

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Ökologische Sanierungen von Bürobauten

Amstein und Walthert
Zürich

esu-services
Uster

Fachhochschule beider Basel
Muttenz

Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31:
Energy Related Environmental Impact of Buildings

Mit Unterstützung des
Bundesamtes für Energie

März 2000

Impressum

Projekttitel:	IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"
Titel Teilprojekt:	Ökologische Sanierung von Bürobauten
Auftraggeber:	Bundesamt für Energie, BfE
Projektleitung:	Annick Lalive d'Epinay Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz Laboratorium für Technische Chemie Eidgenössische Technische Hochschule ETH 8092 Zürich
Auftragnehmer:	Intep / Amstein + Walthert AG Leutschenbachstrasse 45 8050 Zürich Dr. Heinrich Gugerli (Projektleitung) Daniel Gilgen Fachhochschule beider Basel Institut für Energie St. Jakobs-Strasse 84, CH- 4132 Muttenz Prof. Armin Binz Gerold Lehmann ESU – services Ökologiebezogene Unternehmens- und Politikberatung Zentralstrasse 8 8610 Uster Dr. Rolf Frischknecht
Bezug:	EMPA Dübendorf ZEN, Zentrum für Energi und Nachhaltigkeit im Bauwesen Überlandstrasse 129 8600 Dübendorf

1. Auflage, März 2000

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
1. Einleitung	1
1.1. Projekt im Rahmen des IEA BCS Annex 31	1
1.2. Bürobauten als Bestandteil des „Bauwerks Schweiz“	1
1.3. Sanierungen als wichtiger Bestandteil im Lebenszyklus von Bürobauten.....	4
1.4. Aufgabenstellung: Methodische und bauliche Aspekte bei der Reduktion der Umweltauswirkungen von Bürosanierungen	5
1.5. Aufbau des Berichtes	7
2. Ökologische Sanierung von Bürobauten	9
2.1. Nachhaltigkeit des Prozesses „Büroarbeit“	9
2.2. Sanierungsprojekte von Bürobauten und deren Typologie.....	11
2.3. Typologie von Bürosanierungen	13
2.4. Sanierungsmassnahmen aus energetischer und ökologischer Sicht	13
2.5. Ökobilanzen	14
3. Sanierung und deren Bilanzierung am Fallbeispiel	17
3.1. Einleitung	17
3.2. Objekt und Zustand.....	17
3.3. Sanierung	19
3.4. Energiebilanz	20
3.5. Ökobilanz	22
3.6. Fazit.....	25
4. Allokation von Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastungen	26
4.1. Erläuterung der Fragestellung	26
4.2. Methodischer Ansatz.....	27
4.3. Erläuterungen am Fallbeispiel Glas- / Fensterersatz.....	31
4.4. Fazit.....	35

5.	Wahl des richtigen Ersatzzeitpunktes	36
5.1.	Erläuterung der Fragestellung	36
5.2.	Methodischer Ansatz.....	36
5.3.	Erläuterung am Fallbeispiel Fensterersatz	36
5.4.	Ergebnisse	38
5.5.	Fazit.....	41
6.	Verwendung marginaler Strommixe	42
6.1.	Erläuterung der Fragestellung	42
6.2.	Methodischer Ansatz.....	43
6.3.	Vergleich durchschnittlicher und marginaler Produktion.....	44
6.4.	Erläuterung am Fallbeispiel	45
6.5.	Fazit.....	46
7.	Grundlagen	47
7.1.	Literatur	47
7.2.	Glossar	50

Anhang

A1	Ressourcenorientierte Definition der Nachhaltigkeit
A2	Sanierungsbeispiele
A3	Typische Sanierungsmassnahmen aus ökologischer Sicht
A4	Allokation Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastung
A5	Fallbeispiel Fassadensanierung

ST/GUGE/83579.00/R001

Zusammenfassung

Projekt und sein Umfeld

Als Teilprojekt des schweizerischen Beitrages zum "IEA BCS Annex 31, Energy Related Environmental Impact of Buildings" wurden die ökologischen Aspekte der Sanierung von Bürogebäuden untersucht. Es sollen Grundlagen zur ökologischen Sanierung von Bürobauten im speziellen sowie zur Ökobilanzierung von Sanierungsvorhaben im allgemeinen geliefert werden.

**Teilprojekt im
„IEA BCS
Annex 31“**

Der überwiegende Anteil von Bürogebäuden ist nach dem Zweiten Weltkrieg als Folge der markanten Ausbreitung des Dienstleistungssektors entstanden. Bürobauten sind im Vergleich zu Wohnbauten intensive Elektrizitätsverbraucher, wobei grosse Unterschiede zwischen leicht-, mittel- und hochtechnisierten Objekten bestehen. Bürobauten weisen zudem sehr unterschiedliche Ausbaustandards auf, was auch in den Kosten sichtbar wird. Heute hat sich die Anzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor stabilisiert, bei sinkendem Flächenbedarf pro Arbeitsplatz (Verdichtung). Insgesamt ist in den nächsten Jahren nur noch ein selektives Flächenwachstum von Bürogebäuden an attraktiven Standorten zu erwarten. Umso wichtiger wird deshalb die Sanierung der bestehenden Bürobauten.

**Bürobauten im
„Bauwerk
Schweiz“**

Nachhaltigkeit ist heute ein viel zitiertes „Plastikwort“. Trotz der vorhandenen Unschärfe zeigt sich bei allen Definitionen, dass die Erreichung der ressourcenorientierten Nachhaltigkeit eine grosse Herausforderung darstellt. Die Wirtschaftsplattform des ETH-Bereichs postuliert mit der „2000 Watt-Gesellschaft“ unser zukünftiges Energiebudget, wobei der fossile Anteil nur noch ca. ein Viertel davon betragen sollte.

**Nachhaltigkeit
des Prozesses
Büroarbeit**

Ökologische Fragestellungen bei der Sanierung von Bürobauten

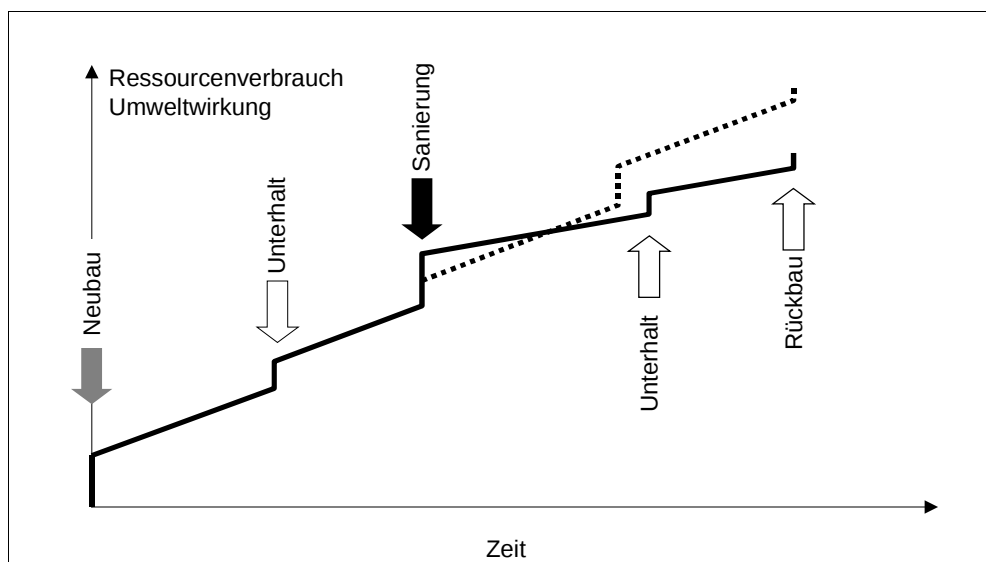
Ausgangspunkt für die Sanierungs-Typologie von Bürobauten waren aktuelle Beispiele von Sanierungsprojekten aus der Schweiz. Die Sanierungstypologie ist nach den verschiedenen Generationen von Bürogebäuden sowie der Sanierungstiefe (Einzelmassnahme bis Ersatzneubau) aufgebaut.

**Sanierungs-
Typologie von
Bürobauten**

Bei der Planung von Neubauten werden heute Ökobilanzen eingesetzt zur Quantifizierung der Umweltbelastung über den Lebenszyklus von Gebäuden z.B. bezogen auf die funktionale Einheit 1 m² Energiebezugsfläche. Dabei wird für die Nutzungsphase ein konstanter Betriebsenergieverbrauch über die ganze Nutzungszeit angesetzt (entspricht in Figur 1 konstant ansteigender Lebenslinie). Die Erneuerung wird durch Ersatz der Bauteile resp. einzelner Schichten nach Ablauf der Nutzungszeit berücksichtigt (vertikale Sprünge in Lebenslinie). Bei Sanierungen kann der Betrieb-

**Ökobilanzen
von Neubauten
versus
Sanierungen**

senergieverbrauch (Steigung der Lebenslinie) durch Verbesserung der Gebäudehülle und der Installationen reduziert werden. Eine aussagekräftige Beurteilung der Massnahmen erfolgt mit der energetischen resp. ökologischen Rückzahldauer.



Figur 1
Lebenslinien-Darstellung:
Kumulierter Verbrauch von Ressourcen und Umwelteinwirkung aus der Neubau- und der Sanierungsperspektive

Anhand eines Kataloges von energetischen und ökologischen Sanierungsmassnahmen wurden drei Fragestellungen ausgewählt, welche in methodischer und baulicher Hinsicht vertieft bearbeitet wurden. Die Relevanz der Ergebnisse wurde jeweils am Fallbeispiel eines aktuellen Sanierungsprojektes aufgezeigt.

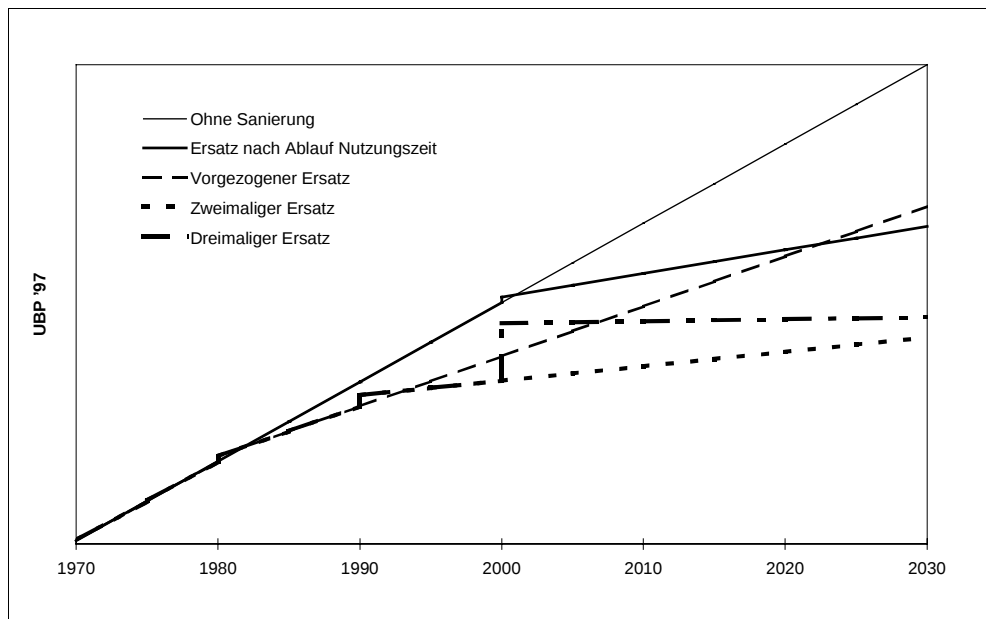
Drei Fragestellungen zur vertieften Bearbeitung

Die Umwelteinwirkungen (Emissionen, Ressourcenentnahmen) der Herstellung der Infrastruktur sind bereits erfolgt. Soll das Gebäude ökologisch "gratis" weitergegeben werden können? Für strategische Fragestellungen betreffend Sanierung oder Neubau wurde ein möglicher Ansatz zur Allokation des Infrastrukturaufwandes entwickelt. Das Ausmass der Nutzflächen und der Wert der Liegenschaften werden zur Aufteilung der Umweltbelastungen des Neubaus auf Alt- und Neubau verwendet. Der ökologische Restwert ist dabei nicht abhängig von den durch dessen Erstellung verursachten Umwelteinwirkungen, und zwar auch dann, wenn die vorgesehene Nutzungszeit noch nicht erreicht wurde.

Fragestellung 1:
Allokation von Infrastrukturaufwand bei bereits erfolgten Belastungen – Strategische Fragestellung

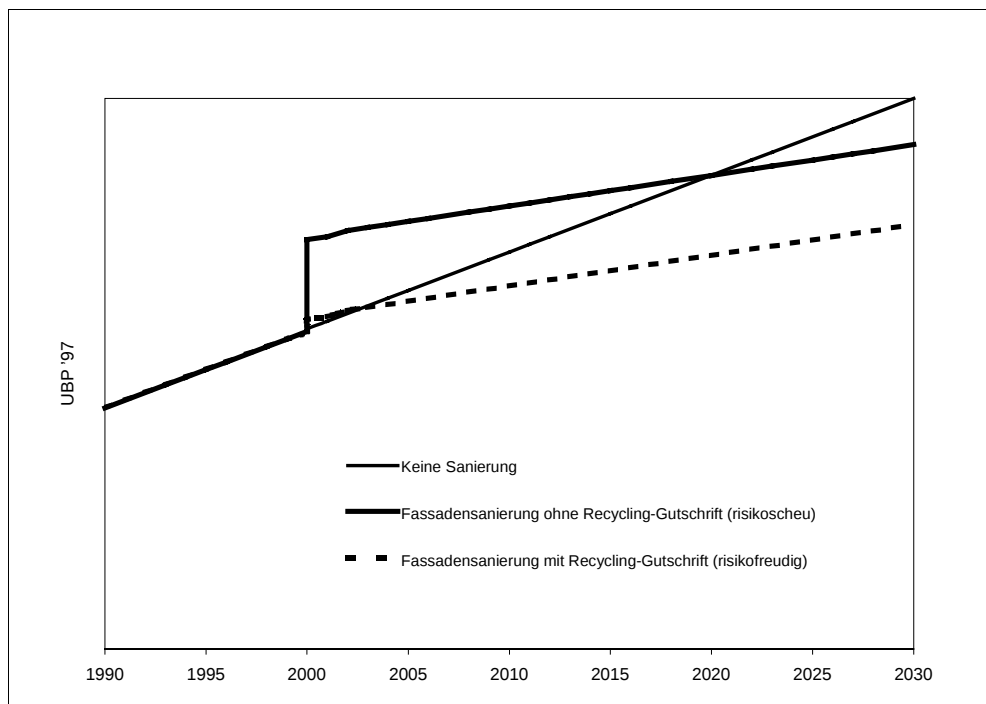
Wie lange soll man angesichts zukünftiger technischer Verbesserungen mit einer Sanierungsmassnahme für eine insgesamt für die Umwelt bessere Lösung zuwarten? Zur Untersuchung dieser Fragestellung ist das Fenster wegen der ausgeprägten technologischen Entwicklung, welche in den letzten beiden Jahrzehnten stattgefunden hat, besonders geeignet. Für den Fensterersatz über die Gebäudenutzungsdauer wurden Szenarien entwickelt und mit verschiedenen Indikatoren (Primärenergie nicht erneuerbar, Umweltbelastungspunkte '97, Eco-Indicator 95^{ff}) untersucht (Figur 2). Vorgezogener Ersatz ergibt dasselbe Resultat, wie der Ersatz mit einer noch besseren Verglasung nach Ablauf der Nutzungszeit. Falls die Verglasung mehrmals ausgewechselt wird, kann die Umweltbelastung weiter reduziert werden, was allerdings mit zusätzlichen Kosten verbunden ist.

Fragestellung 2:
Wahl des richtigen Ersatzzeitpunktes



Figur 2
Lebenslinie für
verschiedene
Szenarien des
Glaseratzes,
Umweltbelastungs-
punkte '97

In den Fragestellungen 2 und 3 wurde zudem untersucht, inwiefern unterschiedliche Werthaltungen (wie beispielsweise risikoscheu oder risikofreudig) bezüglich Recycling und vorzeitigem Ersatz modelliert werden können. Im Gegensatz zur Primärenergie resultieren bei ökologischen Kenngrößen für risikoscheuer Haltung, d.h. bei Nichtberücksichtigen von Recycling-Gutschriften am Ende der Lebensdauer von Bauteilen sehr hohe Investitions-Umweltbelastungen (Figur 3).

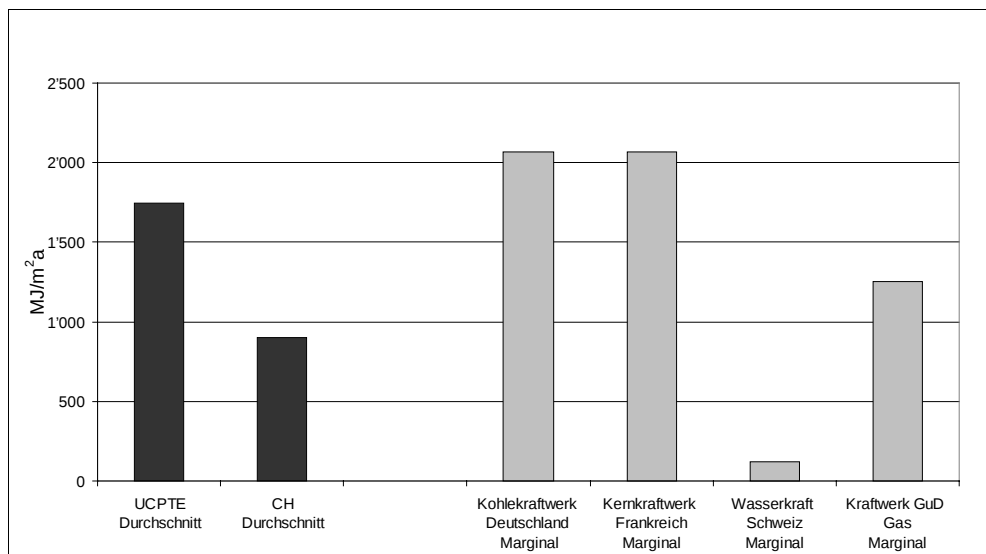


Figur 3:
Einfluss unter-
schiedliche
Werthaltungen
auf Umwelt-
belastung,
Umwelt-
belastungspunkte
'97

Der Elektrizitätsverbrauch ist eine entscheidende Grösse in der Ökobilanz von Bürobauten, und zwar wesentlich ausgeprägter als im Wohnungsbau. Bei Bauplanungsprozessen handelt es sich um entscheidungsorientierte Situationen, bei denen Strommodelle mit marginaler Produktion eingesetzt

Fragestellung 3:
*Marginale
Strommixe*

werden können (Figur 4). Die Umwelteffekte der marginalen Strommodelle sind stark unterschiedlich. Zudem beeinflusst die Annahme über die schweizerische resp. europäische Entwicklung des Stromverbrauchs die Ergebnisse wesentlich.



Figur 4
Senkung der nicht erneuerbaren Primärenergie durch die Sanierung des Fallbeispiels für unterschiedliche durchschnittliche und marginale Strommixe

Folgerungen für die nachhaltige Sanierung von Bürobauten

Die ressourcenorientierte „strenge“ Nachhaltigkeit geht davon aus, dass ausschliesslich erneuerbare Energie sowie nachwachsende Rohstoffe als Angebot zur Deckung des Energiebedarfes zur Verfügung stehen. Die Anwendung dieser Definition auf den Prozess „Büroarbeit“ zeigt ein hohes Niveau des Energieverbrauches und ein deutliches Manko an erneuerbarer Energie. Zur Erreichung einer derartigen Zielsetzung muss der energetische Ressourcenbedarf längerfristig drastisch sinken.

Ressourcenorientierte „strenge“ Nachhaltigkeit als grosse Herausforderung

Bei den Bürobauten handelt es sich um einen noch relativ jungen, aber trotzdem heterogenen Gebäudepark, der bereits einen beachtlichen Sanierungsbedarf aufweist. Die Dominanz der Betriebsenergie wurde auch in der vorliegenden Studie immer wieder sichtbar. Dies vor allem beim Indikator „nicht erneuerbare Energie“. Bei den umweltbezogenen Indikatoren (Umweltbelastungspunkte '97, Eco-Indicator 95^{rf}) ist die Dominanz weit weniger ausgeprägt. Massnahmen zur energetischen Verbesserung sind fast immer wünschbar. Der Energieeinsatz soll durch Materialdienstleistungen (z.B. Wärmedämmung) ersetzt werden. Es sind Erneuerungsstrategie zu wählen, die eine weitgehende Reduktion des Betriebsenergieverbrauchs ermöglichen. Diese sind entsprechend dem Stand der Technik auszuführen, denn die spätere weitergehende Verbesserung verursacht weit höhere Kosten. Mit Flicken und sanfter Renovation ist bei betriebsenergielevanten Massnahmen Vorsicht geboten.

Erste Priorität bei energetischer Verbesserung

Vorzeitiger Ersatz zahlt sich energetisch eher aus als nach ökologischen Indikatoren. Deshalb sind sowohl die energetische als auch die ökologische Rückzahldauer zu prüfen. Dabei ist nur der Zusatzaufwand für die energieabhängigen Massnahmen einzurechnen. Aus bautechnischen Gründen ersatzbedürftige Bauteile müssen ja unabhängig davon ersetzt werden.

Vorzeitiger Ersatz

Bei der Sanierungen von Bürobauten ist die Haustechnik gegenüber den Baukonstruktionen (Rohbau und Ausbau) von grosser Bedeutung. Trotz der vergleichsweise geringen Masse erzeugen die hochwertigen Metalle und Kunststoffe einen grossen Anteil der Umwelteinwirkungen, dies auch wegen der kurzen Nutzungszeit der Haustechnikanlagen. Besonders wichtig im Hinblick auf die Erneuerung und Entsorgung ist hier die Trennbarkeit der Materialien. Der Einsatz von Verbundstoffen sollte auf ein Minimum beschränkt werden.

Bedeutung der Haustechnik

Bei einer Sanierung fallen grosse Mengen an hochwertigen Materialien an. Unsere heutigen Bauwerke sind die "Bergwerke" der Zukunft. Der Rückbau dieses „Bergwerkes“ und dessen optimale Verwertung sind sorgfältig zu planen und auszuführen. Ebenso ist bei der Erneuerung die zukünftige Verwertbarkeit am Ende der Nutzungszeit einzuplanen.

Bauwerk als "Bergwerk" der Zukunft

Folgerungen für Ökobilanz-Methodik

Die methodischen Erkenntnisse sind sowohl für Bürobauten als auch für Sanierungsvorhaben bei anderen Nutzungen anwendbar.

Für Fragen des vorzeitigen Ersatzes sind die Herstellungs- und Entsorgungsaufwände des bestehenden Bauteils nicht entscheidend relevant. Es sind lediglich die neu und zusätzlich auftretenden oder reduzierten Aufwände und Emissionen zu berücksichtigen.

Vorzeitiger Ersatz

Das Fallbeispiel zeigt den beachtlichen Einfluss von Recycling-Gutschriften vor allem bei den ökologischen Indikatoren. Für das Bauwesen mit seinen langfristigen Prozessen ist die Anwendung des Vorsorgeprinzips angezeigt. Für baubezogene Ökobilanzen wird deshalb bei Vorliegen unsicherer Informationen eine risikoscheue (d.h. vorsichtige) Haltung empfohlen. Dies bedeutet:

Risikoscheue Haltung für Ökobilanzen im Bauwesen

- Keine Recycling-Gutschrift für allfällige zukünftige Verwertung gewähren.
- Heutigen technologischen Stand auch für zukünftige Prozesse verwenden, da deren Entwicklung nicht absehbar ist.
- Als Nutzungsdauer in Ökobilanzen die kürzere ökonomische Amortisationszeit anstelle der längeren technischen Funktionsdauer verwenden.

