CHF 458'154.94		CHF 0.00
V1.2	Bauingenieur			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.3+V1.4	Fachingenieur, Gebäudetechnik, Spezialist			CHF 0.00		CHF 0.00
V1.5+V2.1+V2.2	Generalplaner, Planergemeinschaft, Beratung Planung, Vorbereitung Bewirtschaftung			CHF 0.00		CHF 0.00
W	Nebenkosten		CHF 92'000.00	CHF 99'084.00		CHF 0.00
Y	Reserve, Teuerung		CHF 152'716.00	CHF 164'475.13		CHF 0.00
Z	Mehrwertsteuer		CHF 222'020.80			CHF 0.00
			CHF 5'553.98	CHF 3'105'408.00	CHF 3'105'408.01	CHF 5'282.20
	Erneuerungskosten Annuität CHF/a		Erstellungskosten	Erstellungskosten inkl. Mwst		Instandsetzungskosten Jahr 0
Kosten am Ende des Lebenszyklus	24		CHF 155'945.83	CHF 167'953.66		
Versatzkosten Modulbau	8			CHF 831'081.27		
Versatzkosten Zumiete	8			CHF 404'686.00		

Ausgabeblatt Lebenszykluskosten Modulbau

Jahre	LxK Modulbau 24 Jahre dynamisch	LxK Modulbau dynamisch (Rückstellung)	Erstellungskosten	Verwaltungs- und Betriebskosten	Instandsetzungskosten	Erneuerungskosten Rückstellung	Erneuerungskosten	Opportunitätskosten Grundstück	Versatzkosten	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-4	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-3	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-2	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00							
-1	CHF 608'629.44	CHF 608'629.44	CHF 608'629.44							
0	CHF 3'178'574.54	CHF 3'178'574.54	CHF 2'908'536.52							
1	CHF 3'249'696.86	CHF 3'259'113.55	CHF 5'360.92	CHF 5'235.58	CHF 5'446.68	CHF 0.00	CHF 12'055.83	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
2	CHF 3'320'005.22	CHF 3'330'793.35	CHF 5'328.06	CHF 5'189.37	CHF 5'341.45	CHF 0.00	CHF 11'822.92	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
3	CHF 3'389'586.69	CHF 3'408'625.09	CHF 5'285.40	CHF 5'143.56	CHF 5'238.26	CHF 0.00	CHF 11'594.51	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
4	CHF 3'458'456.28	CHF 3'479'197.72	CHF 5'238.89	CHF 5'088.17	CHF 5'137.98	CHF 0.00	CHF 11'370.51	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
5	CHF 3'527'586.77	CHF 3'552'788.05	CHF 5'198.50	CHF 5'033.17	CHF 5'037.82	CHF 0.00	CHF 11'150.84	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
6	CHF 3'593'968.95	CHF 3'629'140.71	CHF 5'146.19	CHF 5'008.57	CHF 4'940.49	CHF 0.00	CHF 10'935.41	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
7	CHF 3'660'701.39	CHF 3'696'888.19	CHF 5'103.93	CHF 4'964.38	CHF 4'845.04	CHF 0.00	CHF 10'724.15	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
8	CHF 4'461'351.54	CHF 4'502'089.78	CHF 5'056.67	CHF 4'920.55	CHF 4'751.44	CHF 0.00	CHF 10'516.96	CHF 734'948.97	CHF 0.00	CHF 0.00
9	CHF 4'526'659.63	CHF 4'572'057.71	CHF 5'011.39	CHF 4'877.12	CHF 4'659.64	CHF 0.00	CHF 10'313.78	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
10	CHF 4'591'283.47	CHF 4'641'250.97	CHF 4'967.05	CHF 4'834.07	CHF 4'609.62	CHF 0.00	CHF 10'114.52	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
11	CHF 4'655'231.61	CHF 4'709'676.45	CHF 4'923.61	CHF 4'791.41	CHF 4'481.34	CHF 0.00	CHF 9'919.12	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
12	CHF 4'719'539.25	CHF 4'777'552.45	CHF 4'882.04	CHF 4'749.12	CHF 4'264.78	CHF 0.00	CHF 9'723.49	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
13	CHF 4'781'127.32	CHF 4'844'280.78	CHF 4'837.31	CHF 4'707.20	CHF 4'209.86	CHF 0.00	CHF 9'538.56	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
14	CHF 4'843'092.61	CHF 4'910'472.66	CHF 4'794.38	CHF 4'665.65	CHF 4'226.59	CHF 0.00	CHF 9'355.28	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
15	CHF 4'904'412.82	CHF 4'975'937.81	CHF 4'751.21	CHF 4'624.47	CHF 4'144.94	CHF 0.00	CHF 9'174.52	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
16	CHF 5'014'501.48	CHF 5'090'091.33	CHF 4'710.79	CHF 4'583.66	CHF 4'064.86	CHF 0.00	CHF 8'997.27	CHF 849'405.94	CHF 0.00	CHF 0.00
17	CHF 5'074'554.19	CHF 5'154'130.37	CHF 4'668.06	CHF 4'543.20	CHF 3'986.33	CHF 0.00	CHF 8'823.45	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
18	CHF 5'133'584.29	CHF 5'217'469.78	CHF 4'627.40	CHF 4'503.10	CHF 3'909.32	CHF 0.00	CHF 8'652.99	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
19	CHF 5'192'759.04	CHF 5'301'183.33	CHF 4'585.58	CHF 4'463.38	CHF 3'833.78	CHF 0.00	CHF 8'486.82	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
20	CHF 5'250'411.10	CHF 5'384'284.06	CHF 4'549.77	CHF 4'423.96	CHF 3'759.72	CHF 102'405.45	CHF 8'327.88	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
21	CHF 5'308'416.64	CHF 5'469'377.30	CHF 4'509.53	CHF 4'384.92	CHF 3'687.09	CHF 0.00	CHF 8'167.10	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
22	CHF 5'367'102.12	CHF 5'556'004.63	CHF 4'468.82	CHF 4'346.22	CHF 3'615.86	CHF 0.00	CHF 8'003.44	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
23	CHF 5'426'452.42	CHF 5'643'974.93	CHF 4'428.63	CHF 4'307.86	CHF 3'546.00	CHF 0.00	CHF 7'848.81	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 0.00
24	CHF 5'485'907.21	CHF 5'739'907.21	CHF 4'389.92	CHF 4'269.83	CHF 3'477.49	CHF 0.00	CHF 7'697.18	CHF 0.00	CHF 0.00	CHF 116'010.85
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)			CHF 3'105'408.00	CHF 1'930'148.44	CHF 100'247.46					
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)			CHF 3'105'408.00	CHF 1'168'265.67	CHF 113'688.46	CHF 105'405.45	CHF 105'405.45	CHF 233'307.32	CHF 1'384'084.91	CHF 116'010.85
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a			CHF 163'628.88	CHF 61'887.77	CHF 5'996.43	CHF 5'653.98	CHF 6'583.98	CHF 12'293.32	CHF 72'928.05	CHF 6'112.30