Für energiepolitisch relevante Fragestellungen wie auch für Entscheidungssituationen in Bauprojekten ist die Anwendung marginaler Strommixe wünschbar. Dazu werden entsprechende Datensätze benötigt, welche heute noch nicht in vollständiger und allgemein akzeptierter Form vorliegen.

Verwendung von marginalen Strommischen

Die Fallbeispiele zeigen punktuell, dass zwischen den energetischen (nicht erneuerbare Primärenergie) und ökologischen Umweltbelastungs-Indikatoren (hier UBP '97, Eco-indicator 95^{rf}) systematische Unterschiede in den Ergebnissen bestehen. Generell wird bei den ökologischen Indikatoren die Herstellung der Baustoffe stärker gewichtet.

Indikatoren für Umweltbelastung

Die sog. „Natürlichkeit“ von Baustoffen als ökologisches Kriterium tritt als Ergebnis aus dieser Arbeit als Folge der Indikatorenwahl kaum in Erscheinung.

„Natürlichkeit“ von Baustoffen

Für Wohnbauten wurde bereits aufgezeigt, dass Ersatzneubau gegenüber Sanierung ökonomisch und bezüglich des Bedarfs nicht erneuerbarer Primärenergie sinnvoll sein kann, insbesondere wenn das Gebäude nicht mehr den aktuellen Nutzungsbedürfnissen entspricht oder eine unbefriedigende Umbau-Flexibilität aufweist (Sarnafil, 1999). Es bleibt zu prüfen, ob diese Aussage nicht nur für energetische, sondern auch für ökologische Indikatoren (UBP 97, Eco-indicator 95^{rf}, Eco-indicator 99) sowie bei Anwendung der in Aussicht stehenden Entsorgungsdaten (Doka 1999) ihre Gültigkeit behalten wird.

Ersatzneubau versus Sanierung

Problemstellungen für zukünftige Forschungsvorhaben

Gute Lösungen betreffend reparieren, erneuern und „flicken“ sollten gezielt untersucht werden. Derartige Massnahmen sind beschäftigungswirksam und auch aus der Perspektive der sozialen Nachhaltigkeit von Interesse.

Gute Lösungen betreffend „flicken“

Für die Erstellung verlässlicher Gebäude-Ökobilanzen, welche im Rahmen von Planungsentscheiden belastbar sind, werden harmonisierte Sachbilanzen von Baustoffen benötigt.

Harmonisierte Sachbilanzen von Baustoffen

Zur gezielten Bewirtschaftung des Bauwerks als „Zwischendeponie“ sind Daten, welche auch die Rückbau-, Verwertungs- und Entsorgungsprozesse beinhalten, unverzichtbar. Entsprechende Daten werden innert Kürze verfügbar sein. Es wird einen weiteren Schritt brauchen, damit diese Ergebnisse in Gebäude-Ökobilanzen eingesetzt werden können.

Daten zu Rückbau, Verwertung, Entsorgung

Summary

Project and related aspects

In the sub-project of Switzerland's contribution to the „IEA BCS Annex 31, Energy Related Environmental Impact of Buildings“ the ecological aspects in connection with the refurbishment of buildings was investigated. In general the objective was in general to provide the basic fundamentals for the ecological refurbishment of office buildings and in particular to create ecobalances for refurbishment plans.

**Sub-project in
„IEA BCS
Annex 31“**

A large majority of the office buildings were erected after the Second World War as a result of the marked expansion in the service industry sector. In comparison to residential structures, office buildings are high consumers of electricity, although here there are large differences between low, medium and high technical constructions. Moreover, office buildings have widely differing standards of equipment which is reflected in the costs. In general in the next few years only a selective growth can be expected in the space required for office buildings situated at attractive locations. For this reason the refurbishment of existing buildings is becoming even more important.

**Office buildings
in „Buildings
Switzerland“**

Sustainability has become one of those regularly quoted universal words. Despite the flexibility in the use of this word, with all definitions the task of achieving resource-oriented sustainability is a tremendous challenge. Under the title "2000 Watt society", the economic platform of the ETH domain postulates our future energy budget of which only about a quarter should be covered by the fossil fuels.

**Sustainability of
office work
procedures**

Ecological problems when refurbishing office buildings

Current examples of refurbished buildings in Switzerland were the starting point for the refurbishment typology of office projects. The refurbishment typology has been set up according to the various generations of office building and also according to the refurbishment level (individual measures to completely new building).

**Refurbishment
typology of
office buildings**

When planning new buildings, nowadays ecobalances are employed for quantifying the environmental impact over the complete life cycle of the building, for instance related to the functional unit 1 m² energy-related surface area. Here a constant operating energy consumption is used for the useful phase over the complete useful life (corresponds to the climbing of the life cycle curve in figure 1). Renewal is considered after the elapse of the useful life by the replacement of building components or individuals layers (vertical section of the life cycle curve). When a building is refurbished, the operating energy consumption (climbing of life cycle curve) is reduced by improvements to the outer shell of the building and to its

**Ecobalances of
new buildings
versus
refurbishment**

installations. A meaningful assessment of the measures are carried out using the energetic or ecological pay-back duration.

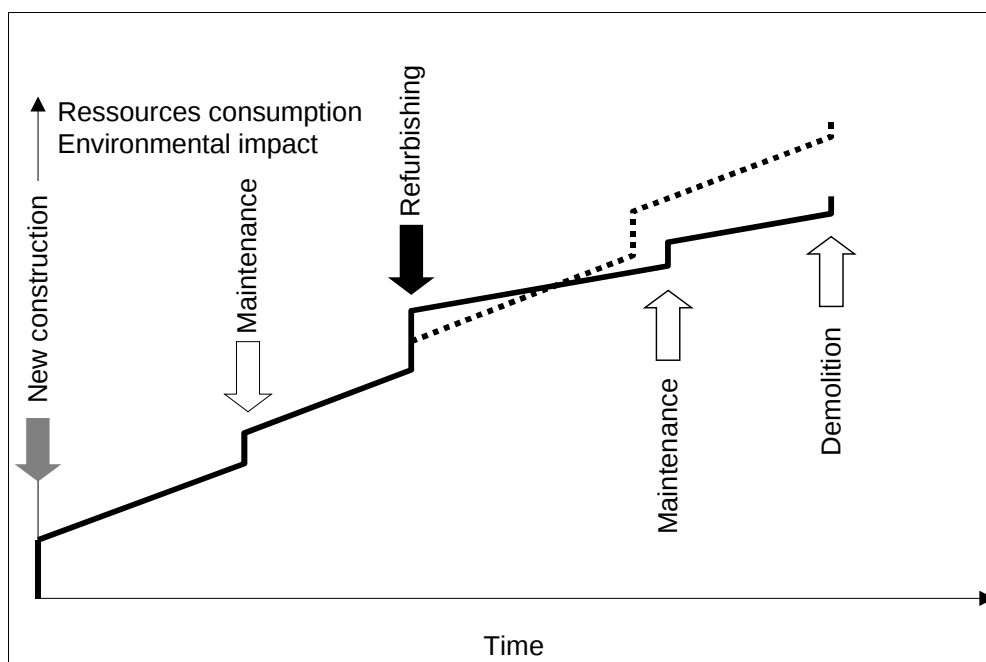


Figure 1
Life-cycle curve: cumulated consumption of resources and environmental impact from the perspective of new building and refurbishment

Based on a catalogue of the energetic and ecological refurbishing measures, three problems were selected which were studied further both from a methodic and constructional point of view. The relevance of the results were demonstrated each time by a typical example of a current refurbishing project.

Three problems to be studied further

The environmental impact (emissions, withdrawal of resources) when the infrastructure was set up had already been carried out. Should it be possible to pass the building on ecologically „free of charge“? For strategic problems in connection with refurbishing or a new construction, a possible method for allocating the infrastructure costs was developed. The size of the usable space and the value of the real estate are used to distribute the environmental impact of the new building between the old and new construction. The ecological rest value is not dependent on the environmental impact caused by the construction work even if the planned period of useful life was not reached.

Problem 1:
Allocation of infrastructure costs when impacts already taken place – Strategic problem

When taking into account the technical improvements continuously being made, the question is how long should one wait with refurbishing measures in order to achieve a solution that is the best for the environment. To study this particular aspect, the window is especially suitable due to the tremendous development that has taken place during the last two decades. Scenarios were developed for window replacement via the buildings useful life and investigations carried out with various indicators (non-renewable primary energy, environmental impact points '97, Eco indicator 95^{ff}) (figure 2). Early replacement provides the same result as replacing the glass after its useful life, using an even better type of material. If the glass is replaced several times, the environmental impact can be further reduced, but this is combined with additional costs.

Problem 2:
Choosing the right moment for replacement

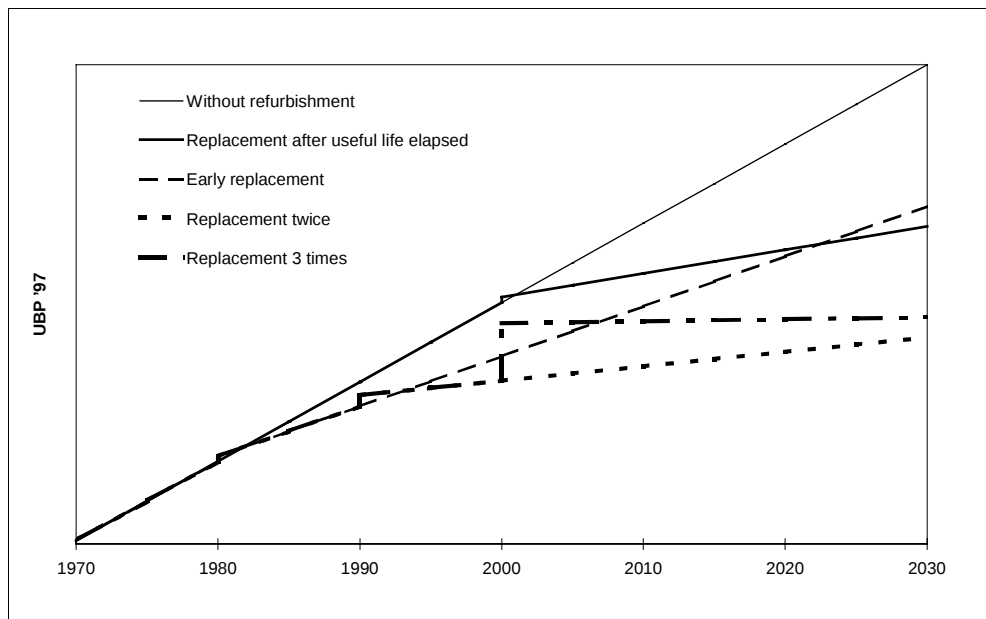


Figure 2
Life cycle curve for various scenarios in the replacement of glass, environmental impact points '97

Additionally, in problems 2 and 3 an investigation was carried out to determine to what extent the differing value assessment (like, for instance, low risk or high risk) can be modeled with regard to recycling and early replacement. In contrast to primary energy, for ecological parameters with a low-risk approach, meaning not taking recycling credits into account, very high investment and environmental impacts result at the end of the useful life of building components (figure 3).

Differing value assessments

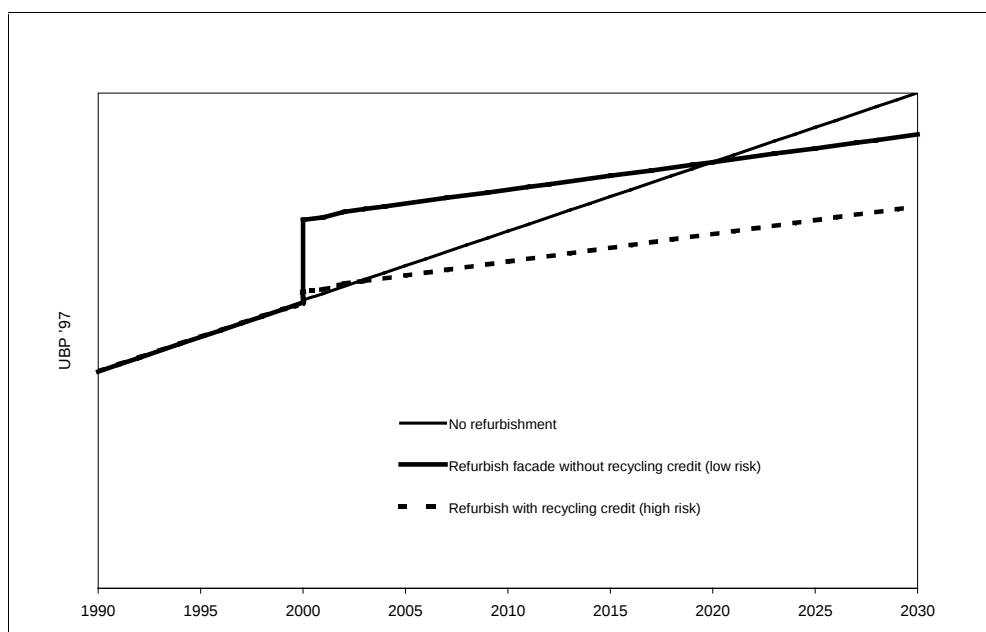
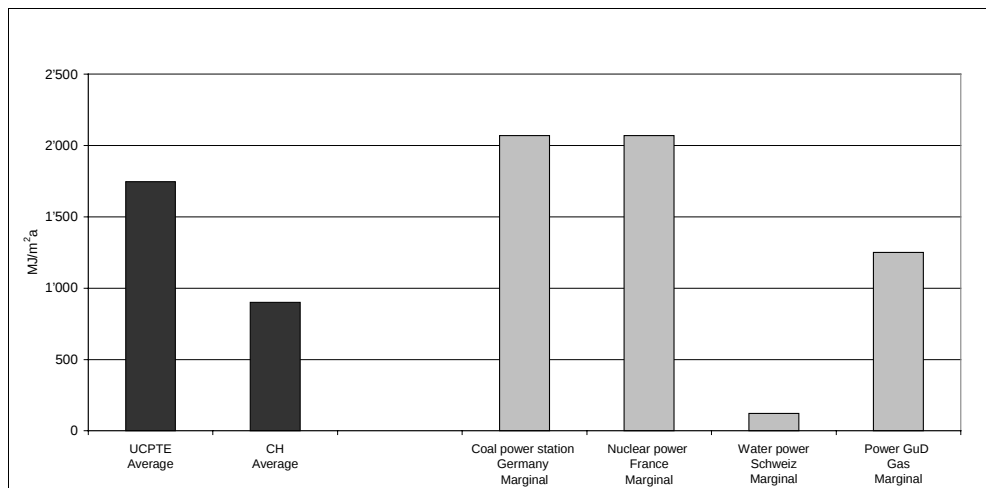


Figure 3:
of different value maintenance to environmental impact, environmental impact points '97

The consumption of electrical power is a decisive factor in the ecobalance of office buildings; it is in fact much more so than in residential buildings. Construction planning processes are basically decision-oriented situations in which power consumption models with marginal generation methods can be used (figure 4). The environmental impacts of marginal power generation models vary considerably. Moreover assumptions in connection with the development of power consumption in the Swiss and European markets will have a considerable affect on the results.

Problem 3:
Marginal electricity generation mix



Reduction of non-renewable primary energy by refurbishing the example for different average and marginal electricity generation mixes

Conclusions for sustainable refurbishment of office buildings

With resource-oriented „strict“ sustainability it is assumed that renewable energy and exclusively re-growable raw material are available for meeting energy requirements. When this definition is used in connection with the process „office work“ it can be seen that there is a high level of energy consumption and at the same time a clear deficiency in renewable energy. In order to reach the set goals energetic resource requirements will have to be drastically reduced in the long-term.

Resource-oriented „strict“ sustainability as big challenge

Office buildings are still relatively new but nevertheless a heterogeneous collection of objects which already exhibit a considerable requirement for refurbishment. In this, as in other studies, the dominance of operating energy can be clearly observed, especially in the indicator „non-renewable energy sources“. In connection with the environmentally related indicators (environmental impact points '97, Eco-indicator 95^{rf}) the dominance is far less pronounced. Measures for energetic improvements are almost always desirable. The use of energy should be replaced by material services (e.g. heat insulation). Renewal strategies should be chosen which, to a large extent, reduce operating energy. These are to be carried out according to the current state of the art, because later, more extensive improvements usually create much higher costs. It is therefore advisable to be careful with repair and moderate renovation in connection with energy-relevant measures.

First priority: energetic improvement

Early replacement is more inclined to achieve higher energetic than ecological indicators. Therefore both energetic and the ecological pay-back duration should be investigated. In this case only the additional outlay for the energetic-dependent measures is to be taken into account. For technical reasons building components that need to be replaced must in any case be exchanged irrespective of the energetic gains.

Early replacement

When office buildings are to be refurbished, the technical installations are of greater importance than the building construction (outer shell and interior). Despite their comparatively small dimensions, the high value metals and plastics have the greatest impact on the environment, this especially so because of the short useful life of the technical installations. Here the separability of the different materials is of special importance when considering renewal and disposal. The use of composite materials should be kept to an absolute minimum.

Importance of technical installations

The refurbishment of a building produces a large quantity of high quality material. Today's building constructions will become tomorrow's „mines“. The dismantling and demolition of this „mine“ and its optimum exploitation have to be carefully planned and carried out. When a renewal is carried out, the future usability of materials at the end of their useful life should also be carefully considered and planned.

Building as „mine“ of the future

Conclusions for the Ecobalance methodic

The methodic knowledge is valid for both office buildings and for the refurbishment plans, also when the building are used for other applications.

When considering early replacement, the production and disposal costs of the existing building component are not relevant for making any decision. Only the new costs and emissions and any additional or reduced ones need to be taken into account.

Early replacement

The case example demonstrates the considerable impact of the recycling credit in particular with the ecological indicators. Due to the long-term processes in the building and construction trade the application of precautionary principles is indicated. Therefore for ecobalances in connection with building construction, when the available information is uncertain, a low risk policy is recommended. This means the following:

Low risk policy for ecobalances in building trade

- No recycling credits for any future utilization will be granted.
- The current state of the art will also be applicable for future processes because their development is not predictable.
- As useful life duration in ecobalances, the shorter economic amortization time should be applied instead of the longer technical function duration.

For problems relevant to the political and energy sectors, and also for decision-making situations in building projects, the application of marginal electrical generation mixes is advisable. These require appropriate data records which are not currently available in a complete and generally acceptable form.

Application of marginal electricity generation mix

The case example handled shows in individual points that systematic differences exist in the results between energetic (non-renewable primary energy) and ecological environmental impact indicators (here UBP '97, Eco-indicator 95^{rf}). In general with the ecological indicators the production of building materials is more heavily weighted.

Indicators for environmental impact

The so-called „naturalness“ of building materials hardly appears at all in the form of a result in this project due to the particular indicators selected.

„Naturalness“ of building materials

It has already been shown for residential buildings that total replacement can be economical compared with refurbishment. It has also proven itself to be good policy in connection with the demand for non-renewable energy, especially if the building no longer corresponds to the current utilization requirements or has an unsatisfactory flexibility for reconstruction (Sarnafil, 1999). It still has to be investigated as to whether this statement is not only valid for energetic indicators but also for ecological ones (UBP 97, Eco-indicator 95^{rf}), Eco-indicator 99) (Sarnafil, 1999) as well as with the application of the expected disposal data (Doka 1999).

Replacement versus refurbishing

Points to be investigated in future research projects

Useful solutions in connection with repair, renewal and „fixing“ should be carefully investigated. These types of measures have a positive impact on the employment situation and are interesting from the perspective of social sustainability.

Good solutions for „fixing“

In order to produce reliable ecobalances for a building which are valid within the framework of planning decisions, coordinated technical balances of building materials are required.

Coordinated technical balances for building materials

For the purposeful management of the building as „intermediate deposit“ it is vital to obtain data which also contains the demolishing, utilization and disposal processes. The necessary data will be available within a short time. An additional stage is needed, however, to permit this data to be incorporated in ecobalances for buildings.

Data for demolishing, utilization, disposal

1. Einleitung

1.1. Projekt im Rahmen des IEA BCS Annex 31

Als Teil des nationalen Projektes "IEA BCS Annex 31, Energy Related Environmental Impact of Buildings" wurde das Thema "Sanierung von Bürogebäuden" bearbeitet. Das Teilprojekt gliederte sich in das nationale Forschungsprojekt ein, indem es Grundlagen zur ökologischen Sanierung von Bürogebäuden sowie zur Ökobilanzierung von Sanierungsvorhaben lieferte. Ein direkter Bezug zum internationalen Projekt bestand nicht, jedoch wurden die wichtigsten Erkenntnisse den internationalen Projektpartnern zugänglich gemacht.

1.2. Bürobauten als Bestandteil des „Bauwerks Schweiz“

Tabelle 1-1 gibt einen Überblick über die Energiebezugsflächen und den spezifischen Energieverbrauch im „Gebäudepark“ Schweiz. Die Bürobauten umfassen 5% der Energiebezugsfläche und machen nach Anzahl ca. 0.6% aller Gebäude in der Schweiz aus. Die Bürobauten sind dem Dienstleistungssektor zugeordnet. Deren Anteil an der Energiebezugsfläche des Dienstleistungssektors beträgt 20%.

**Gebäudepark
Schweiz**

Sektor	Energiebezugs- fläche Mio m ²	Energiekennzahl Wärme MJ/m ² a	Energiekennzahl Elektrizität MJ/m ² a
Wohnen	370	570	140
Dienstleistung	124	628	299
Industrie	62		
Davon Bürobauten	28.0	580	280

Tabelle 1-1
Energiebezugs-
flächen und spe-
zifischer Elektri-
zitätsverbrauch
im Gebäudepark
Schweiz 1990
(Prognos 1996)

Der Dienstleistungssektor gliedert sich in Branchen (Tabelle 1-2), deren durchschnittlicher spezifischer Energieverbrauch sehr unterschiedlich ist. Handel, Banken/Versicherungen und Gastgewerbe weisen einen überdurchschnittlichen spezifischen Elektrizitätsbedarf auf, die Bürogebäude liegen innerhalb des Dienstleistungssektors leicht unter dem Durchschnitt.

**Dienstleistungs-
sektor**

Branche	Energiebezugs- fläche Mio m ²	Energiekennzahl Wärme MJ/m ² a	Energiekennzahl Elektrizität MJ/m ² a
Handel	19.4	613	569
Banken/Versicherungen	6.6	499	490
Gastgewerbe	11.9	907	525
Schulen	19.7	490	107
Gesundheit	13.3	830	183
Übrige Dienstleistungen	46.4	643	233
Landwirtschaft	6.3	180	180
Dienstleistungssektor	124	628	299

Tabelle 1-2
Energiebezugs-
flächen und spezi-
fischer Elektri-
zitätsverbrauch
im Dienstlei-
stungssektor
1990
(Aebischer et al.
1996)

Die Bürobauten sind auf verschiedene Branchen aufgeteilt, nämlich Handel, Banken/Versicherungen sowie übrige Dienstleistungen (Tabelle 1-3).

Büro in ...	Energiebezugs- fläche Mio m ²	Energiekennzahl Wärme MJ/m ² a	Energiekennzahl Elektrizität MJ/m ² a
Handel	3.4	610	215
Banken/Versicherungen (ohne Rechenzentren)	6.6 (5.6)	499 (520)	490 (365)
Übrige Dienstleistungen	18.0	610	215
Total	28.0	584	280

Tabelle 1-3
Energiebezugs-
fläche und spezi-
fischer Energie-
verbrauch von
Bürobauten in
den verschie-
denen Branchen
des Dienstlei-
stungssektors
1990
(Aebischer et al.
1996)
**Technisierung
von Bürobauten**

Generell bestehen im Dienstleistungssektor sehr grosse Unterschiede im spezifischen Elektrizitätsverbrauch, welche auf die unterschiedliche Technisierung zurückzuführen sind. Tabelle 1-4 zeigt die Eckdaten für leicht-, mittel- und hochtechnisierte Bürobauten (Aebischer et al. 1996).

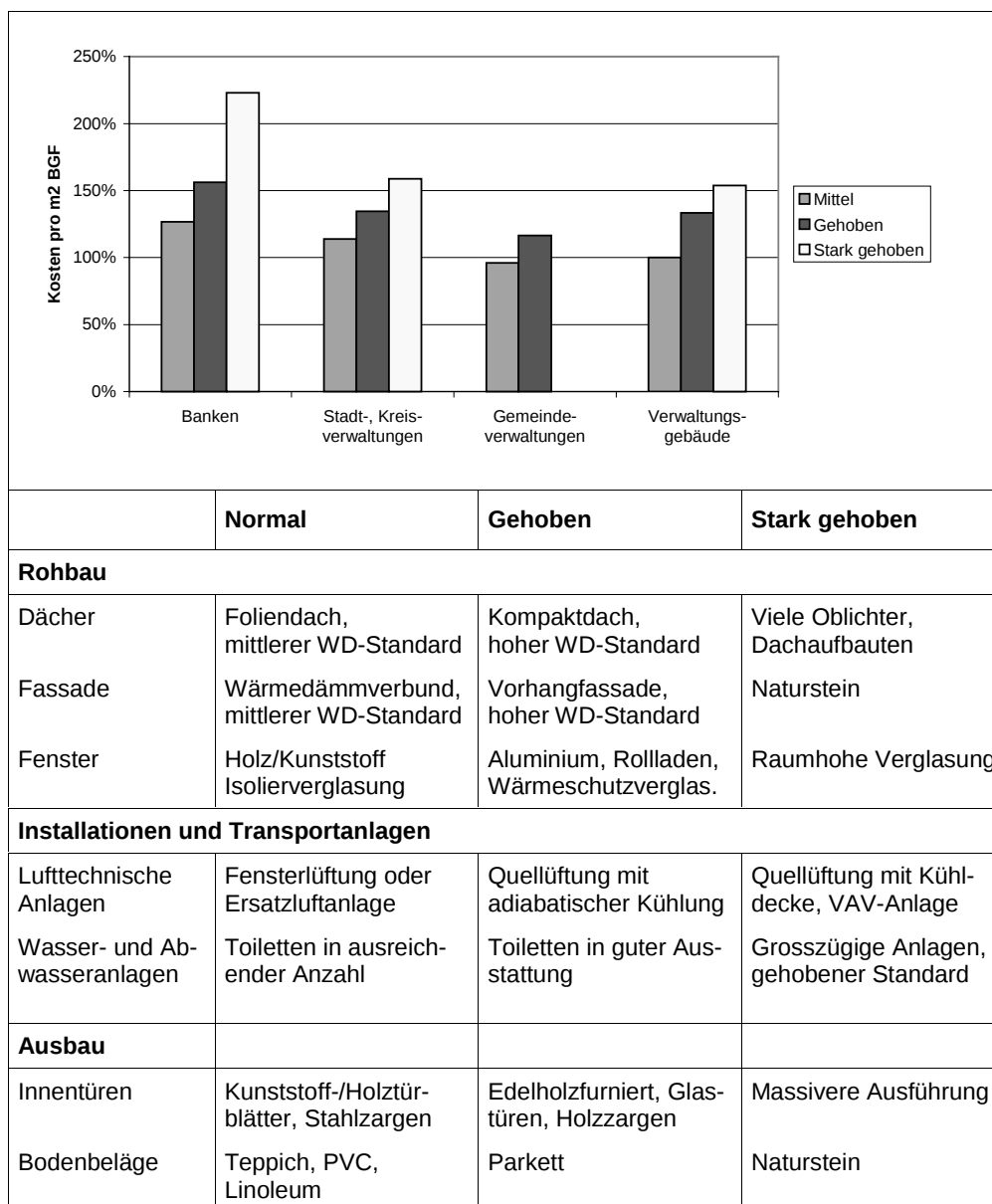
Technisierung	Energiebezugs- fläche Mio m ²	Energiekennzahl Elektrizität MJ/m ² a	Energieverbrauch Elektrizität TJ/a
Wenig technisiert	15.5	150	2325
Mittel technisiert	7.1	300	2130
Hoch technisiert	4.4	500	2200
Hoch technisiert *	1.0	1200	1200
Total	28.0	280	7855

Tabelle 1-4
Bürobauten als
Elektrizitäts-
verbraucher
(Aebischer et al.
1996)

* mit Rechenzentrum

Bürobauten weisen auch einen sehr unterschiedlichen Ausbaustandard auf, was sich in den Kosten niederschlägt. Tabelle 1-5 (Mittag 1998) zeigt diesen Zusammenhang für deutsche Verhältnisse.

Ausbaustandard



Figur 1-5
Ausbaustandard
und Baukosten
(Mittag 1998)

Seit dem letzten Weltkrieg war in der Schweiz eine markante Ausbreitung des Dienstleistungssektors (Tertiärer Sektor) zu verzeichnen. Bürogebäude wurden zu „dem“ Arbeitsplatz schlechthin. 1991 wurden in der Schweiz 14'000 Bürogebäude gezählt, davon sind mehr als zwei Drittel nach dem Zweiten Weltkrieg erstellt worden (Tabelle 1-6, EPFL 1999a).

Zeitliche Entwicklung

Altersklasse	Anzahl Bürogebäude	Anteil
Vor 1947	4000	29%
1947 – 1960	1200	8%
1961 – 1975	4600	33%
1976 – 1990	4200	30%

Tabelle 1-6
Altersstruktur der
Bürogebäude in
der Schweiz
(EPFL 1999a)

Infolge der fortschreitenden Informatisierung der Wirtschaft hat sich die Anzahl der Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor stabilisiert. Gleichzeitig ist in vielen Organisationen ein Trend zur Verdichtung der Arbeitsplätze festzustellen, so dass der während vieler Jahre gestiegene Flächenbedarf pro Arbeitsplatz gegenwärtig wieder rückläufig ist. Insgesamt ist in den nächsten Jahren nur noch ein selektives Wachstum von Büroflächen an attraktiven Standorten zu erwarten.

1.3. Sanierungen als wichtiger Bestandteil im Lebenszyklus von Bürobauten

Der Sanierungsmarkt für Bürobauten hat in den letzten Jahren ähnlich wie im Wohnungsbau ein beachtliches Wachstum aufgewiesen. Gegenüber Wohnbauten, welche bisher viel intensiver untersucht wurden, unterscheiden sich Bürobauten durch die rasante Veränderung der Nutzerbedürfnisse (Geräte, Kommunikation, Arbeitsplatzorganisation, Behaglichkeitsanforderungen usw.). In vielen Fällen ist deshalb nicht die Abnutzung der Bausubstanz sondern das "funktionale" Veralten der Auslöser für die Sanierung:

„Funktionales“
Veralten

- Die Büros entsprechen nicht mehr den Nutzeranforderungen z.B. betreffend Kommunikationsnetzwerke, Schallschutz, thermischer Komfort usw.
- Die Vorschriften z.B. betreffend Brand-, Wärmeschutz usw. sind nicht mehr eingehalten
- Die Flexibilität für die Arbeitsplatzorganisation z.B. betreffend Unterteilung der Büroflächen ist ungenügend.

Die Sanierung von Bürobauten ist oft mit einer Umnutzung verbunden. Wegen des Angebotsüberhangs an Büroflächen sind Gebäude, welche ungenügenden Komfort oder Flexibilität bieten, schwierig zu vermieten oder zu verkaufen.

Die Sanierungskosten sind ein wesentlicher Bestandteil der „Total cost of ownership“, welche schlussendlich für den Bauherren massgebend sind. Die jährlichen Folgekosten für die Sanierung, wie sie von der Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB) definiert wurden (IPB 1999), betragen 2.5 bis 4% der Neubaukosten. Für den Gebäudebetrieb müssen 1 bis 2% aufgewendet werden. Die Energie- und Wasserkosten liegen in derselben Grössenordnung wie die Kosten für den Betrieb der Gebäudetechnik und der Reinigung.

Sanierungs-
kosten

	Kosten	Ökologie*
Neubau	100%	100%
Gebäudebetrieb	1 bis 2% pro Jahr	10 bis 20% pro Jahr
Sanierung und Erneuerung	3 bis 4% pro Jahr	1.5 bis 2.5 % pro Jahr

* nicht erneuerbare Primärenergie

Tabelle 1-7
Folgekosten und
Umwelteinwirkungen in der
Nutzungsphase
für typischen
Bürobau gemäss
Definition IPB
(1999)

Bei den Umwelteinwirkungen dagegen ist der Energieverbrauch im Gebäudebetrieb die dominierende Grösse gegenüber Neubau und Sanierung. Wegen des hohen Anteils des langlebigen Rohbaus an den Umwelteinwirkungen ist der Anteil von Sanierung und Erneuerung bezogen auf den Neubau geringer als bei den Kosten. Die Umwelteinwirkungen bei der Gebäudereinigung und dem Betreiben der Gebäudetechnik liegt nochmals um eine Grössenordnung tiefer.

**Umwelt-
einwirkungen**

1.4. Aufgabenstellung: Methodische und bauliche Aspekte bei der Reduktion der Umweltauswirkungen von Bürosanierungen

Über die ökologischen Auswirkungen verschiedener Sanierungskonzepte (von Abriss/Neubau bis zu punktuellen Massnahmen) und einzelner Sanierungsmassnahmen bei Bürogebäuden besteht noch wenig Klarheit. Es fehlt eine klare Strukturierung und Typisierung von energetischen und ökologischen Sanierungsmassnahmen, die sich auf ausgeführte Objekte abstützt. Insbesondere Aspekte der Lebensdauer, der Flexibilität und Unterteilbarkeit, der Haustechnik oder der Materialwahl sind bezüglich ökologischer Auswirkungen wenig untersucht.

**Sanierungs-
konzepte und
-massnahmen**

Mit der Studie „Ökologische Sanierung von Bürobauten“ soll ein Beitrag zur Klärung methodischer Fragen beim Einsatz von Ökobilanzen für Sanierungsvorhaben geleistet werden. Um die Relevanz der Ergebnisse für die Praxis zu gewährleisten, wurden die aufgeworfenen Fragen auf einer theoretischen Ebene und mit einem Bezug zu ausgewählten Sanierungsmassnahmen an einem Fallbeispiel hergeleitet und illustriert. Als Fallbeispiel diente die Sanierung der Altbauten ETH Chemie, Zürich (ETH 1999). Den zuständigen Stellen der ETH Zürich, Bauten und Betrieb, sei an dieser Stelle der Dank ausgesprochen, dass die Projektunterlagen für diese Studie verwendet werden durften.

**Aufgaben-
stellung**

Methodische Aspekte	Bauliche Aspekte
• Spezifische methodische Fragen beim Einsatz von Ökobilanzen (Life Cycle Assessment, LCA) zur Beurteilung von Sanierungsmassnahmen. • Einsatzmöglichkeiten und Grenzen bei der Anwendung von Ökobilanzen in der Planungspraxis	• Unterschiedliche Erneuerungsstrategien mit Aussagen zu Rahmenbedingungen und Einzelaspekten.

Tabelle 1-8
*Methodischer
Ansatz*

Für die Abklärungen am Fallbeispiel wurden unterschiedliche energetische und ökologische Indikatoren wie z.B. Primjäreneergie, Umweltbelastungspunkte oder Eco-indicator 95^{rf} angewendet; deren Weiterentwicklung war nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes.

Im Rahmen des Projektes "Ökologische Sanierung von Bürobauten" wurden drei methodische Fragestellungen bearbeitet.

Drei Fragestellungen

Nr.	Fragestellung	Theoretische Abklärung	Bauliche Abklärung
1	Allokation (Weitergabe) der Infrastrukturaufwendungen durch bereits erfolgte Belastungen auf alte und neue Nutzung	Methodik aufzeigen (in Varianten)	Glas-/ Fensterersatz
2	Optimaler Ersatzzeitpunkt angesichts des technischen Wandels	Methodik aufzeigen	Technologische Entwicklung der Verglasung
3	Marginaler Strommix	Varianten vorliegend	Reduzierter Elektrizitätsverbrauch durch Haus-techniksanie- rung

Tabelle 1-9
Fragestellungen mit theoretischen und baulichen Abklärungen zu deren Beantwortung

Die Umwelteinwirkungen (Emissionen, Ressourcenentnahmen) der Herstellung der Infrastruktur sind bereits erfolgt, die technische Lebensdauer ist aber noch nicht erreicht. Soll das Gebäude ökologisch "gratis" weitergegeben werden können? Wie stehen alte und neue Nutzer im Verhältnis zueinander?

Fragestellung 1

Wie lange soll man angesichts zukünftiger technischer Verbesserungen mit einer Sanierungsmassnahme für eine insgesamt betreffend Umweltbelastung beste Lösung zuwarten? Welches sind die dabei zu gewärtigenden Schwierigkeiten (wie Vorhersehbarkeit, Einsatzdauer)?

Fragestellung 2

Durch das Verändern des Energieträgermixes bei Sanierungen (z.B. Reduktion des Wärmebedarfs durch einen vermehrten Elektrizitätseinsatz) kommt der ökologischen Wertigkeit der verschiedenen Energieträger eine besondere Bedeutung zu. Hier sind Vorschläge zur gegenseitigen Gewichtung nötig.

Fragestellung 3

1.5. Aufbau des Berichtes ¹

Die Einführung ins Thema erfolgt mit „Facts and Figures“ zu Bürobauten und deren Energieverbrauch Bedeutung. Die im vorliegenden Bericht behandelten Fragestellungen werden erläutert.

Kapitel 1:
Einleitung

Ausgangspunkt ist die Nachhaltigkeit der Prozess Büroarbeit. Die Typologie von Bürobauten und -sanierungen zeigt auf, dass je nach Gebäudetyp unterschiedliche Sanierungsmassnahmen im Vordergrund stehen. Die unterschiedliche Optik der Ökobilanzen bei Neubauten und Sanierungen wird erläutert.

Kapitel 2:
Ökologische Sanierung von Bürobauten

Das Vorgehen bei der Sanierung von Bürobauten aus energetischer und ökologischer Sicht wird am Fallbeispiel illustriert. Die Anwendung von Energie- und Ökobilanzen wird erläutert sowie die Bedeutung der verschiedenen Gewerke aufgezeigt.

Kapitel 3:
Sanierung und deren Bilanzierung am Fallbeispiel

Ein mögliches Allokationsverfahren für Infrastrukturaufwand bei verschiedenen Handlungsalternativen z.B. bei Entscheiden betreffend Neubau oder Sanierung wird dargestellt. Weitere methodische Fragen, wie z.B. Umgang mit unsicherer Information, Haltung gegenüber Risiko, Anwendung usw. werden dargestellt und die Konsequenzen anhand einfacher Fallbeispiele erläutert.

Kapitel 4:
Allokation von Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastungen

Die Frage des optimalen Ersatzzeitpunktes bei schnellem technologischem Wandel wird am Beispiel des Ersatzes von Verglasungen untersucht. An diesem Beispiel wird ebenfalls der Einfluss unterschiedlicher Indikatoren aufgezeigt.

Kapitel 5:
Wahl des richtigen Ersatzzeitpunktes

Für entscheidungsorientierte Situationen stellt sich die Frage, ob in den Ökobilanzen marginale Strommixe verwendet werden sollen. Da der Elektrizitätsbedarf generell im Dienstleistungssektor und speziell im Bürobau eine dominante Rolle spielt, wird die Umweltbelastung massgeblich durch die Wahl des Strommodelles beeinflusst. Die heute vorhandenen Daten werden auf das Fallbeispiel angewendet.

Kapitel 6:
Verwendung marginaler Strommixe

¹ Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in diesem Bericht der männlichen Form von Berufsbezeichnungen etc. den Vorzug gegeben. Trotzdem sollen damit beide Geschlechter angesprochen werden.

2. Ökologische Sanierung von Bürobauten

2.1. Nachhaltigkeit des Prozesses „Büroarbeit“

2.1.1. Definitionen von Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit ist heute ein viel zitiertes „Plastikwort“. Ninck (1998) gibt eine Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten dieses Begriffs.

**Vielfältige
Definitionen**

Gemäss Goodland (1995) kann es ohne ökologische keine soziale Nachhaltigkeit geben. Ökologische Nachhaltigkeit ist zudem eine Voraussetzung für ökonomische Nachhaltigkeit. Die Menschheit muss lernen innerhalb der Grenzen der Biosphäre zu leben. Ökologische Nachhaltigkeit will die menschliche Wohlfahrt verbessern und zu diesem Zweck gewährleisten, dass einerseits die Rohstoffquellen geschützt werden und andererseits die Abfallemissionen innerhalb der Assimilationskapazität der Umwelt bleiben ohne sie zu beeinträchtigen. Bei den erneuerbaren Rohstoffen muss sichergestellt werden, dass die Ernte unter den Erneuerungsraten liegt. Nichterneuerbare Rohstoffe können nicht streng aber zumindest quasi-nachhaltig behandelt werden, indem deren Erschöpfung so weit reduziert wird, wie ein Ersatz durch erneuerbare Ressourcen gewährleistet werden kann.

**Ökologische
Nachhaltigkeit
als Bestandteil
einer nachhal-
tigen Entwick-
lung**

Die Wirtschaftsplattform des ETH-Bereichs (Sarnafil 1999) definiert ökologische Nachhaltigkeit über den Energieverbrauch pro Person. Werden nämlich nicht mehr als 2'000 Watt pro Person benötigt, so lägen auch bei einer angenommenen Weltbevölkerung von zukünftig über 10 Milliarden Menschen die Umwelteinwirkungen in einem vertretbaren Rahmen. Ins Zentrum wird die Forderung des IPCC gestellt, die globalen CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2100 auf 3 GtC zu reduzieren. Auf die 2'000 Watt übertragen heisst dies, dass der fossile Anteil nur noch ca. 1/4 davon betragen darf (Wokaun 1999).

**2000 Watt-
Gesellschaft**

Eine weitergehende ressourcenorientierte Definition beschreibt die Idee der strengen Nachhaltigkeit. Nur wenn für einen Prozess ausschliesslich erneuerbare Energien sowie nachwachsende Rohstoffe verwendet werden, kann der Vorgang als nachhaltig eingestuft werden (Erb et al. 1997).

**Strenge
ressourcen-
orientierte Nach-
haltigkeit**

2.1.2. Ressourcenorientierte „strenge“ Nachhaltigkeit

Wie gross das Angebot an erneuerbaren Energien für den Prozess „Büroarbeit“ sein wird, hängt entscheidend von der Frage ab, wie sich in Zukunft die Energienachfrage aller Teilprozesse wie Haushalte, Verkehr, Industrie usw. verändern wird. Die Ermittlung von zukünftigen Verbrauchszahlen und Sparpotenzialen der einzelnen Segmente ist komplex (Infras 1995, SI+A 1991).

**Zukünftige Ent-
wicklung von
Energieangebot
und -nachfrage**

Entscheidend wird sich eine weitere Verbrauchszunahme - z.B. der Energiebezugsfläche (EBF) oder des Stromverbrauches - auf die Gesamtenergienachfrage auswirken. Aebischer (1996) geht durch die Entwicklung der Wertschöpfung sowie der Anzahl Beschäftigten von einer Zunahme der EBF von Bürobauten bis ins Jahr 2030 um 31% aus. Zur Bestimmung der Energiekennzahl im Jahre 2030 schuf der gleiche Autor Szenarien, welche die beabsichtigten energiepolitischen sowie energierelevanten Massnahmen widerspiegeln. Beispielsweise wird von verschärften Forderungen im Energiegesetz oder einer CO₂-Abgabe ausgegangen. Gemäss Prognos (1996) gehören in Zukunft die Industrie und der Verkehr zu den verbrauchssteigernden, die Haushalte zu den verbrauchsreduzierenden und der Dienstleistungsbereich zu den betreffend Energieverbrauch stagnierenden Sektoren.

Über die Entwicklung aller Teilprozesse herrscht also kein Konsens. Da diese Prozesse aber miteinander gekoppelt sind, müsste eigentlich davon ausgegangen werden können, dass die Verbrauchszu- oder -abnahme bei den Bürobauten ungefähr in der Grössenordnung der Veränderung der übrigen Teilprozesse liegt. Entsprechend verändert sich das spezifische Angebot an erneuerbarer Energie für Bürobauten.

Lösungsansatz zur Ermittlung des Angebotes an erneuerbarer Energie für Bürobauten

Für die nachfolgende Aussage wurde deshalb von einer gleichbleibenden relativen Verteilung der Energie ausgegangen. Das heisst, das Angebot an erneuerbaren Energien wird dem heutigen Verbrauch entsprechend verteilt. Das dieser Berechnung zugrunde liegende Modell ist im Anhang beschrieben. Die Nachfrage pro m² EBF entspricht einem nach heutigem Wissensstand ökologisch optimierten Bürobau.

Je nach gewählter Systemgrenze - Schweiz oder Europa (UCPTE) - stehen dem Verbraucher unterschiedlich hohe Anteile an erneuerbarer Energie zur Verfügung. In der Schweiz besteht die Stromproduktion aus knapp 60% Wasserkraft, im europäischen UCPTE-Raum dagegen nur zu ca. 15%. Entsprechend präsentiert sich das Angebot-/Nachfragemodell:

Systemgrenze	Chemisch *		Elektrizität	
	Angebot [MJ/m ² a]	Nachfrage [MJ/m ² a]	Angebot [MJ/m ² a]	Nachfrage [MJ/m ² a]
CH			167	94
UCPTE	14	118	43	94

Tabelle 2-1
Angebot und Nachfrage-Modell für chemische Energie und Elektrizität für Schweiz resp. UCPTE-Region

*Brenn- und Treibstoffe
Bezugsgrösse: m² EBF

Bei diesen Beispielen wurde auf der Nachfrageseite die Graue Energie vernachlässigt.

Ein Manko an erneuerbarer Energie zeichnet sich deutlich ab. Dieses kann zum Beispiel mit dem Zubau dezentraler Sonnenenergienutzung ausgeglichen werden. Thermische Sonnenkollektoren oder Photovoltaik eignen sich dafür besonders gut.¹

¹ Die Herstellung von thermischen Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen benötigt ebenfalls nichterneuerbare Ressourcen. In erster Linie gilt es darum, das Wachstum des Bedarfs einzuschränken.

Gebäude sind äusserst langlebige Produkte. Zur Ermittlung einer vollständigen Sachbilanz ist es unabdingbar, das Verhalten über den gesamten Lebenszyklus des Objektes zu betrachten. Dabei werden sich aber viele der Rahmenbedingungen verändern. Beispielsweise kann davon ausgegangen werden, dass ein Ausbau der erneuerbaren Energien (Angebot) stattfinden wird oder aber technologische Fortschritte gebäudeseitig zu einer Nachfragereduktion führen werden. Grundsätzlich wird daher in Zukunft strenge Nachhaltigkeit im oben beschriebenen Sinne leichter zu erreichen sein als heute.