Ausgabeblatt Lebenszykluskosten Mietobjekt

Jahre	LzK Mietobjekt 24 Jahre dynamisch	Bruttomietkosten	HBK ISB	Baukosten dynamisch	Kosten am Ende des Lebenszyklus
-5					
-4					
-3					
-2					
-1	CHF 0.00				
0	CHF 412'637.92			CHF 412'637.92	
1	CHF 653'418.84	CHF 182'871.58	CHF 57'909.33	CHF 0.00	CHF 0.00
2	CHF 892'074.59	CHF 181'257.53	CHF 57'398.22	CHF 0.00	CHF 0.00
3	CHF 1'128'623.93	CHF 179'657.73	CHF 56'891.61	CHF 0.00	CHF 0.00
4	CHF 1'363'085.46	CHF 178'072.05	CHF 56'389.48	CHF 0.00	CHF 0.00
5	CHF 1'595'477.61	CHF 176'500.36	CHF 55'891.78	CHF 0.00	CHF 0.00
6	CHF 1'825'818.63	CHF 174'942.55	CHF 55'398.47	CHF 0.00	CHF 0.00
7	CHF 2'054'126.63	CHF 173'398.48	CHF 54'909.52	CHF 0.00	CHF 0.00
8	CHF 2'638'131.23	CHF 171'868.05	CHF 54'424.88	CHF 357'711.66	CHF 0.00
9	CHF 2'862'426.87	CHF 170'351.12	CHF 53'944.52	CHF 0.00	CHF 0.00
10	CHF 3'084'742.84	CHF 168'847.58	CHF 53'468.40	CHF 0.00	CHF 0.00
11	CHF 3'305'096.63	CHF 167'357.31	CHF 52'996.48	CHF 0.00	CHF 0.00
12	CHF 3'523'505.55	CHF 165'880.19	CHF 52'528.73	CHF 0.00	CHF 0.00
13	CHF 3'739'986.76	CHF 164'416.11	CHF 52'065.10	CHF 0.00	CHF 0.00
14	CHF 3'954'557.29	CHF 162'964.95	CHF 51'605.57	CHF 0.00	CHF 0.00
15	CHF 4'167'233.98	CHF 161'526.61	CHF 51'150.09	CHF 0.00	CHF 0.00
16	CHF 4'694'239.12	CHF 160'100.95	CHF 50'698.63	CHF 316'205.55	CHF 0.00
17	CHF 4'903'178.16	CHF 158'687.88	CHF 50'251.16	CHF 0.00	CHF 0.00
18	CHF 5'110'273.08	CHF 157'287.28	CHF 49'807.64	CHF 0.00	CHF 0.00
19	CHF 5'315'540.15	CHF 155'899.04	CHF 49'368.03	CHF 0.00	CHF 0.00
20	CHF 5'518'995.52	CHF 154'523.06	CHF 48'932.30	CHF 0.00	CHF 0.00
21	CHF 5'720'655.16	CHF 153'159.22	CHF 48'500.42	CHF 0.00	CHF 0.00
22	CHF 5'920'534.92	CHF 151'807.42	CHF 48'072.35	CHF 0.00	CHF 0.00
23	CHF 6'118'650.52	CHF 150'467.55	CHF 47'648.06	CHF 0.00	CHF 0.00
24	CHF 6'328'832.16	CHF 149'139.50	CHF 47'227.51	CHF 0.00	CHF 13'814.63
Barwert dynamisch (ohne Preissteigerung)		CHF 1'030'145.44	CHF 100'247.45		
Barwert dynamisch (mit Preissteigerung)		CHF 3'970'984.10	CHF 1'257'478.30	CHF 1'086'555.13	CHF 13'814.63
Annuität der Barwerte dynamisch CHF/a		CHF 209'237.46	CHF 66'258.53	CHF 57'252.32	

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „Eine Betrachtung der Lebenszykluskosten von modularen Schulbauten im Vergleich zu konventionellen Lösungsansätzen“ selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Alle Stellen die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle (auch der verwendeten Sekundärliteratur) als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht.

Bern, den 03.09.2018

Andreas Wyss