2.2. Sanierungsprojekte von Bürobauten und deren Typologie

2.2.1. Projektbeispiele

Ausgangspunkt für die Ausarbeitung einer Sanierungs-Typologie von Bürobauten sind aktuelle Projektbeispiele ökologischer Sanierungen in der Schweiz sowie weitere typische Sanierungsprojekte. Die wichtigsten Eckdaten von Sanierungsbeispielen sind im Anhang A2 dokumentiert.

Projektbeispiele

Im Hinblick auf eine Typisierung von Sanierungsprojekten wurden folgende Aspekte unterschieden:

**Typische
Aspekte von
Sanierungs-
projekten**

- Baujahr und entsprechender Typ des zu sanierenden Bürobaus
- Organisation der Büroräume mit Einzel-, Gruppen-, Grossraum-, Kombibüros usw.
- Tragstruktur erstellt in Massiv- oder Leichtbauweise
- Fassade massiv mit Lochfenstern oder als Vorhangfassade ausgebildet
- Unterschiedlicher Technisierungsgrad des Bürobaus von wenig, über mittel, bis hoch technisiert
- Unterschiedliche Eingriffstiefe der Sanierung, von der Erneuerung einzelner Bauteile (Flachdach, Fenster usw.) oder Gebäudezonen (z.B. Heizzentrale, Eingangshalle, WC-Anlagen, Personalrestaurant usw.) über Gesamtsanierung oder Umnutzung bis zu Abbruch mit nachfolgendem Ersatzneubau

Für die Einteilung der Bürogebäude wurde auf die im Projekt Office (EPFL 1999) aufgestellte Typologie von Bürobauten zurückgegriffen.

**Typologie Büro-
bauten**

Wohngebäude sind zuwenig flexibel um in Büroflächen mit modernen Arbeitsplätzen umgenutzt zu werden. Die Industriebrachen, welche im Zusammenhang mit dem Niedergang des sekundären Sektors in verschiedenen Schweizer Städten entstanden sind, bieten mit ihren verhältnismässig flexiblen baulichen Strukturen günstigere Voraussetzungen für zukunftsgerichtete Umnutzungsprojekte. Büroähnliche Industrie- oder Laborbauten, welche nicht mehr den neuesten Anforderungen entsprechen, im Sinne einer Nachnutzung in Büroflächen umgewandelt.

**Umnutzung in
Bürobauten**

Typ	Sanierungsschwerpunkte
Ca. 1900 bis Zweiter Weltkrieg: <i>Beispiele: ETH Hauptgebäude, Bundeshaus, Amtshäuser Stadt Zürich</i>	
Bürobauten 1. Generation: 50er Jahre Neue Bürobauten mit fixer Raumeinteilung in traditioneller Bauweise. <i>Beispiel: Altbauten ETH Chemie</i>	Grosser Aufwand für Sanierung Büroeinteilung, HLK-Anlagen, Verbesserung Gebäudehülle.
Bürobauten 2. Generation: 70er Jahre Offene Büroflächen um fixe Versorgungskerne angeordnet. Vorhangfassaden, klimatisiert, z.T. Kunstlicht. <i>Beispiele: AFB City West, CIBA</i>	Wärmedämmung von Fassade und Dach verbessern, Sanierung der überdimensionierten Klimaanlage, verbesserte Behaglichkeit
Bürobauten 3. Generation: 90er Jahre Gruppen- und Grossraumbüros, mobile Leichtbauwände, z.T. Doppelfassaden, Licht für EDV-Arbeitsplätze, Kommunikationsnetzwerke, Gebäudeautomation. <i>Beispiel: UBS Manno-Suglio, Bundesamt für Statistik Neuenburg</i>	Noch keine Erfahrung mit Sanierung.
Umgenutzter Wohnbau: Mehrfamilienhäuser in städtischer Lage, welche als Folge der grossen Nachfrage und der hohen Preise in Büroarbeitsplätze umgewandelt wurden. <i>Beispiel: ETH Zentrum</i>	Die unflexiblen Strukturen von Wohngebäuden sind längerfristig nur beschränkt für Büroarbeitsplätze geeignet. Bei zunehmender Nachfrage nach städtischem Wohnen können diese Bauten wieder zurück in Wohnungen umgenutzt werden..
Umgenutztes Industrieareal: 90er Jahre Der Abbau und die Verlagerung der Industrie führt zu Industriebrachen an zentraler Lage, welche u.a. in Bürobauten umgenutzt werden. <i>Beispiel: Unitobler, WWF</i>	
Nachnutzung: 90er Jahren Bürobauten, welche als Hauptgebäude in die Jahre gekommen sind und deren Funktion von einem Neubau übernommen worden ist, werden einer Nachnutzung zugeführt. <i>Beispiel: Altbauten ETH Chemie</i>	

Tabelle 2-2
 Typologie von Bürobauten mit Sanierungsschwerpunkten

2.3. Typologie von Bürosanierungen

Aufgrund der oben aufgeführten Aspekte wurde eine Sanierungs-Systematik zur Klassifizierung der Projekte entwickelt.

Sanierungstiefe	Gering Einzelne Bauteile oder Zonen	Mittel Gesamt-sanierung	Gross Sanierung und Umnutzung	Sehr gross Ersatzneubau
Technisierung				
Wenig technisiert			Unitobler (Industrieareal) WWF (Industrieareal)	
Mittel technisiert		City West Bern		
Hoch technisiert	ZKB Hauptsitz		Altbauten ETH Chemie CIBA	

Tabelle 2-3
Sanierungs-
typologie von
Bürobauten mit
Projektbeispielen

Beim Fallbeispiel „Altbauten ETH Chemie“ handelt es sich um ein hochtechnisiertes Gebäude, das einer Sanierung mit grosser Eingriffstiefe unterzogen wird.

2.4. Sanierungsmassnahmen aus energetischer und ökologischer Sicht

Ein Katalog mit typischen energetischen und ökologischen Sanierungsmassnahmen aus den Projektbeispielen (Anhang A2) und dem Fallbeispiel ist im Anhang A3 aufgeführt.

Die Gebäudetechnik (exkl. Sanitär und Heizung) und grosse Teile des Ausbaues werden abgebrochen. Für die Entsorgung fällt eine Abfallmasse von ähnlicher Grössenordnung an, wie die Masse, welche bei der Erneuerung neu eingebaut wird. Grosse Teile davon sind hochwertige Materialien wie Kunststoffe, Metalle usw., vielfach in Form von Verbundstoffen. Die Wiederverwertungsmöglichkeiten hängen stark von der Art des Rückbaues ab. Es wird empfohlen, ein Rückbaukonzept zu erstellen und die Rückbauarbeiten in Varianten auszuschreiben, um die optimale Lösung unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten zu finden.

**Bauvor-
bereitung**

Am Rohbau erfolgen nur geringe Eingriffe (Durchbrüche, Fenster). Am statischen System der Decken finden nur geringfügige Anpassungsarbeiten statt.

**Rohbau /
Gebäudehülle**

Dort, wo an der Gebäudehülle Massnahmen geplant sind (z.B. Fenster, Flachdach usw.), sollte die Sanierung nach dem Stand der Technik (z.B. Fenster-Verglasung oder Flachdach) vorgenommen werden. Eine weitergehende Verbesserung einer „sanften“ Lösung (z.B. Fenster) in einer nächsten Sanierungsetappe ist mit einem wesentlich höheren Aufwand verbunden. Andere Bauteile werden wegen des geringen Verbesserungspotenzials (z.B. Brüstungen) oder aus ästhetischen Gründen (z.B. Sichtbeton) überhaupt nicht wärmetechnisch saniert. Ein besonders lohnendes Verbesserungspotenzial liegt üblicherweise bei den Fenstern.

Der weitgehende Ersatz der Installationen und Transportanlagen bietet die Möglichkeit zur Umsetzung energiesparender Konzepte. Zusätzlich zur Reduktion des Energiebedarfes ist auch das ökologische Potenzial bei der Wahl der Energieträger auszuschöpfen.

**Installationen
und Transport-
anlagen**

Bei einer umfassenden Sanierung kann für die Wahl der Baukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten analog zum Neubau vorgegangen werden.

**Ausbau
Gebäude**

„Flicker“ ist ökologisch gesehen in vielen Fällen eine anstrebenswerte Lösung in der Sanierung, wie die Beispiele des Ersatzes der Verglasung in die bestehenden Rahmen oder das Überholen der Innentüren zeigen.

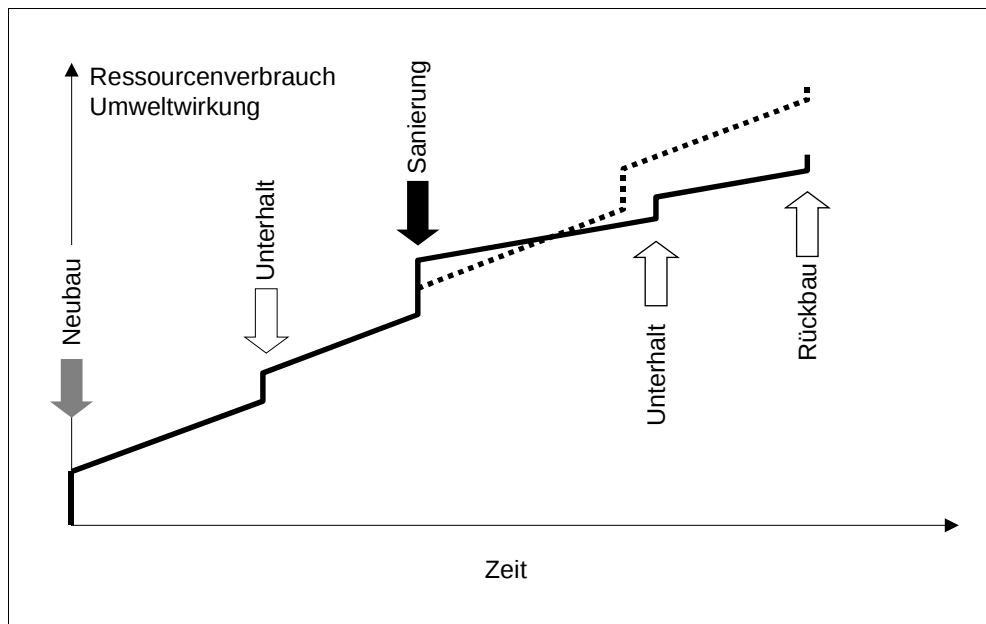
**„Sanfte“
Sanierung“**

2.5. Ökobilanzen

Bei der Planung von Neubauten können heute Ökobilanzen eingesetzt werden. Dies erlaubt die Quantifizierung der Umweltbelastung infolge Energienutzung und Stoffströmen über den Gebäudenlebenszyklus. Bei einheitlicher Anwendung der Bilanzierungsmethodik können entsprechende Kennwerte z.B. bezogen auf die funktionale Einheit 1 m² Energiebezugsfläche abgeleitet werden.

Neubauten

Typischerweise wird für die Nutzungsphase ein konstanter Betriebsenergieverbrauch über die ganze Nutzungszeit angesetzt. Dies ergibt in Figur 2-4 eine konstant ansteigende Lebenslinie (vgl. Abschnitt 7.2, Glossar). Die Erneuerung wird durch Ersatz der Bauteile resp. einzelner Schichten nach Ablauf der Nutzungszeit berücksichtigt (vertikale Sprünge in Lebenslinie). Für den Rückbau sind typischerweise noch wenig spezifische Daten erhältlich. Die baustoffspezifische Entsorgung wird bisher mangels Daten ebenfalls kaum berücksichtigt.



Figur 2-4
Lebenslinien-
Darstellung von
Ressourcen-
verbrauch und
Umwelteinwir-
kung

Bei der Sanierungen stellt sich die Situation anders dar. Durch eine Verbesserung der energetischen Qualität der Gebäudehülle oder der Installationen wird der Betriebsenergieverbrauch (Steigung der Lebenslinie) gesenkt. Eine aussagekräftige Beurteilung der Massnahmen erfolgt mit der energetischen resp. ökologischen Rückzahldauer (vgl. Abschnitt 4.2.2).

Sanierung

Zwar können ebenfalls wie bei Neubauten entsprechende Bilanzen erstellt und unterschiedliche Sanierungsvarianten miteinander verglichen werden. Die Anwendung von Kennwerten ist jedoch in diesem Fall schwieriger, da die sanierten Objekte zu diesem Zweck funktional gleichwertig sein müssen.

3. Sanierung und deren Bilanzierung am Fallbeispiel

3.1. Einleitung

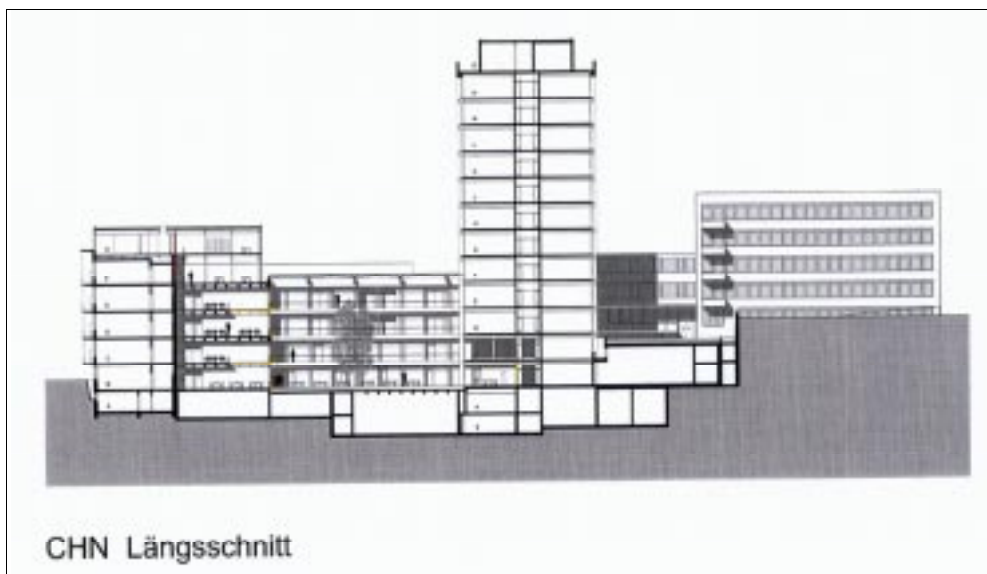
Die hier präsentierten Ergebnisse der Sanierung Altbauten ETH Chemie, entsprechen dem Stand Bauprojektphase des Teilobjektes CHN, welche im Frühling 1999 mit der Baueingabe abgeschlossen wurde.

3.2. Objekt und Zustand

3.2.1. Objekt

Mit der Fertigstellung der Neubauten auf dem Hönggerberg werden die Chemie-Altbauten am Standort ETH Zentrum neu belegt. Zum Zeitpunkt der umfangreichen Aus- und Umzüge sollen die Gebäude saniert und an die neue Nutzung angepasst werden.

Ausgangslage



Figur 3-1
Altbauten ETH
Chemie, Schnitt
durch Gebäude-
komplex CHN

Der bestehende Gebäudekomplex CHN ist in drei Teilobjekte gegliedert, welche in drei verschiedenen Bauetappen entstanden sind. Zuerst wurde von 1951-56 der Teil CHA erbaut. 1955 folgte der Teil CHC, dessen Westfassade 1986 saniert wurde. Als Ersatz bestehender Gebäuden wurde 1968-79 der mittlere Gebäudekomplex CHB mit dem Flachbau und dem markanten Turmgebäude eingefügt.

Bausubstanz

3.2.2. Zustandsaufnahme

Die Diagnose wurde als Bestandteil des Vorprojektes (ETH 1998) durchgeführt und umfasste neben dem baulichen Zustand weitere Abklärungen betreffend Nutzung (Behaglichkeit, Ausrüstung, Flexibilität usw.), Einhaltung von Vorschriften, Energieverbrauch, Betrieb/Instandhaltung usw.

Kriterium	Beurteilung CHN
Baulicher Zustand: Abnutzung	Bereits aufgrund der z.T. über 40 Jahre alten Bausubstanz ergibt sich rein vom Alter her ein erheblicher Sanierungs- resp. Erneuerungsbedarf, insbesondere bezüglich Installationen und Transportanlagen.
Nutzung: Entspricht nicht mehr den Anforderungen an zeitgemässe Büroarbeitsplätze	IT-Infrastruktur ungenügend (z.B. nur eine Steckdose pro Büro).
Vorschriften: Anlagen oder Baukonstruktionen entsprechen nicht mehr den Vorschriften betreffend: • Brandschutz • Wasserqualität • Wärmeschutz • Schallschutz • Elektrische Standards	Zahlreiche geforderte Anpassungen an die heute gültigen Normen, Gesetze und Vorschriften wurden in den letzten Jahren im Hinblick auf eine umfassende Sanierung zurückgestellt. CHB Turm wurde brandschutztechnisch erst nach dessen Fertigstellung als Hochhaus eingestuft. Es fehlen Feuerwehrlift und Schleusen. Die Materialwahl für den Ausbau ist stark eingeschränkt (kein Holz). Liegenschaftsentwässerung: Trennung Meteor- und Schmutzabwasser Grenzwert der Wärmedämmverordnung für Umbauten und Umnutzung ist nicht eingehalten. Keine Fensteröffnung gegen Hauptverkehrsachse. Anlagen entsprechen nicht mehr den Vorschriften: Installationskontrollen, -messungen, Erdung usw.
Behaglichkeit: Entspricht nicht Benutzerkomfort: • Thermisch /Visuell / Luftreinheit, Gerüche / Lärm	Ungenügende Frischluftqualität infolge bisheriger Anordnung der Luftansauge.
Energieverbrauch: Energieverbrauch hoch	Hoher Wärme-, Kälte- und Elektrizitätsverbrauch typisch für Laborgebäude dieser Altersklasse.
Raumunterteilung: Raumunterteilung nicht zweckmässig: • Flexibilität / Unterteilbarkeit	Raumunterteilungen für die neue Nutzung muss zum Teil angepasst werden. Flexibilität betreffend Unterteilung zwischen Labor- und Bürozone ist ungenügend.
Betrieb und Instandhaltung: Unterhaltbarkeit ungünstig (Betrieb und Instandhaltung schwierig, unmöglich oder zu teuer)	Betrieb der bestehenden Kältemaschinen ist aufwändig und Verfügbarkeit unbefriedigend.
Erscheinungsbild	Das äussere architektonische Erscheinungsbild soll aus städtebaulichen Gründen erhalten bleiben.

Tabelle 3-2
Kriterien zur Ermittlung des Sanierungsbedarfs und Zustandsbeurteilung CHN

3.3. Sanierung

Mit der Sanierung und Anpassung an die neue Nutzung werden folgende Ziele verfolgt:

Zielsetzung

- Zusammenführung verschiedener Organisationseinheiten unter Wahrung der Flexibilität und der langfristigen Bedürfnisse
- Optimale Nutzung und Minimierung der baulichen Anpassungen (bestehende Raumeinteilung belassen, bis zwei Drittel der bestehenden Labors in Büros umnutzen bzw. -bauen)
- Haustechnik und Energiekonzept auf heutigen Stand bringen. Für die Restlabornutzung und teilweise Klimatisierung der Büroräume wird weiterhin eine hohe Installationsdichte benötigt. Die Belegung wird so ausgelegt, dass Eingriffe auf wenige Trassen und Räume konzentriert werden können.
- Nutzungsdauer von 20 Jahren ohne weitere Eingriffe

Tabelle 3-3
Zielsetzung für Sanierung und Anpassung an neue Nutzung

Das Sanierungskonzept umfasst die folgenden wesentlichsten Bau-massnahmen an den bestehenden Teilobjekten:

Sanierungs-massnahmen

CHA

- Trotz der technisch notwendigen Modernisierung soll das ursprüngliche Erscheinungsbild gewahrt werden.
- Der Laboranteil wird zugunsten von Büroräumen stark reduziert. Die Flexibilität betreffend spätere Umwandlung von Büros in Labors muss gewährleistet bleiben.

CHB – Flachbau / Turm

- Der Haupteingang wird aufgewertet, indem die bestehende Eingangshalle ins Gebäude verlängert und gegen den Lichthof geöffnet wird.
- Der Turm muss an die heutigen Brandschutzvorschriften für Hochhäuser angepasst werden.

CHB - Überdachung Innenhof (neu)

- Durch die Überdeckung mit einem Glasdach wird der Hof zum nutzbaren Innenraum und es entsteht ein räumliches und funktionelles Zentrum im Gebäudekomplex.
- Die Ausbildung der Korridore als Galerien gegen den Lichthof verbessert die Orientierung.

CHC

- In diesem Gebäudeteil werden die Veränderungen auf ein Minimum begrenzt.
- Die Umnutzung von Laboreinheiten in Büroräume bedingt Anpassungen in den Hauptnutzflächen.

Tabelle 3-4
Bauliche Massnahmen

Der Umfang der Sanierungsmassnahmen und die neu geplante Hofüberdachung sind nach der Elementkostengliederung (EKG, CRB 1995)) dargestellt (Tabelle 3-5). Bei der Eingriffstiefe wurde unterschieden nach Elementen, welche weiterverwendet, saniert, ersetzt oder neu erstellt werden.

Eingriffstiefe

	Nr.	EKG	CHA	CHB Flachbau/ Turm	CHB Hofüber- dachung	CHC
E Rohbau	E0	Decken, Treppen, Balkone	+	+	+++	0
	E1	Dächer	0	+		++
	E2	Stützen		+		
	E3	Aussenwände unter Terrain	0	0		0
	E4	Aussenwände über Terrain	0	+		+
	E5	Fenster, Aussentüren, Tore	++	+	+++	++
	E6	Innenwände (Rohbau)	0	0		0
I Install. u. Transp.anl.	I0	Starkstromanlagen	++	++	+++	+
	I1	Telekom.- u. Sicherheitsanl.	+++	+++		+++
	I2	Heizungsanlagen	++	+	+++	++
	I3	Lufttechnische Anlagen	++	++	+++	++
	I4	Wasser- u. Abwasseranl.	++	+		++
	I5	Spezialanlagen (MSRL)	++	++		++
	I6	Transportanlagen	++	++	+++	
M Ausbau	M1	Trennwände, Innentüren	+	+		+
	M2	Schutzelemente	+	+		+
	M3	Bodenbeläge	++	+	+++	++
	M4	Wandverkleidung	+	+		+
	M5	Deckenverkleidung	++	++		+
	M6	Einbauten, Wandschränke	++	++		+

Tabelle 3-5
Umfang der
Sanierungs-
massnahmen
und Eingriffs-
tiefe

0	Weiterverwendung	+	Sanierung	++	Ersatz	+++	Neubau
---	------------------	---	-----------	----	--------	-----	--------

3.4. Energiebilanz

3.4.1. Wärme

Um den effektiven Wärmeverbrauch zu ermitteln, wurden im behördlichen Energienachweis die effektiven Nutzungsbedingungen (Luftwechsel, Wärmegewinne) eingesetzt. Durch die Sanierung und Anpassung an die neue Nutzung dürfte der Wärmeverbrauch um ca. 60% gesenkt werden. Die wichtigsten Massnahmen zur Reduktion der Transmissions- und Lüftungsverluste sind in Figur 3-6 aufgeführt.

	IST-Zustand	Saniert	Senkung
Heizenergiebedarf	473 MJ/m ² a	185 MJ/m ² a	60%
Warmwasserbedarf	42 MJ/m ² a	32 MJ/m ² a	25%
Nutzungsgrad	0.90	0.95	
Total Wärmeverbrauch	572 MJ/m ² a	228 MJ/m ² a	60%
Transmissionsverluste (- 38%) • Fenstersanierung (- 50 MJ/m²a) • Hofüberdachung (- 25 MJ/m²a) • Flachdachsanieierung (- 20 MJ/m²a)			
Lüftungsverluste (- 63%) • Reduzierter Luftwechsel • neuen Lüftungstechnischen Anlagen • verbesserte Wärmerückgewinnung			

Figur 3-6
Wärmeverbrauch
im IST-Zustand
und nach
Sanierung.

Sanierungs-
massnahmen zur
Senkung der
Transmissions-
und Lüftungs-
verluste

3.4.2. Elektrizität

Der Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszweck wurde gemäss Empfehlung SIA 380/4 ermittelt. Im IST-Zustand ist der Elektrizitätsverbrauch der Laborbetriebsgeräte dominierend, aber auch der Bedarf für Lüftung/Klima ist hoch. Durch die Sanierungsmassnahmen wird der Elektrizitätsbedarf massgebend gesenkt.

	IST-Zustand [MJ/m ² a]	Saniert [MJ/m ² a]	Senkung
Betriebseinrichtungen	417	157	62%
Beleuchtung	106	31	71%
Lüftung/Klima	243	76	68%
Diverse Technik	59	40	32%
Total Elektrizität	825	304	63%
Umnutzung • Die bisher flächenmässig dominierende energieintensive Laborfläche wird auf weniger als einen Drittel reduziert, während die Bürofläche verdreifacht und die Ausbildungs-Zone um 50 % vergrössert werden. Diese Nutzungsänderung verursacht bereits bei unverändertem spezifischem Verbrauch der einzelnen Zonen eine massgebende Reduktion des Elektrizitätsverbrauches.			
Betriebsgeräte • Annahme für neue Nutzung: 160 MJ/m²a			
Beleuchtung • Die bestehende Beleuchtung mit hoher installierter Leistung wird durch eine Anlage mit angepasster installierter Leistung und präsenzabhängiger Steuerung ersetzt.			
Lüftung/Klima • Die bestehende Zweikanal-Hochdruck-Klimaanlage wird durch eine Lüftungsanlage mit reduzierter Aussenluftzufuhr (2-facher Luftwechsel pro Stunde), reduziertem Druckverlust in Kanälen (1'750 Pa für Zu- und Abluft in Büros und Labor) sowie verbessertem Ventilator-Wirkungsgrad (0.75 für Büros und Labor) ersetzt. • Die lokale Wärmelasten werden mittels Umluftkühlgeräten über ein zu installierendes Kaltwassernetz abgeführt. • Durch den Ersatz der Kälteanlage wird der Jahresnutzungsgrad praktisch verdoppelt.			

Figur 3-7
Elektrizitäts-
verbrauch nach
Verwendungs-
zweck im IST-
Zustand und
nach Sanierung.

Sanierungs-
massnahmen zur
Senkung des
Elektrizitäts-
bedarfs.

3.5. Ökobilanz

Die Ökobilanz wurde mit dem Ziel erstellt, die Umwelteinwirkungen mit Erfahrungswerten von Neubauten zu vergleichen und den Einfluss der Haustechniksanierung im Vergleich zur Bautechnik und der Energienutzung abzuschätzen.

3.5.1. Vorgehen

Die Wirkungsbilanz der Baukonstruktionen wurde nach der Methode SIA D0123 (SIA 1995) ermittelt. Dabei wurden nur die Umwelteinwirkungen der Herstellungsphase (Index) berücksichtigt, die übrigen Lebensphasen (Profil) wurden nicht ausgewertet. Die Umwelteinwirkungen sind auf die Energiebezugsfläche (1 m^2) und die Nutzungszeit (1 Jahr) bezogen (funktionale Einheit). Die Nutzungszeit der Baukonstruktionen resp. Schichten wurden gleich wie für Neubauten gewählt. Bei den Materialdaten wurde der UCPTM-Mix zugrundegelegt. Die CO_2 -Bindung der nachwachsenden Rohstoffe blieb unberücksichtigt. Die Wirkungsbilanz wurde für die in der SIA D0123 verfügbaren Indikatoren (nichterneuerbare Primärenergie, Treibhauseffekt und Versäuerung) aufgestellt. Für weitere Kenngrößen, wie sie in der vorliegenden Studie verwendet wurden (Ökologische Knappheit '97, Eco-indicator 95^{tr}), steht gegenwärtig noch keine gesicherte Datengrundlage zur Verfügung.

**Wirkungsbilanz
nach SIA D0123**

Für den Rohbau (Elementgruppen D und E) und den Ausbau (Elementgruppe M) erfolgte die Massenermittlung unter Verwendung der Beschriebe in der Elementkostenberechnung. Für den Rohbau wurden insgesamt 40 Elemente berücksichtigt, für den Ausbau deren 8.

**Rohbau und
Ausbau**

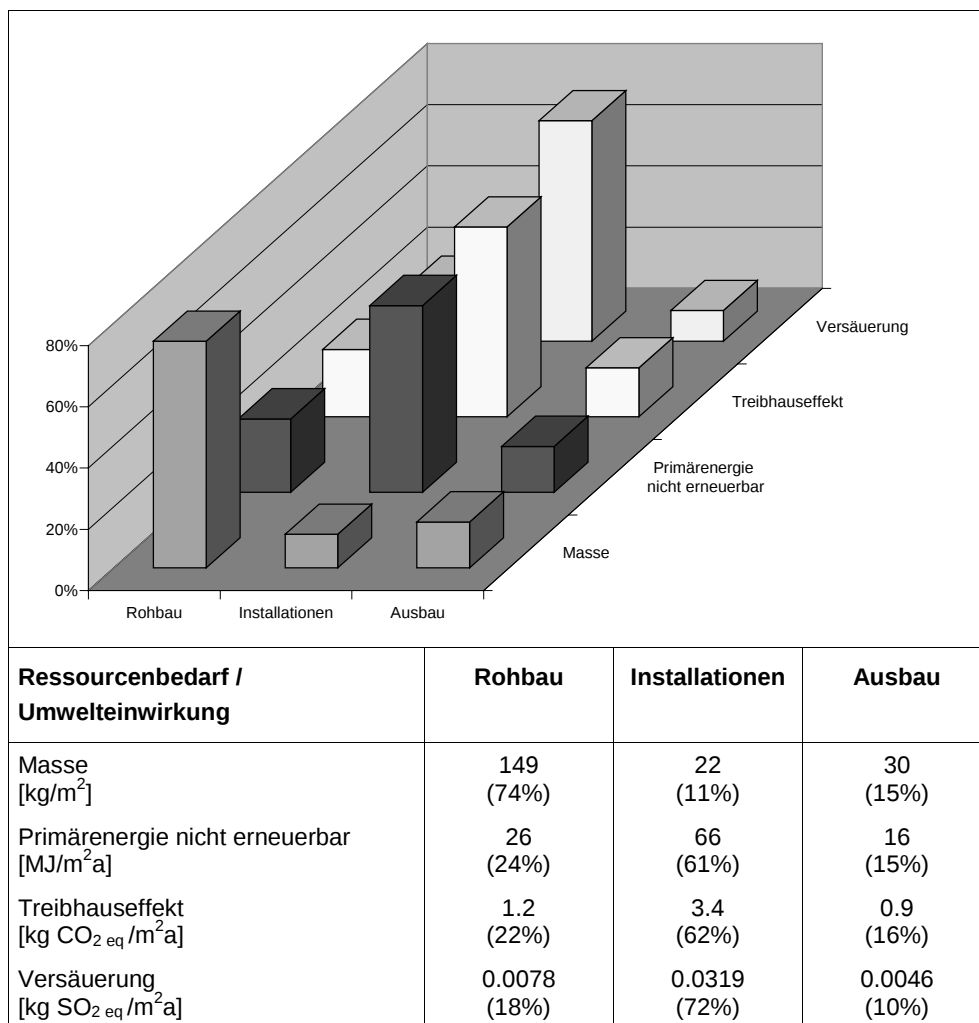
Das Vorgehen für Installationen und Transportanlagen (Elementgruppe I) war analog wie bei den Baukonstruktionen. Allerdings stand für die Haustechnik kein detailliertes projektspezifisches Ausmass zur Verfügung, so dass die Massen aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden mussten (UBS 1999 u.a.). Gute Unterstützung lieferte auch der Bericht „Umweltrelevanz der Haustechnik“ (BFE, 1998), welcher Massenbilanzen typischer Haustechnikkomponenten enthält und ebenfalls im Rahmen des IEA BCS Annex 31 ausgearbeitet wurde. Auch bei den Installationen wurde nur die Herstellung der (Grund-) Materialien bilanziert, die Verarbeitungsprozesse (z.B. zur Herstellung von Lüftungsgeräten) blieben unberücksichtigt.

**Inventare nach
„Umwelt-
relevanz der
Haustechnik“
(BFE 1998)**

Für die Installationen und Transportanlagen wurden total 21 Elemente berechnet.

**Installationen
und Transport-
anlagen**

3.5.2. Ökobilanz Bau



Figur 3-8
Masse,
Primärenergie
und Umweltein-
wirkungen bei der
Herstellung der
Sanierungsmass-
nahmen, UCPT-
Mix

Insgesamt werden im Laufe der Sanierung des CHN ca. 4'300 t an neuen Baustoffen und Materialien eingebaut. Massenmässig entfällt der grösste Anteil (ca. 75%) auf den rohstoffintensive Rohbau. Beim Ressourcenverbrauch (nichterneuerbare Primärenergie) und den Umwelteinwirkungen beträgt der Anteil des Rohbaus lediglich einen Viertel (25%).

Rohbau

Der grösste Anteil der Umwelteinwirkungen (60%) wird durch die Herstellung der Haustechnikanlagen verursacht, obwohl der Massenanteil der Installationen und Transportanlagen gering ist (ca. 10%). Die Haustechnikanlagen bestehen jedoch grösstenteils aus hochwertigen Materialien wie Metallen und Kunststoffen und weisen im Vergleich zum Rohbau eine kürzere Nutzungszeit auf.

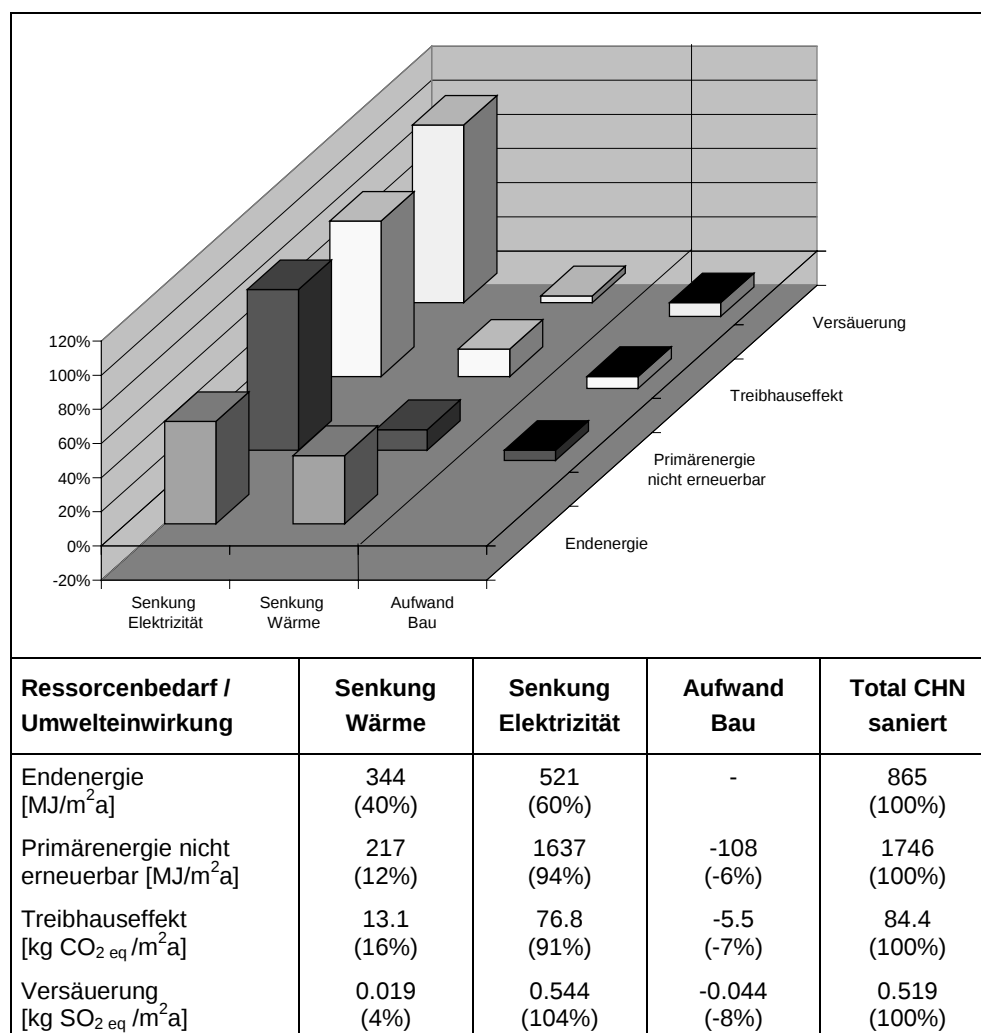
**Installationen
und Transport-
anlagen**

Der arbeitsintensive Ausbau beansprucht ca. 15% der Umwelteinwirkungen und der Masse.

Ausbau

3.5.3. Ökobilanz Energie und Bau

Durch die Sanierung und Anpassung an die neue Nutzung werden der Ressourcenbedarf (Primärenergieinhalt nicht erneuerbar) und die Umwelteinwirkungen (Treibhauseffekt) auf Jahresbasis um über 60% gesenkt, wobei der Aufwand für die Sanierung bereits berücksichtigt ist. Den massgebenden Beitrag zur Senkung der Umwelteinwirkungen liefert der Elektrizitätsbedarf, während der Sanierungsaufwand für Gebäude und Installationen unter 10% liegt (Figur 3-8). Die Umwelteinwirkungen der Elektrizitätsbereitstellung wurden mit dem UCPTE-Mix ermittelt. Der Einfluss unterschiedlicher Strommixe wird im Kapitel 6 weiter untersucht.



Figur 3-9
Senkung der Endenergie, der Primärenergie sowie der Umwelteinwirkungen für Wärme und Elektrizität sowie Aufwand Bau (pro Jahr, bezogen auf Nutzungszeit) für Sanierung, UCPTE-Mix.

3.6. Fazit

Die im Laufe der Sanierung zu ersetzende Bausubstanz (Rohbau-, Haustechnik, Ausbaumaterialien) stellt ein grosses „Zwischenlager“ an wertvollen Ressourcen dar. Das zu entsorgende Material wird zu einem „Bergwerk“, das im Hinblick auf die Wiederverwertung gezielt und zugleich kostengünstig bewirtschaftet werden soll. Für die Bilanzierung fehlten bisher die Grundlagen. Im Rahmen des IEA BCS Annex 31 wurden ebenfalls Inventardaten für die baustoffspezifische Entsorgung aufbereitet (Doka 1999). Der Rückbau und die Verwertung sind entsprechend anspruchsvolle Aufgaben für Planer und Unternehmer.

**Entsorgung:
Bauwerk als
„Bergwerk“**

Der sehr hohe Energiebedarf der bestehenden Labors wird durch die Umnutzung (teilweise Umwandlung in Büroflächen), die Verbesserung der Gebäudehülle sowie der Installationen (Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Kälteerzeugung) stark gesenkt. Die Elektrizitätsbereitstellung dominiert die Umwelteinwirkungen, so dass das zugrundegelegte Strommodell das Gesamtergebnis massgeblich beeinflusst (vgl. Kapitel 6). Bei den zu ersetzenden Elementen der Gebäudehülle (Fensterverglasung, Flachdach) wird ein sehr guter energetischer Standard entsprechend dem Stand der Technik angestrebt. Dies ermöglicht die übrigen Elemente weiterzuverwenden und trotzdem die Anforderungen an den Heizenergiebedarf zu erfüllen. So kann z.B. auf eine Verbesserung der Wärmedämmung der Fassadenelemente CHB, welche sehr hohe Kosten verursachen würde, verzichtet werden. Die Überdachung des Innenhofes ist ein gutes Beispiel dafür, wie durch eine geschickte Lösung Mehrnutzen bei tieferem Energieverbrauch entstehen kann.

**Gezielte
energetische
Eingriffe nach
dem Stand der
Technik**

Trotz umfangreicher Anpassungsarbeiten an die neue Nutzung kann der rohstoffintensive Rohbau mit gezielten kleineren Eingriffen weiter genutzt werden. Somit bleibt der Rohstoffbedarf für die Sanierung relativ gering (ca. 10 Massen% eines Neubaus). Materialien aus erneuerbaren Ressourcen können wegen der hohen Brandschutzanforderungen im Hochhausteil nur sehr beschränkt eingesetzt werden.

Rohstoffbedarf

4. Allokation von Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastungen

4.1. Erläuterung der Fragestellung

Entscheide im Bauwesen werden unter sehr verschiedenen Rahmenbedingungen von unterschiedlichen Akteuren gefällt (siehe auch Koch et al. 1998). Generell lassen sich die Fragestellungen aufgrund ihrer Betrachtungsebene zwischen Mikro- und Makroanalysen einordnen.

Ebene	Untersuchungsobjekt	Bezugsgrösse, z.B.	Akteure
Mikro	Bauteil	m ² Fassade	Planer, Eigentümer
	Gebäude	m ² Bruttogeschossfläche	Nutzer, Eigentümer
	Anlageoptionen	Nettorendite ¹	Investor
Makro	Zone, Region	Stadt Zürich	Behörden, Wirtschaftsvertreter

Tabelle 4-1
Betrachtungsebenen, Untersuchungsobjekte, Bezugsgrössen und Akteure im Zusammenhang mit Sanierungsfragen

¹ Nettorendite = (Ertrag minus laufende Kosten)/Anlagekosten

Die Sanierung einzelner Bauteile ist Gegenstand der Untersuchung eines Planers resp. des Eigentümers. Die Bezugsgrösse kann wie im Fallbeispiel 1m² Fassade einer bestimmten Gestaltung und bestimmter bauphysikalischer Eigenschaften sein. Ein Nutzer oder (potenzieller) Eigentümer kann sich die Frage stellen, ob er eine bestehende Liegenschaft erwerben und sanieren oder eine neue Liegenschaft erstellen soll. Neben dem reinen Flächenmass sind hier bei einem Vergleich verschiedener Optionen auch deren Qualitäten (Struktur, Flexibilität, Lage, baulicher Zustand, etc.) von Interesse.

Eigentümer, Nutzer, Planer

Ein Investor kann sich die analoge Frage stellen (Erwerb und Sanierung einer bestehenden Liegenschaft oder Neubau). Allerdings verfolgt er andere Ziele. So steht hier die erzielbare Nettorendite im Vordergrund und die mit der Investition bereitgestellte Nutzungsmöglichkeit ist von untergeordneter Bedeutung.

Investor

Behörden nehmen mit der Raum- und Zonenplanung eine Makroperspektive ein und begrenzen den für die verschiedenen Nutzungen zur Verfügung stehenden Raum, in dem sie Freihalte-, Landwirtschafts-, Gewerbe-, Industrie- und Wohnzonen festlegen.

Behörden

In diesem Projekt ist der Untersuchungsgegenstand das gesamte Gebäude resp. ein Bauteil (Sichtweise Nutzer, Eigentümer resp. Planer, Eigentümer). So kann es darum gehen, Varianten eines auf die grüne Wiese zu stellenden Gebäudes zu beurteilen oder aber Abriss und Neubau einem Sanierungsprojekt und einem Neubauprojekt auf der grünen Wiese gegenüberzustellen. Im ersten Fall stellt sich die Frage, wie ein Verwerten der neu verbauten Baumaterialien beim Abbruch in vielleicht 100 Jahren bezüglich

Fragestellungen

Umwelteffekten verrechnet werden kann. Im zweiten Fall stellt sich auch die Frage, wie das Weiterverwenden resp. der Abbruch der bestehenden Bausubstanz berücksichtigt werden kann oder soll. Kann dem Nachnutzer einer existierenden Liegenschaft ein Teil des Herstellungs- und Errichtungsaufwandes des Vornutzers angerechnet werden, oder muss dem Vornutzer ein Teil der Entsorgungsaufwänden existierender und abzubrechender Bausubstanz angerechnet werden?

4.2. Methodischer Ansatz

Es werden sowohl die Sanierung ganzer Bauten wie auch einzelner Bauteile betrachtet.

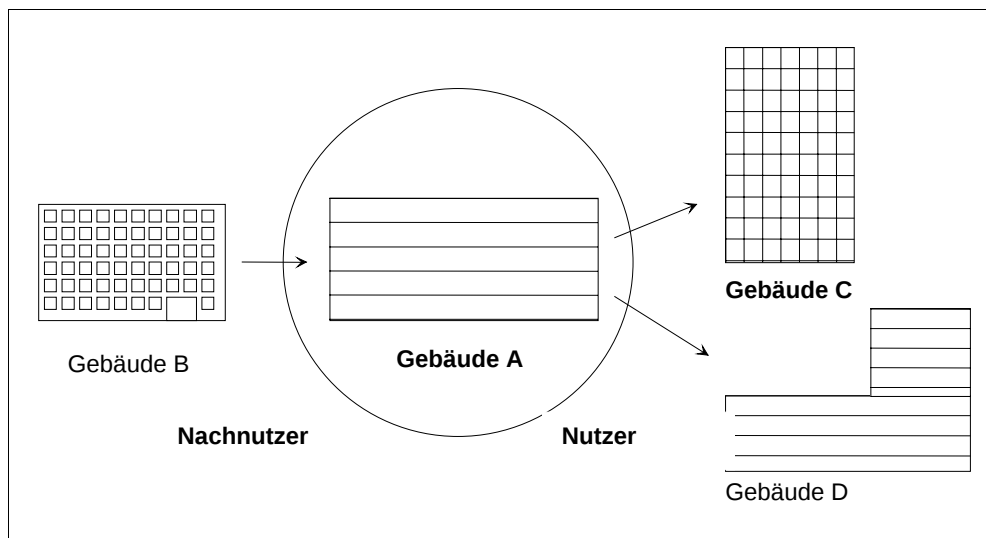
4.2.1. Sanierung Gebäude

Der methodische Ansatz soll eine Beurteilung der Nutzung bestehender Gebäude im Vergleich zum Neubau nach Umweltkriterien erlauben. Die Methode ist im Detail im Anhang A4-1 erläutert. Hier wird der methodische Ansatz anhand des folgenden fiktiven Beispiels illustriert.

Methodischer Ansatz
vgl. Anhang A4

Der bisherige Nutzer zieht vom Altbau (Gebäude A, siehe Figur 4-2) in einen Neubau (Gebäude C). Der Nachnutzer zieht in den Altbau ein und saniert ihn gemäss seinen Bedürfnissen.

Fiktives Beispiel



Figur 4-2
Zu sanierendes
Gebäude A und
sein Umfeld

Die zur Bestimmung der Allokation notwendigen Kennziffern sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt. Die Umweltbelastungen der Erstellung des Neubaus werden auf die beiden Nutzer nach Massgabe der Nutzfläche und des Marktpreises aufgeteilt. Zur Investition kommt beim Nutzer des Neubaus der jährliche Betriebsaufwand, beim Nachnutzer des Altbaus die Sanierung (inkl. allfälliger Entsorgung) und der jährliche Betrieb.

Allokation

		Altbau A	Neubau C
Nutzfläche	m ²	750	1'000
Marktpreis	CHF/m ² .a	100.- ¹	1'000.-
Umweltbelastung Investition	Pkt.	0	1'000
Umweltbelastung Sanierung	Pkt.	200	0
Umweltbelastung Betrieb	Pkt./a	30 ²	20
Umweltbelastung über 40 Jahre	Pkt.	1470	1730
Umweltbelastung über 80 Jahre	Pkt.	2670	2530
Nachnutzer des Altbaus: $1'000 \text{ Pt.} \cdot (100 \text{ CHF/m}^2\text{a} \cdot 750 \text{ m}^2) / (1'000 \cdot 1'000 + 100 \cdot 750) = 70 \text{ Pt.}$ Nutzer des Neubaus: $1'000 \text{ Pt.} \cdot (1'000 \text{ CHF/m}^2\text{a} \cdot 1'000 \text{ m}^2) / (1'000 \cdot 1'000 + 100 \cdot 750) = 930 \text{ Pt.}$ Umweltbelastung sanierter Altbau über 40 Jahre: $70 \text{ Pt.} + 200 \text{ Pt.} + 40 \text{ a} \cdot 30 \text{ Pt./a} = 1'470 \text{ Pt.}$ Umweltbelastung Neubau über 40 Jahre: $930 \text{ Pt.} + 0 \text{ Pt.} + 40 \text{ a} \cdot 20 \text{ Pt./a} = 1'730 \text{ Pt.}$			

Figur 4-3
Kennziffern von Alt- und Neubau und Berechnung der Allokationsfaktoren.

¹ Marktpreis des heutigen Zustandes (vor der Sanierung).

² Umweltbelastung Betrieb nach der Sanierung.

4.2.2. Sanierung Bauteil

Bei der Sanierung von Bauteilen ist die Situation einfacher. Hier geht es um Einzelentscheide, welche eine punktuelle Verbesserung der Bausubstanz zum Ziel haben oder der Optimierung innerhalb einer umfangreichen Gebäudesanierung dienen. Die Vorgehensweise ist analog zum Vorgehen bei der Fragestellung des optimalen Ersatzzeitpunktes (siehe Kapitel 5 und Frischknecht et al. 1993). Die detaillierte Ableitung wird im Anhang A4-2 gegeben.

Vorgehen

Die Differenz des Aufwands der Sanierungs- resp. Neubau-Variante minus heutige Situation dividiert durch die Differenz des jährlichen Betriebsaufwands ergibt die Amortisationszeit bezüglich Aufwand. Bei dieser Differenzbildung heben sich die Herstellungs- und Entsorgungsaufwände des bestehenden Bauteils auf und sind damit nicht entscheidend relevant. Damit zeigt sich auch, dass für Fragen des vorzeitigen Ersatzes wie sie in Kapitel 5 behandelt werden, lediglich die neu und zusätzlich auftretenden oder reduzierten Aufwände und Emissionen berücksichtigt werden müssen¹.

Ökologische Rückzahlfrist

¹ Für den Entsorgungsaufwand des bestehenden Bauteils gilt dies allerdings nur, wenn angenommen wird, dass der Entsorgungsaufwand über die Zeit konstant bleibt (keine technische Entwicklung erfolgt).

4.2.3. Umgang mit unsicheren Informationen

Je weiter eine Aktivität wie beispielsweise das Demontieren und Entsorgen von heute neu montierten Fenstern in der Zukunft liegt, desto unsicherer werden Angaben zu den ökologischen Konsequenzen dieser Aktivität. Der Umgang mit dieser Unsicherheit in Ökobilanzen kann verschiedene Ausprägungen annehmen. So können zukünftige Prozesse auf der Basis heutiger Technologie modelliert werden oder es können Szenarien über die Technologieentwicklung und deren Emissionsverhalten angewendet werden. Als weitere Option können in heutigen Ökobilanzen Gutschriften für das in Zukunft erwartete Verwerten heute verbauter Baustoffe und Bauteile gewährt oder mit dem Hinweis auf die grosse Zeitspanne und die ungewisse Entwicklung verwehrt werden.

Die Vorgehensweise ist in diesem Zusammenhang geprägt durch die persönliche Haltung des Bilanzierenden resp. des Auftraggebers. Aus diesem Grund sollen im Fallbeispiel drei verschiedene Haltungen gegenüber unsicherer Information (risikoscheu, risikoneutral und risikofreudig) eingeführt werden. Die drei Grundhaltungen unterscheiden sich in der Ökobilanz von Sanierungen wie folgt:

Haltung	Recycling-Gutschrift für zukünftige Verwertung	Technologieentwicklung
Risikofreudig	gewähren	Verbesserungen teilweise berücksichtigen, z.B. best available technology *
Risikoneutral	nicht gewähren	Verbesserungen berücksichtigen, z.B. best available technology
Risikoscheu	nicht gewähren	Heutiger Stand auch für zukünftige Prozesse

Tabelle 4-4
Grundhaltungen gegenüber unsicheren Informationen über zukünftige Prozesse und deren Modellierung in Ökobilanzen von Sanierungsmassnahmen

* nicht bei Prozessen, die durch das zukünftige Recycling verdrängt werden und dadurch eine Gutschrift geben.

4.2.4. Vorzeitiger Abbruch bei Produkt-Ökobilanzen

Gebäude werden errichtet, um darin wohnen zu können oder Dienstleistungen zu erbringen. In Produkt-Ökobilanzen werden für die Infrastruktur (Gebäude, Maschinenpark, Strassen) Funktions- oder Lebensdauern angenommen, um das während dieser Dauer erbrachte Dienstleistungsvolumen oder die produzierten Güter zu bestimmen. Die gesamten Infrastrukturaufwände werden dann auf die Gesamtproduktion anteilmässig umgelegt.

Damit können Umweltaspekte verschiedener Investitionsvarianten auf der Basis des gesamten, prognostizierten Produktionsvolumens verglichen

werden¹. Wird ein Gebäude nun vor Erreichen der angenommenen Lebens- oder Funktionsdauer abgebrochen, so wurden die auf die Produkte umgelegten Umwelteinwirkungen der Gebäudeerstellung unterschätzt.

Auch hier kann die Unsicherheit über das zukünftige Schicksal von Gebäuden je nach Grundhaltung verschieden berücksichtigt werden. So wird eine eher risikoscheue Person nicht die technische Lebensdauer der Berechnung zugrundelegen, sondern vielmehr die ökonomische Amortisationszeit, d.h. die Zeitspanne innerhalb derer das eingesetzte Kapital erwirtschaftet werden kann. Risikofreudige Personen würden dagegen eher dazu neigen, die technische Funktionsdauer einzusetzen (siehe Tabelle 4-5).

Haltung	Lebens-/Funktionsdauer
Risikofreudig	technische Lebensdauer
Risikoneutral	je nach Technologie und deren Entwicklungsdynamik
Risikoscheu	ökonomische Amortisationsdauer

Tabelle 4-5
Grundhaltungen gegenüber Nutzungszeit-Daten von Investitionsgütern und deren Modellierung in Produkt-Ökobilanzen.

Beträgt die Amortisationszeit beispielsweise 5 Jahre, die physikalisch-technische Lebensdauer aber 20 Jahre, so sind die auf das einzelne Produkt umgelegten Umwelteinwirkungen der Investitionsgüter – gleiche jährlichen Produktionsmengen vorausgesetzt – bei Anwendung der Amortisationsdauer viermal höher als bei Anwendung der technischen Lebensdauer und können damit die Ökobilanz dieser Produkte erheblich beeinflussen.

Ein Überwälzen der durch die Wahl einer zu langen Funktionsdauer und damit eines zu grossen Produktionsvolumens nicht "amortisierten", bei der Erstellung des Gebäudes verursachten Umwelteinwirkungen auf nachfolgende Nutzer macht aber deshalb keinen Sinn, da diese Umwelteinwirkungen bereits erfolgt und deshalb nicht mehr entscheiderelevant sind. Wie in Abschnitt 4.2.1 gezeigt wurde, können aber zukünftige Umwelteinwirkungen, die im Zusammenhang mit einer Neunutzung stehen, durchaus bei der Bewertung bestehender Bausubstanz einbezogen werden.

¹ Analog werden bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen auch die Stückpreise ermittelt, um die ökonomische Konkurrenzfähigkeit der Mithilfe von Investitionen (in Dienstleistungsgebäuden, Fabrikhallen, Maschinen) produzierten Güter zu ermitteln.

4.3. Erläuterungen am Fallbeispiel Glas- / Fensterersatz

4.3.1. Grundlagen

Zur Illustration dienten die Fassadenelemente der Nord- und Südfassade des CHB-Turmes des Fallbeispiels (vgl. Kapitel 3). Der bauliche Zustand der Elemente präsentiert sich heute folgendermassen:

Bisheriger Zustand	Sanierung
Fenster: Baujahr 1970 • Fensterflügel teils festverglast, teils beweglich, k-Wert Verglasung 3.0 W/m²K • Dichtungen und Verglasung müssen ersetzt werden Brüstung aussen: • Sandwichelement aus Eternit- und Alumanblech mit Kerndämmung (40 mm Mineralwolle), k-Wert Brüstung 1.25 W/m²K Brüstung innen: • Schreibflächen mit Unterbauten aus beschichteten Spanplatten teilweise beschädigt Sonnenschutz: • Rafflamellenstoren aus eloxiertem Aluminium müssen ersetzt werden	Variante 0: Nichts machen • Kein Aufwand für Eingriff • Heizenergiebedarf unverändert hoch Variante 1: Verglasung, Innenbrüstung, Sonnenstoren ersetzen • Gläser mit Wärmeschutzgläsern k=1.0 W/m²K ersetzen • Flügel mit thermisch getrennten Profilen • Brüstung innen bis auf Heizkörper vollständig ersetzen, da ersatzbedürftig und Bauablauf behindert wird Variante 2: Variante 1 + zusätzlich neue Aussenverkleidung Wie Variante 1, jedoch zusätzlich: • Wärmedämmung Brüstung aussen (80 mm Steinwolle) • Verkleidung (3mm Aluminiumblech).

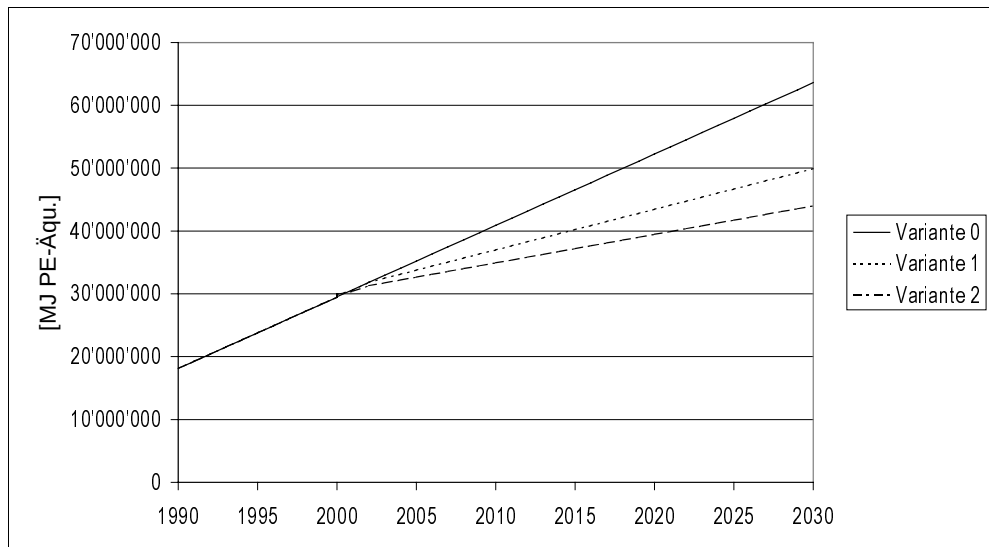
Tabelle 4-6
Bisheriger Zustand der Fassadenelemente und die drei untersuchten Sanierungsvarianten

Die Sensitivität einzelner Sanierungsmassnahmen wurde anhand von drei Varianten aufgezeigt. Bei allen drei Varianten wurde eine kondensierende LowNO_x-Erdgas-Heizung zur Energiebereitstellung angenommen. Die Eingabedaten sind im Anhang A5 näher erläutert.

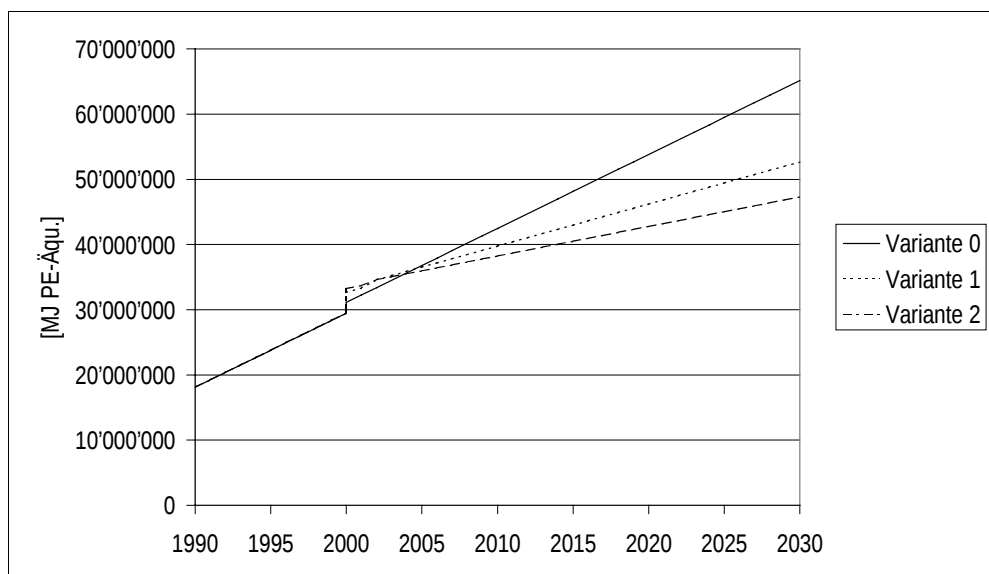
Sanierungsvarianten

4.3.2. Ergebnisse

Je nach Indikator und je nach Grundhaltung (risikofreudig oder risikoscheu) zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse, welche zu anderen Schlüssen führen.

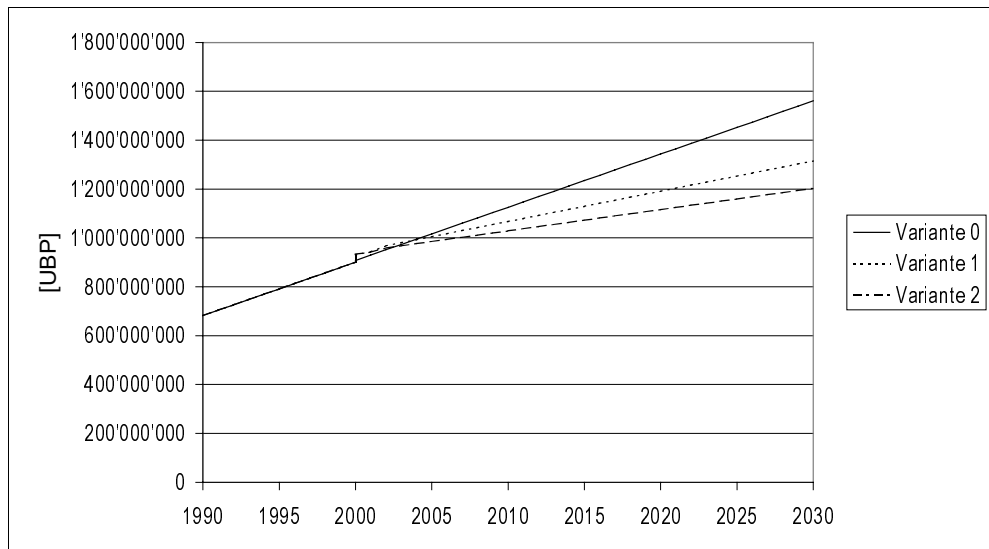


Figur 4-7
Nicht erneuerbare Primärenergie, risikofreudige Haltung

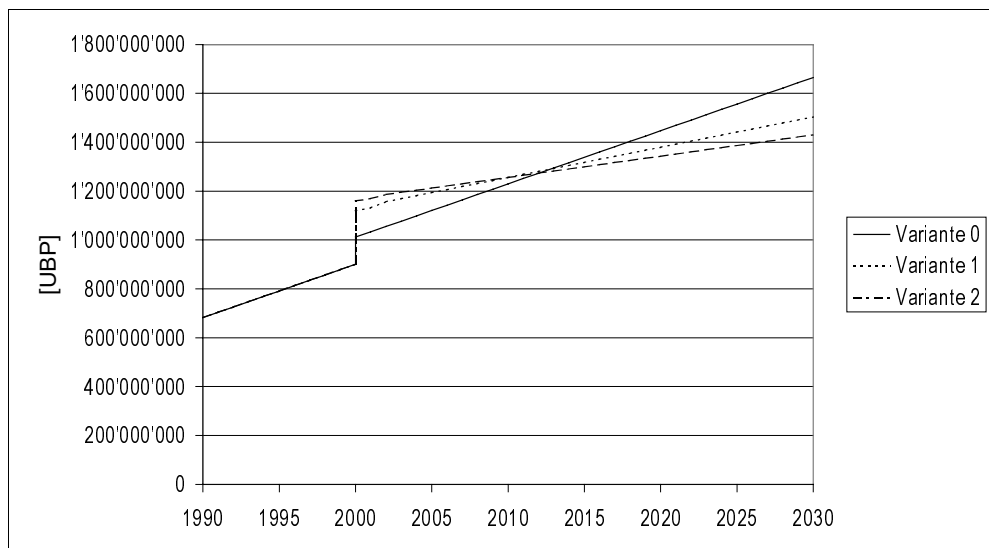


Figur 4-8
Nicht erneuerbare Primärenergie, risikoscheue Haltung

Bezüglich der Schonung nichterneuerbarer Energieressourcen (Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran) lohnt sich eine weitergehende Sanierung (Variante 2) in jedem Fall in ein bis drei Jahren. Die Sanierungsmassnahme führt zu einer Einsparung gegenüber einem Weiterbetrieb unter heutigem Zustand nach vier (risikofreudig, Variante 1) bis knapp zehn Jahren (risikoscheu, Variante 2). Der Sachverhalt ist beim Treibhauseffekt sehr ähnlich.

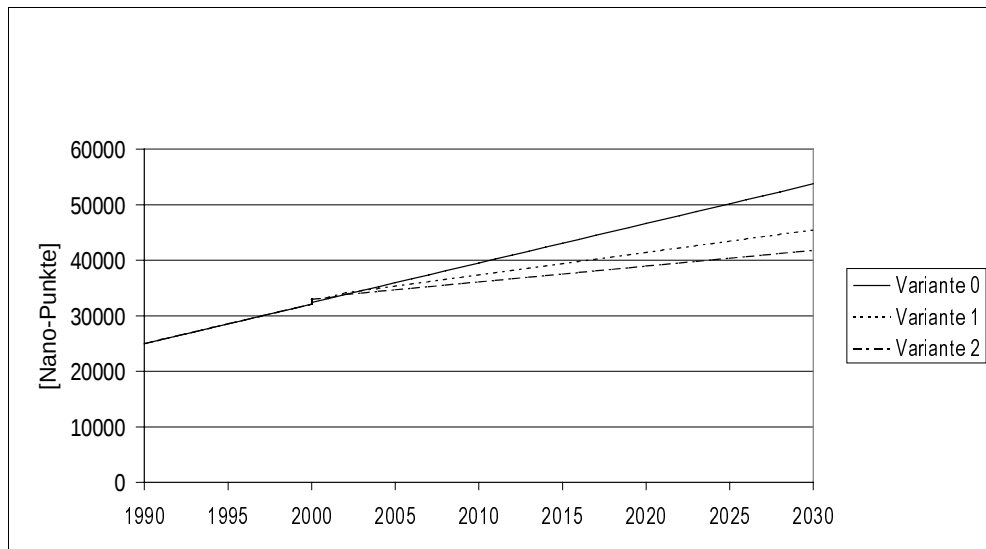


Figur 4-9
Methode der
ökologischen
Knappheit 1997,
risikofreudige
Haltung

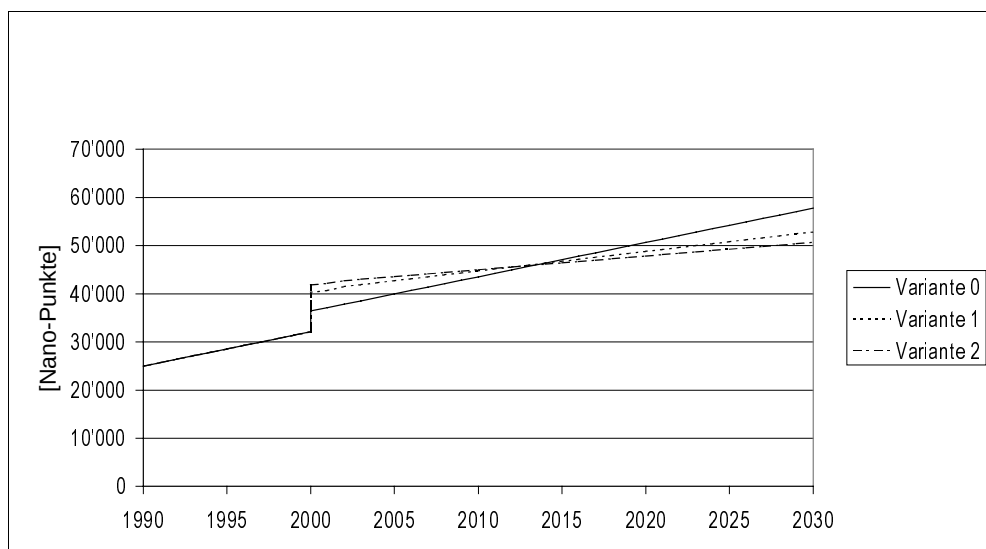


Figur 4-10
Methode der
ökologischen
Knappheit 1997,
risikoscheue
Haltung

Bei ökologischen Kenngrößen wie Umweltbelastungspunkte oder Eco-indicator 95^{rf} hingegen sind die Ergebnisse extremer. Bei risikoscheuer Haltung, d.h. bei Nichtberücksichtigen von Recycling-Gutschriften am Ende der Lebensdauer von Bauteilen resultieren sehr hohe Investitions-Umweltbelastungen. Diese werden erst nach über zehn Jahren durch den reduzierten Betriebsenergiebedarf gegenüber der Grundvariante wettgemacht.



Figur 4-12
Eco indicator
95rf, CO₂-Szena-
rio mittel,
risikofreudige
Haltung



Figur 4-13
Eco indicator
95rf, CO₂-Szena-
rio mittel,
risikoscheue
Haltung

Bei Annahme eines risikofreudigen Verhaltens, d.h. unter voller Berücksichtigung der Recycling-Gutschrift für Metalle am Ende der Bauteil-Lebensdauer, führen beide Varianten nach drei bis fünf Jahren zu insgesamt tieferen Gesamtumweltbelastungen gegenüber der Nullvariante. Die Investition in zusätzliche Aussendämmung zahlt sich gegenüber einem reinen Fensterersatz sogar nach bereits ein bis zwei Jahren aus.

Ein Grossteil der Aufwändungen, die zu den hohen Investitions-Umweltbelastungen führen, sind nicht direkt betriebsenergierelevant. So sind insbesondere für Sonnenschutz und die Innenbrüstung grosse Mengen an Aluminium, Gusseisen und Gips erforderlich, die gesamthaft die Menge Aluminium für die neue Brüstungsabdeckung übersteigen.

4.4. Fazit

Der ökologische "Restwert" eines Gebäudes ist mit der hier eingeführten Betrachtungsweise nicht abhängig von den durch dessen Erstellung verursachten Umwelteinwirkungen. Der ökologische „Restwert“ wird vielmehr bestimmt durch die Umwelteinwirkungen der zur Diskussion stehenden Alternativen und durch Grösse und Qualität des bestehenden Gebäudes im Verhältnis zu den Alternativen.

Das Risikoverhalten einerseits und die Wahl der ökologischen Kenngrösse andererseits beeinflussen die Ergebnisse der energetischen resp. ökologischen Rückzahlfrist massgeblich.

Die Autoren empfehlen, in Ökobilanzen grundsätzlich risikoscheues Verhalten vorauszusetzen und risikofreudiges resp. -neutrales Verhalten nur als Sensitivität zu berücksichtigen.

5. Wahl des richtigen Ersatzzeitpunktes

5.1. Erläuterung der Fragestellung

Wie lange soll angesichts in Zukunft zu erwartender kontinuierlicher technischer Verbesserungen über lange Zeiträume mit einer Sanierungsmassnahme zugewartet werden? Diese Frage stellt sich im Bauwesen bei verschiedensten energetisch relevanten Komponenten, wo eine laufende technologische Weiterentwicklung im Gange ist. Beispiele dazu sind Fenster, Wärme- und Kälteerzeugung, Beleuchtungssysteme, Elektrogeräte usw.

5.2. Methodischer Ansatz

Die Frage der Methodik der Rückzahldauer bei vorzeitigem Ersatz von Geräten wurde eingehend in Frischknecht et al. (1993) untersucht. Mit einer Ökobilanzbetrachtung lässt sich die Frage beantworten, ob es aus energetischen oder umweltbezogenen Gründen sinnvoll ist, ein Gerät vor Ablauf der technischen Lebensdauer durch ein energie- resp. umwelteffizienteres Gerät zu ersetzen. Dabei steht Gerät auch für den allgemeinen Begriff „Infrastruktur“.

Rückzahldauer

Die Ergebnisse zeigten, dass sich bei Geräten mit im Vergleich zum Herstellungsaufwand hohem Betriebsenergieaufwand ein vorzeitiger Ersatz sehr schnell lohnt. Bei anderen Indikatoren als Primärenergie kann der gegenüber dem Betrieb höhere oder problematischere Herstellungsaufwand allerdings zu entgegengesetzten Aussagen führen (z.B. in früheren Jahren bei Kühlschränken im Bereich Ozonschichtabbau).

Zusätzlich erlaubt dieses einfache Fallbeispiel einen Vergleich zwischen drei verschiedenen Indikatoren für die Umweltbelastung, nämlich der nicht erneuerbaren Primärenergie (PE_{ne}), den Umweltbelastungspunkten (UBP '97) sowie dem Eco-indicator '95 (EI^{95}).

Vergleich von Umweltbelastungsindikatoren

5.3. Erläuterung am Fallbeispiel Fensterersatz

5.3.1. Grundlagen

Die Fragestellung des vorzeitigen Ersatzes wird am Fallbeispiel Altbauten ETH Chemie erläutert. Dazu eignete sich die Umbausituation mit den Fassadenelementen der Nord- und Südfassade des CHB-Turmes, welche teilweise das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben. Zur dieser Wahl führte vor allem die Tatsache, dass sich die Fenstertechnologie in den letzten Jahren rasant weiterentwickelte.

Die Hersteller versuchten mit verschiedenen Massnahmen, Verbesserungen der Wärmedämmeigenschaften (U-Werte, früher k-Werte) der Gläser zu erzielen, zum Beispiel mit dem Einsatz von 3- statt 2-fach-Verglasungen oder mehrerer eingespannter Kunststoffolien, indem die Gläser beschichtet oder die Scheibenzwischenräume mit Edelgasen gefüllt wurden. Dadurch konnten beachtenswerte Verbesserungen des U-Wertes erzielt werden, auf der anderen Seite reduzierten sich aber zum Teil auch die nutzbaren Gewinne durch die Sonneneinstrahlung wegen des oftmals kleineren Gesamtenergie-Durchlassgrades (g-Wert). Ebenfalls stieg der Aufwand bei der Herstellung solcher hochisolierender Gläser z.B. ausgedrückt in grauer Energie.

Entwicklung der Fenstertechnologie

5.3.2. Varianten

Die Berechnung erfolgte für die folgenden fünf Glastypen:

Variante	U-Wert [W/m ² K]	g-Wert [-]	Anzahl Scheiben	Füllung	IR- Beschichtung
Glas A	2.70	0.77	2	Luft	--
Glas B	1.90	0.70	3	Luft	--
Glas C	1.10	0.65	2	Argon/Krypton	ja
Glas D	0.60	0.51	3	Krypton	ja
Glas E	0.35	0.53	2 + 2 Folien	Xenon	ja

Tabelle 5-1
Kennwerte der Isolier- resp. Wärmeschutz-Verglasungen

Szenario	Ersatz Glas		
	1980	1990	2000
I nichts machen			
II Pionier	A mit B		
III ökonomisch / realistisch			A mit C
IV „Energiefreak“ unökonomisch	A mit B	B mit D	D mit E
V ambitioniert aber noch realistisch	A mit B	B mit D	

Tabelle 5-2
Die untersuchten Glas-Ersatz-Szenarien

Die zeitliche Entwicklung dieser Technologien ist zu beachten. Die ersten 3-fach-Verglasungen sind ca. Ende der 70-er Jahre auf den Markt gekommen. Danach wurde versucht, die Wärmeschutz-Eigenschaften mit Infrarot-Verspiegelung und Edelgasfüllung zu verbessern. Ende der 80-er Jahre konnten dann vermehrt solche Wärmeschutzgläser eingesetzt werden.

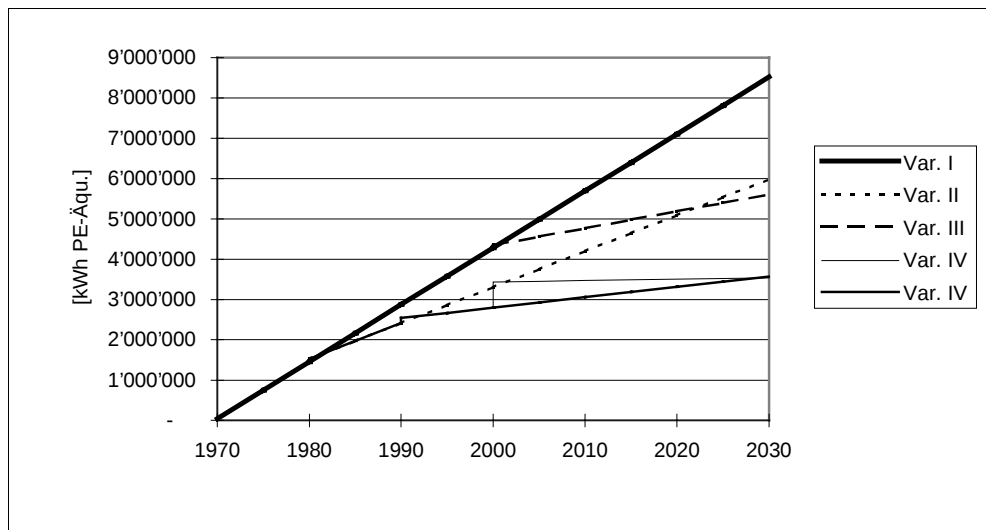
Der Zeitpunkt der Marktverfügbarkeit einer Verglasung kann nicht exakt definiert werden. Entwicklungen an unterschiedlichen Technologien laufen

zudem zeitgleich ab. Entscheidenden Einfluss auf die Verbreitung einer Verglasung hat natürlich deren Preis. Heute finden zum Beispiel Argon/Krypton-gefüllte 2-fach-Verglasungen mit U-Werten um $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ein breites Einsatzgebiet, da diese vergleichsweise günstig erhältlich sind. Glas-Typen mit noch günstigeren Wärmeschutz-Eigenschaften befinden sich in der Entwicklung oder sind bereits verfügbar.

5.4. Ergebnisse

5.4.1. Resultate mit nicht erneuerbarer Primärenergie

Figur 5-3 zeigt die nicht erneuerbare Primärenergie (PE_{ne}) der Szenarien I bis V im Lebenslinien-Diagramm. Die kleinen vertikalen Sprünge auf den Kurven entsprechen dem Herstellungs- und Entsorgungsaufwand, die graue Energie ausgedrückt in nicht erneuerbarer Primärenergie. Generell kann festgestellt werden, dass dessen Grösse vernachlässigbar klein ist, ausser beim Szenario IV, wo die Verglasung mit Xenon-Füllung eingesetzt wurden. Die Steigung der Kurven - also der Verbrauch an Heizenergie - ist viel entscheidender. Für die Wärmeerzeugung wurde mit einer Ölheizung gerechnet. Die Ergebnisse gelten nur für die Fensterorientierung des Turmes CHB, wo auf der Südseite nahezu gleichviele Elemente vorhanden sind wie auf der Nordseite (solare Gewinne).



Figur 5-3
Lebenslinien-Diagramm der Glas-Ersatz-Szenarien mit nicht-erneuerbarer Primärenergie als Umweltbelastungs-Indikator.

Seit dem Erstellungsjahr 1970 werden keine Sanierungsmassnahmen durchgeführt, so dass die Primärenergie unvermindert ansteigt. Bei einem Einsatz über 60 Jahre ist allerdings in der Realität mit grösseren Ausfällen der Isolierverglasung zu rechnen.

Szenario I

Die neueste verfügbare Technologie, nämlich Glas B, wird 1980 sofort eingesetzt. Der kleine Herstellungsaufwand ist bereits nach ca. zwei Jahren energetisch amortisiert (Schnittpunkt der beiden Kurven). Die Heizenergie-Einsparungen kommen danach durch den tieferen U-Wert bei immer noch akzeptablem g-Wert zum Tragen. Es erfolgen keine weiteren Sanierungs-

Szenario II

massnahmen bis zum Ende der Nutzungszeit im Jahre 2030. Bei einem Einsatz über 50 Jahre ist auch in diesem Szenario mit Ausfällen der Isolierverglasung zu rechnen.

Auch bei dieser Variante erfolgt nur ein Glasersatz. Es wird allerdings noch zugewartet bis ins Jahr 2000. Jetzt erfolgt die Sanierung mit einer guten, bewährten und wirtschaftlichen Verglasung (Glas C). Die Herstellungsaufwände sind bereits nach einem Jahr amortisiert. Dagegen dauert es bis ca. 2020, bis der Mehrverbrauch, welcher 1980 bis 2000 gegenüber Szenario II entstanden ist, kompensiert ist.

Szenario III

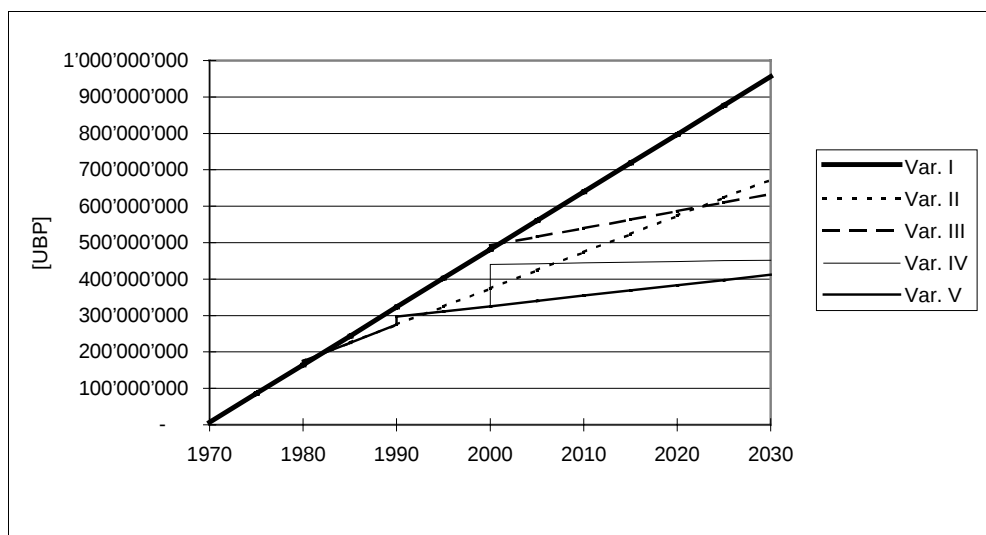
Hier wird die neueste Technologie jeweils eingesetzt, sobald sie erhältlich ist. Bemerkenswert ist der grosse Sprung im Jahre 2000, welcher durch den hohen Herstellungsaufwand des Edelgases Xenon (Strombedarf Luftverflüssigung) bedingt ist. Danach verläuft die Lebenslinie sehr flach.

Szenario IV

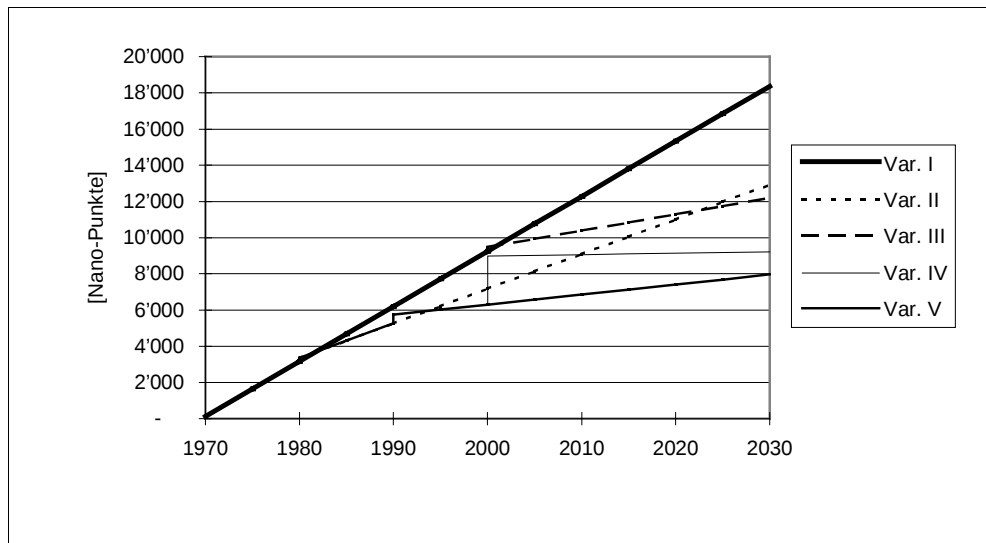
Diese Szenario ist im Prinzip mit Szenario IV identisch. Es wird jedoch im Jahre 2000 auf den Einbau des hochisolierenden Glases E verzichtet. Die graue Energie von Glas E, eingesetzt in Variante IV, wird dadurch im Jahre 2000 eingespart, dagegen wird in den folgenden Jahren vermehrt Heizenergie benötigt. Der Mehraufwand für die Herstellung von Glas E (siehe Variante E) ist erst nach 30 Jahren amortisiert.

Szenario V

5.4.2. Resultate mit UBP '97 und EI 95^{rf} als Umweltbelastungs-Indikatoren



Figur 5-4
Lebenslinien-Diagramm der Glas-Ersatz-Szenarien nach Methode der ökologischen Knappheit 1997 als Umweltbelastungs-Indikator.



Figur 5-5
Verschiedene
Glas-Ersatz-Sze-
narien im Le-
benslinien-Dia-
gramm mit EI^{rf} als
Umweltbela-
stungs-Indikator.

Die Figuren 5-4 und 5-5 verdeutlichen, dass sich bei beiden verwendeten Indikatoren der Herstellungsaufwand gegenüber dem Betriebsaufwand vergrößert. Die Faktoren Herstellung und Entsorgung werden also deutlich stärker gewichtet, resp. kommen bei der reinen Betrachtung mit Primärenergie zu kurz. Es zeigt sich, dass insbesondere die Herstellung von Aluminium aber auch der Edelgase zur Füllung der Isolierverglasung eine im Verhältnis zur betrachteten Feuerung überproportionale Umweltintensität aufweist. Pro kWh nicht erneuerbare Primärenergie weist Aluminium eine mehr als doppelt so hohe Anzahl Umweltbelastungspunkte auf wie eine kondensierende Ölheizung. Beim Eco-Indicator 95^{rf} ist das Verhältnis mit 2.6 noch deutlicher. Auch der zur Produktion der (europäisch gehandelten) Materialien eingesetzte UCPT-Strommix weist pro kWh gegenüber der Ölfeuerung einen um 60% (Umweltbelastungspunkte) resp. 43% (Eco-indicator 95^{rf}) höheren Wert auf.

**Vergleich mit
nichterneuer-
barer Primär-
energie**

Darin zeigen sich die deutlichen Unterschiede in den Qualitäten der in Haushalten und Dienstleistungen einerseits und in der Industrie andererseits eingesetzten Brennstoffe. Während bei ersteren v.a. Heizöl mit sehr niedrigem Schwefelgehalt resp. Erdgas eingesetzt werden, werden insbesondere im Europäischen Elektrizitätssektor Schweröl und Braun- oder Steinkohle eingesetzt. Bei den Umweltbelastungspunkten spielen zudem radioaktive Abfälle der Kernenergie eine nicht zu vernachlässigende Rolle (rund 28% des UBP Gesamtscores des UCPT-Strommixes). Konkret heisst dies für das Fallbeispiel, dass sich die ökologischen Amortisationszeiten ca. verdoppeln. Bei den Gläsern A bis D, die kleine Herstellungsaufwände haben, spielt dies kaum eine Rolle. Die Verwendung von Glas E kann dagegen in Frage gestellt werden. Bei der Variante IV erfolgt die Amortisation erst weit ausserhalb des betrachteten Zeitraumes, nämlich nach ca. 50 bis 60 Jahren und erscheint deshalb als fragwürdig. Würde Glas E dagegen als Ersatz einer „schlechten“ Verglasung (Glas A oder B) erfolgen, verkürzt sich die Rückzahldauer auf ca. 8 resp. 30 Jahre und kann – zumindest im ersteren Falle – als sinnvoll angesehen werden. Bei Annahme einer kondensierenden Gasheizung zur Deckung des Betriebsenergiebedarfs akzentuiert sich die Tendenz zu längeren Amortisationszeiten weiter. Die Amortisationszeiten werden gegenüber dem Indikator nicht erneuerbare Primärenergie mehr als verdreifacht.

5.5. Fazit

Das Szenario III ist die aus Sanierungsperspektive übliche Lösung, in dem die Verglasung nach Ablauf der Nutzungszeit von 30 Jahren (typischer Rechenwert) ersetzt wird. Würde die bestehende Verglasung weitere 30 Jahre belassen, läge die Umweltbelastung über die ganze Betrachtungsdauer um 50% höher. Die Pionierrolle mit einem einmaligen vorzeitigen Ersatz durch ein weniger effizientes Glas bereits nach 10 Jahren führt energetisch und ökologisch zu einem ähnlichen Ergebnis. Durch einen zweiten, energetisch motivierten Glasersatz kann die Umweltbelastung um weitere 30% gesenkt werden. Der dreimalige Ersatz über den Betrachtungszeitraum von 60 Jahren bringt in diesem Fall wegen des hohen Herstellungsaufwandes keine weitere Verbesserung.

Szenarien im Vergleich

Insgesamt zeigt sich anhand des Fallbeispiels Glasersatz, dass sich in den letzten zwei Jahrzehnten durch Einsetzen der jeweils „besten“ Technologie ein bezüglich Primärenergie und Umweltbelastung optimiertes Verhalten ergeben hat. Bei Fenstern scheint das einfach realisierbare Optimierungspotenzial weitgehend ausgeschöpft. Weitergehende Optimierungen (z.B. mit Xenon gefüllte Gläser) sind aus heutiger Sicht und unter Umweltgesichtspunkten fraglich.

Optimierte Verglasungstechnologie

In diesem Kapitel wurde die Frage nach dem optimalen Ersatzzeitpunkt gestellt. Aus der Geschichte der Entwicklung von Wärmeschutzgläsern zeigt sich, dass ein Warten auf bessere Technologien nicht zu einer Reduktion der Gesamtumweltbelastung resp. des Bedarfs an nicht erneuerbarer Primärenergie geführt hätte. Und auch in Zukunft scheint sich ein Warten nicht zu lohnen, so lange die Energiebereitstellung nicht mit deutlich geringerer Umweltbelastung erfolgt als mit kondensierenden Öl- oder Gaskesseln.

Optimaler Ersatzzeitpunkt

6. Verwendung marginaler Strommixe

6.1. Erläuterung der Fragestellung

Für die Berücksichtigung der Umwelteinwirkungen des Strombedarfs (z.B. für Lüftungs- oder Kälteanlagen) in Ökobilanzen können generell zwei Betrachtungsweisen unterschieden werden, nämlich die beschreibende und die entscheidorientierte Analyse (Frischknecht 1998b):

Die beschreibende Analyse dient dazu, einen aktuellen oder vergangenen Zustand zu beschreiben. Firmen geben beispielsweise in ihrem Umweltbericht an, was sie im letzten Jahr produziert haben, welche Schadstoffmengen dabei emittiert und welche Abfallmengen produziert worden sind. Der europäische und der schweizerische durchschnittliche Strommix sind z.B. für beschreibende Analysen geeignet¹.

**Beschreibende
Analyse**

Die entscheidorientierte Analyse demgegenüber versucht die Folgen eines Entscheides abzubilden. Eine Entscheidung kann einen Mehr- oder Minderverbrauch gegenüber dem heutigen Zustand zur Folge haben. In einer entscheidungsorientierten Betrachtung sollen die mit diesem Mehr- oder Minderverbrauch zusammenhängenden Aktivitäten berücksichtigt werden. Die Strombereitstellung mit einem deutschen Steinkohlekraftwerk, einem Gaskombikraftwerk, einem (französischen) Kernkraftwerk oder einem Gas-Blockheizkraftwerk sind Technologien, die bei einem allfälligen Mehr- oder Minderverbrauch zu- oder abgeschaltet werden (Grenztechnologien). Eine Übersicht der verwendeten Strommodelle zeigt Tabelle 6-1.

**Entscheid-
orientierte
Analyse.**

Beschreibende Analysen	Entscheidorientierte Analysen
Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel) Westeuropäischer Strommix (UCPTE) *	Steinkohle Deutschland Kernkraftwerk Frankreich Wasserkraft Schweiz Gas und Dampf-Gaskraftwerk Gasmotor-Blockheizkraftwerk **

Tabelle 6-1
*Strommodelle in
Ökobilanzen zur
Bereitstellung von
Elektrizität (z.B.
Betriebsenergie
für Lüftungs- oder
Kälteanlagen)*

* Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité, siehe Text

** Die Umweltbelastung muss auf Strom und Wärme aufgeteilt werden (Allokation).

¹ Die Wahl des geographischen Bereichs ist dabei von der Fragestellung abhängig. Für eine Beschreibung vergangener Aktivitäten in der Schweiz ist z.B. der schweizerische einem europäischen Strommix vorzuziehen. Der Stromhandel mit andern europäischen Ländern sollte jedoch berücksichtigt werden.

6.2. Methodischer Ansatz

6.2.1. Beschreibende Analysen

Für eine Beschreibung der Istsituation (z.B. Betrieb bestehender Wärmepumpensysteme) kommen die folgenden Strommixe in Frage:

Beim Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel) wird die schweizerische Inlandproduktion und der Handel mit Elektrizität der Jahre 1990 bis 1994 abgebildet. Der Durchschnitt mehrerer Jahre wurde gewählt, um den meteorologischen Schwankungen Rechnung zu tragen. Der Stromhandel wird auf der Basis der vertraglich abgemachten Stromlieferungen bestimmt. Dabei werden die Exporte mit dem Inlandproduktionsmix und die Importe mit dem Mix des Landes aus welchem importiert wird verknüpft. Es wird angenommen, dass der gesamte importierte Strom in der Schweiz nachgefragt wird. Dadurch resultiert ein (zeitlich nicht verschobener) Transitanteil beim importierten Strom von 0%. Andere Modelle gehen davon aus, dass lediglich die netto importierte Strommenge vom importierenden Land (z.B. der Schweiz) nachgefragt wird und die restliche importierte Elektrizität die Schweiz durchquert (siehe z.B. Ménard et al. 1998).

Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel)

Beim westeuropäischen Strommix wird die durchschnittliche Stromproduktion der Länder Belgien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Italien, Kroatien/ Slowenien und Rest-Jugoslawien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Schweiz und Spanien der Jahre 1990-1994 abgebildet. Handelsbeziehungen mit Ländern ausserhalb des UCPT-Verbandes (z.B. Grossbritannien oder Dänemark) werden vernachlässigt. Es kann dann zur Anwendung gelangen, wenn ein Strombedarf irgendwo in Zentraleuropa auftreten kann. Für einen Strombedarf in der Schweiz sind die Handelsbeziehungen relativ genau bekannt, weshalb dazu (bei beschreibenden Ökobilanzen) der Schweizer Strommix (siehe oben) angewendet werden kann.

Westeuropäischer Strommix (UCPT¹)

6.2.2. Entscheidorientierte Analysen

Bei einer Veränderung des Strombedarfs in der Schweiz z.B. infolge einer Entscheidung zugunsten einer Energiesparmassnahme (z.B. effizientere Lüftungsanlagen oder Kältemaschinen) können die folgenden Strommodelle angewendet werden:

Eine Veränderung der Strombedarfs kann z.B. durch eine Erhöhung oder Reduktion des Strombezugs aus deutschen Braunkohle-Kraftwerken erfolgen. Das in Frischknecht et al. (1996) bilanzierte deutsche Braunkohlekraftwerk repräsentiert den deutschen Technologiestand des Jahres 1994. Der Bruttowirkungsgrad des durchschnittlichen deutschen Kraftwerks beträgt 33.5%.

Braunkohlekraftwerk Deutschland

¹ Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricité

Eine Änderung im Strombedarf kann aufgefangen werden, indem mit der Electricité de France zusätzliche Verträge abgeschlossen oder bestehende Verträge auslaufen gelassen resp. gekündigt werden. Die Daten in Frischknecht et al. (1996) entsprechen dem Durchschnitt der französischen Kernkraftwerke mit deren spezifischen Emissionen und einer auf die französische Situation zugeschnittenen Brennstoffbereitstellung und Wiederaufarbeitung. Der Nettowirkungsgrad des durchschnittlichen französischen Kernkraftwerks beträgt 31%.

**Kernkraftwerk
Frankreich**

Durch eine Steigerung des im Winter verfügbaren Stroms aus Wasserkraft könnte ein zusätzlicher Bedarf ebenfalls gedeckt werden. Dieses Szenario ist jedoch weniger realistisch, da eine Produktionssteigerung insbesondere auch durch die verschärften Gewässerschutzbestimmungen in der Schweiz nur noch begrenzt möglich sein wird.

**Wasserkraft
Schweiz**

Ein gasbefeuertes Gas und Dampf-Kraftwerk (GuD) mit einem Wirkungsgrad von 57% kann für den zusätzlich benötigten Strom eingesetzt werden. Bei einem langfristig abnehmenden Strombedarf kommt dieser Kraftwerkstyp kaum in Frage, da in diesem Fall lediglich Ersatz- nicht aber Zubauinvestitionen getätigt werden.

**Gas und Dampf-
(GuD)-Kraftwerk**

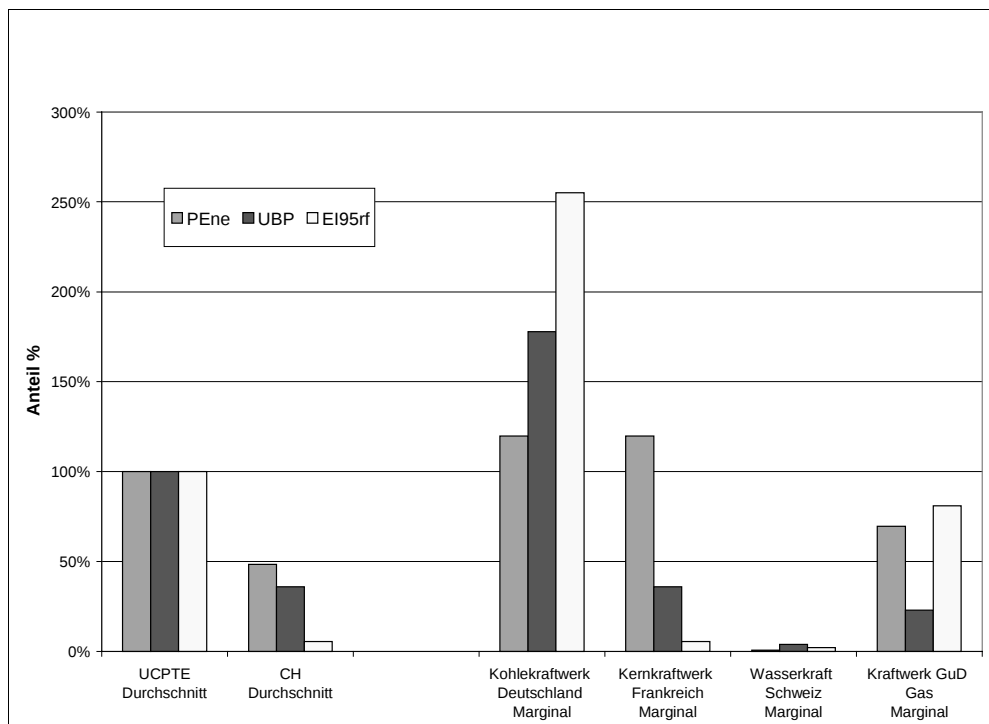
Beim Gasmotor-Blockheizkraftwerk muss die Umweltbelastung auf Strom und Wärme aufgeteilt werden. Aufgrund der Allokationsfrage wird auf dieses System hier nicht näher eingegangen. Die Ergebnisse stimmen tendenziell mit denjenigen des GuD Kraftwerkes überein (falls Gasmotor mit Katalysator und nicht Magermotor ohne Katalysator verwendet wird).

**Gasmotor-
Blockheiz-
kraftwerk**

6.3. Vergleich durchschnittlicher und marginaler Produktion

In Figur 6-2 sind die Umwelteinwirkungen der Elektrizitätserzeugung für unterschiedliche Strommixe und Indikatoren dargestellt. Bei den Ergebnissen stellt die Wasserkraft aus Schweizer Produktion eine Ausnahme dar, welche sehr tiefe Umwelteinwirkungen liefert, aber als ein aus heutiger Sicht unwahrscheinliches Szenario nicht weiter betrachtet wird.

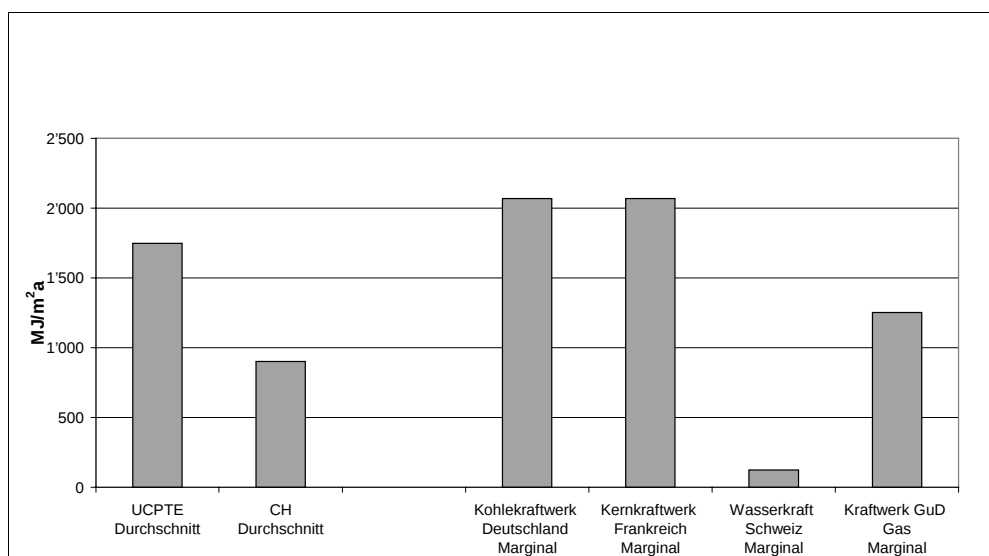
Bei der nicht erneuerbaren Primärenergie als Indikator bleibt der Schwankungsbereich verhältnismässig bescheiden. Die Grenztechnologie liegt für das deutsche Kohlekraftwerk (+20%) und das französische Kernkraftwerk (+20%) über dem durchschnittlichen UCPT-Mix und beim betrachteten Gas und Dampfkraftwerk (-30%) etwas darunter. Wesentlich grösser ist der Schwankungsbereich bereits bei den Umweltbelastungspunkten, und zwar zwischen dem deutschen Kohlekraftwerk (+78%) und dem Gas und Dampfkraftwerk (-77%). Die ausgeprägtesten Abweichungen sind beim Eco-indicator 95^{rf} festzustellen.



Figur 6-2
Umwelteinwirkungen von durchschnittlichen und marginalen Strommischen im Vergleich mit dem UCPTE-Mix für energetische und ökologische Indikatoren

6.4. Erläuterung am Fallbeispiel

Im Abschnitt 3.5.3 wurde am Fallbeispiel die Senkung der nichterneuerbaren Primärenergie pro Jahr infolge des reduzierten Energiebedarfs inkl. Herstellungsaufwand durch die Sanierung auf der Basis des UCPTE-Mixes ausgewiesen (siehe Fig. 3-8). Für die unterschiedlichen durchschnittlichen und marginalen Strommische zeigten sich die Unterschiede gemäss Figur 6-3.



Figur 6-3
Senkung der nicht erneuerbaren Primärenergie durch die Sanierung des Fallbeispiels für unterschiedliche durchschnittliche und marginale Strommische

6.5. Fazit

Durch die Sanierung des Chemiegebäudes kann der Elektrizitätsbedarf deutlich reduziert werden. Bei der Berücksichtigung marginaler Strommixe hängt die Höhe der anrechenbaren Umweltentlastung jedoch stark von der Entwicklung des Umfeldes ab.

**Umwelt-
entlastung
abhängig von
Umfeld**

Wichtige Parameter zur Bestimmung des adäquaten Grenzstrommixes sind

**Parameter für
Grenzstrommix**

- die Entwicklung des Stromverbrauchs in der Schweiz resp. in Westeuropa, und
- die Technologien, die weniger Strom für den reduzierten schweizerischen Bedarf liefern resp. den zusätzlichen Strombedarf in der Schweiz abdecken.

Je nachdem, ob die Reduktion des Betriebsstrombedarfs in einem (schweizerischen oder europäischen) Umfeld erfolgt, in welchem weniger oder mehr Strom nachgefragt wird, ist die umweltbezogene Bedeutung dieser Reduktion stark unterschiedlich.

Die bei einem insgesamt abnehmenden Strombedarf zuerst abgestellten, im Betrieb teuren und eher umweltbelastenden Kraftwerkstypen signalisieren in Ökobilanzen, dass mit Stromsparen grosse Beiträge zur Umweltentlastung möglich sind. Dies stützt die Annahme eines abnehmenden Strombedarfs.

**Szenario
abnehmender
Strombedarf**

Bei einem zunehmenden Strombedarf werden neue, relativ weniger umweltbelastende Technologien eingesetzt. In Ökobilanzen ist der Anteil der Umweltbelastung infolge Stromverbrauch und damit der Sparanreiz aus umweltlichen Gründen eher gering. Dies stützt auch hier die ausgangsgemachte Annahme.

**Szenario
zunehmender
Strombedarf**

Somit sind zwei in sich konsistente Szenarien mit gegenläufigen Aussagen möglich. Die entscheidende Frage eines (schweizerischen oder europäischen) Mehr- oder Minderverbrauchs kann nur auf politischer Ebene beantwortet werden. Ökobilanzen der Strombereitstellung können aber die dazu notwendigen umweltbezogenen Informationen bereitstellen.

**Marginale
Strommixe
als Basis für
Energiepolitik**

7. Grundlagen

7.1. Literatur

- Aebischer B., D. Spreng, J. Schwarz: „Perspektiven des Energieverbrauchs im primären und tertiären Sektor“, Arbeitsbericht, Forschungsgruppe Energieanalysen ETH Zürich, 1996 **Aebischer et al. (1996)**
- „Umweltmanagement von Hochbauprojekten“, Amt für Bundesbauten/UBS AG, 1996 **AFB (1996)**
- Lichtensteiger Th. (Hrsg.) „Ressourcen am Bau – Aspekte einer nachhaltigen ressourcenbewirtschaftung im Bauwesen“, vdf, Zürich, 1998 **Baccini et al. (1998)**
- Bundesamt für Energie „Umweltrelevanz der Haustechnik, eine Entscheidungsgrundlage“, Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31, Amstein + Walther Ingenieure AG, November 1998 **BFE (1998)**
- Binz A., G. Lehmann, M. Erb: „Ökologische Aspekte der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau“, 10. Schweiz. Status-Seminar 1998 Energieforschung im Hochbau, EMPA-KWH, Zürich, 10. September 1998 **Binz et al. (1998)**
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft „Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 1997“, Bern, 1998 **BUWAL (1998)**
- „EKG Elementkostengliederung 1995“, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich, 1995 **CRB (1995)**
- Doka, G.: „Ökobilanzen der Entsorgung von Baumaterialien.“ In: Ökologische Bewertung von Gebäuden zwischen Forschung und Praxis, Begleitende Unterlagen zum 11. Diskussionsforum Ökobilanzen vom 1. November 1999, GEP-Pavillon, ETH Zürich, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Laboratorium für Technische Chemie, Zürich, Oktober, 1999 **Doka (1999)**
- Köhler R.: „Schweizer Energiefachbuch 1999“, 16. Jahrgang, Künzler-Bachmann, St. Gallen, 1999 **Energiefachbuch (1999)**
- „Rating e-top, Nachhaltiges Bauen“, Energie 2000, 1999 **Energie 2000 (1999)**
- Richter K., K. Brunner, H. Bertschinger (1996): „Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern; Integraler Vergleich verschiedener Verglasungsvarianten“, im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Forschungsprogramm rationelle Energienutzung in Gebäuden, EMPA Abt. Holz, Dübendorf, 1996 **EMPA (1996)**
- Zahn H.: „Typological Evolution of Office Buildings in Switzerland“, Office Project, EPFL, 1999 **EPFL (1999)**

- Roulet C.-A.: „Some Past and Running Retrofit Activities in Switzerland“, Office Project, EPFL, 1999 **EPFL (1999a)**
- Erb M., M. Fahner, G. Lehmann, A. Regennass: „Nachhaltiger Wohnungsbau“, Diplomarbeit am Nachdiplomstudium Energie der FHBB, MuttENZ, 1997 **Erb et al. (1997)**
- Weibel T., A. Stritz: „Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baustoffen“, ESU-Reihe 1/95, Institut für Energietechnik, ETH Zürich, 1995 **ESU (1995)**
- Planergemeinschaft „ETH Zürich Zentrum, Chemie-Altbauten: Sanierung und bauliche Anpassung für die neue Nutzung, Phase 1 Vorprojekt, August 1998 **ETH (1998)**
- Planergemeinschaft „ETH Zürich Zentrum, Chemie-Altbauten: Sanierung und bauliche Anpassung für die neue Nutzung, Phase 2 Bauprojekt, April 1999 **ETH (1999)**
- Frischknecht, R., P. Hofstetter: „Rückzahl-dauer bei vorzeitigem Ersatz; Theoretisches Modell und Beispiele für Ökobilanzen“, ESU-Reihe 2/93, Institut für Energietechnik, ETH Zürich, 1993 **Frischknecht et al. (1993)**
- Frischknecht, R. (Hrsg.); U. Bollens; S. Bosshart, M. Ciot, L. Ciseri, G. Doka, R. Dones, U. Gantner, R. Hirschier, A. Martin: „Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz“. Herausgegeben vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) im Rahmen des Forschungsprogramms „Energiewirtschaftliche Grundlagen“. 3., überarbeitete Auflage. Hybrid-CD-Rom für MacOS und Windows. Bern, 1996. **Frischknecht et al. (1996)**
- Frischknecht R., R. Heijungs, P. Hofstetter: „Einstein's Lessons for Energy Accounting in LCA“, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol.3, No.5 1998 **Frischknecht et al. (1998)**
- Frischknecht, R.: „Life Cycle Inventory Analysis for Decision-making; Scope-dependent Inventory System Models and Context-specific Joint Product Allocation“. ETH-Dissertation No. 12599, Zürich. **Frischknecht (1998a)**
- Frischknecht, R.: „Der Einfluss des Strommodells auf die Umweltbilanz von Wärmepumpen“, Bereich Umgebungswärme/ WKK, Bundesamt für Energie, Bern **Frischknecht (1998b)**
- Goodland, R.: „The Concept of Environmental Sustainability“, Annu. Rev. Ecol. Syst. 1995. 26:1-24. **Goodland (1995)**

Mauch S. et al.: „Quantitative Aspekte einer zukunftsfähigen Schweiz“, Arbeitsbericht, Infrac, Zürich, 1995	Infrac (1995)
„Kennzahlen zur Bewirtschaftung von Bauwerken (KBB), IPB - Flächenmodell und IPB – Kennzahlen“, Vernehmlassungsexemplar, Interessengemeinschaft professioneller Bauherren, 03. Februar 1999	IPB (1999)
„Ökologische Bauerneuerung – Methodischer Weg zur Umsetzung ökologischer Anliegen“, IP-Bau, EDMZ Nr. 724.481d 1995	IP-Bau (1995)
Ménard M., R. Dones, U. Gantner: „Strommix in Ökobilanzen; Auswirkungen der Strommodellwahl für Produkt- und Betriebs-Ökobilanzen“, Projekt GaBE, Paul Scherrer Institut Villigen, 1998	Ménard et al. (1998)
Mittag M. „Normalherstellungskosten von Gebäuden, Kommentar zu den NHK 95“, GESBIG Sächsisches Bauinstitut, Dresden, 1998	Mittag (1998)
Ninck M. „Zauberwort Nachhaltigkeit“, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 1997	Ninck (1998)
Prognos AG „Energieperspektiven der Szenarien I bis III 1990 – 2030“, Synthesebericht, Bundesamt für Energiewirtschaft, November 1996	Prognos (1996)
Sarnafil AG „Die 2000-Watt-Gesellschaft, ETH Strategie zur Nachhaltigkeit“, Referate zur Sarnafil-Plattform, 14. September 1999	Sarnafil (1999)
P. Steiger, Intep AG: „Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten“, SIA Dokumentation D 0123, Zürich, 1995	SIA (1995)
Koch, P., W. Ott, B. Seiler, A. Lalive d'Epinay, D. Gilgen, H. Gugerli: „Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich; Ein Leitfaden für das Planungsteam“, im Auftrag des Bundesamtes für Energie, SIA Dokumentation D 0152, Zürich, 1998	Koch et al. (1998)
„Nachhaltige Entwicklung der gestaltbaren Umwelt“, SIA Koordinationsgruppe Schwerpunktthema Nachhaltigkeit, SI+A, Nr. 3, 22. Januar 1999 und Nr. 4, 29. Januar 1999	SIA (1999)
Zimmermann M.: „Energie im Gebäude des 21. Jahrhunderts“, Artikel in Zeitschrift SI+A Nr. 19, 1991	SI+A (1991)
UBS Suglio, Fachgruppe Nachweis, Schlussbericht, Zürich, September 1999, unveröffentlicht	UBS (1999)
Wokaun A.: Persönliche Mitteilung vom 23.02.99, Paul Scherrer Institut Würenlingen	Wokaun (1999)

7.2. Glossar

Die ökologischen Auswirkungen der Herstellung und Entsorgung eines Bauteils und die sich dadurch verändernde Betriebsenergie werden als Summenkurve über die Lebensdauer dargestellt. Auf der Abszisse wird die Zeit in Jahren aufgetragen, auf der Ordinate die ökologische Belastung. Die Variante mit der tiefsten Belastung am Ende des Lebenszyklus' schneidet ökologisch am günstigsten ab.

Lebenslinien-Diagramm

Die nichterneuerbare Primärenergie ist ein Indikator für die mit heutiger Technik aus nichterneuerbaren Ressourcen nutzbare Energie. Alle weiteren Aspekte wie Verfügbarkeit, Nachfrage, Substitutionsmöglichkeiten etc. werden nicht bewertet. Der Indikator umfasst:

Nichterneuerbare Primärenergie

- Fossile Energieträger, aggregiert auf der Basis des Bedarfs an fossilen Ressourcen und gewichtet mit ihrem oberen Heizwert.
- Uran, aggregiert auf der Basis des Bedarfs an spaltbarem Uran und gewichtet mit der in einem modernen Leichtwasserreaktor gewinnbaren Energiemenge.
- Nicht-nachhaltig genutzte Biomasse, aggregiert auf der Basis der geernteten Biomasse und gewichtet mit ihrem oberen Heizwert.

Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf dem Prinzip "Distance-to-target". Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert.

Umweltbelastungspunkte '97

Die Ermittlung der Umwelteinwirkungen (Klassifizierung) wird nur für klimarelevante und ozonschichtabbauende Substanzen sowie für die Primärenergie (sowie für die beiden Säuren HCl und HF) durchgeführt. Ansonsten werden die Emissionen und Abfallmengen direkt aus der Sachbilanz gewichtet.

Die Ökofaktoren bzw. Umweltbelastungspunkte (UBP) werden pro Gramm betrachteter Stoff angegeben. Die Umweltbelastungspunkte sind in die folgenden vier Kategorien gegliedert:

- Emissionen in die Atmosphäre,
- Emissionen in Oberflächengewässer,
- Emissionen in Boden und Grundwasser (inkl. Kategorie Abfälle) und
- Ressourcen (Primärenergie).

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Gewichtung der in einer Sachbilanz erfassten Grundlagendaten. Die Methode wurde erstmals 1990 publiziert. Für diese Arbeit wird der im Jahr 1998 aktualisierte und erweiterte Datensatz verwendet (BUWAL 1998).

Der Eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) beruht ebenfalls auf dem Prinzip "Distance-to-target" und erlaubt die Bewertung einer Vielzahl von Luft- und Wasserschadstoffen. Dabei werden in einem ersten Schritt die aus der Sachbilanz resultierenden Emissionen in Umweltauswirkungsklassen wie Treibhauseffekt, Versäuerung, etc. zusammengefasst (Klassifizierung) und gemäss ihrer Wirkung innerhalb der entsprechenden Umweltauswirkungsklasse gewichtet addiert (Charakterisierung). Danach erfolgt eine wirkungsübergreifende Gewichtung auf der Basis des Schadenausmasses.

Eco-indicator
'95

Die Anpassungen in der Bewertungsmethode Eco-indicator 95 erfolgen auf verschiedenen Ebenen (Frischknecht 1998: S. 127ff.). Erstens werden zusätzliche Schadstoffe und/oder zusätzliche Charakterisierungsfaktoren eingeführt. Zweitens wird eine neue Wirkungskategorie "Emission radioaktiver Isotope" dem bestehenden Set von Wirkungskategorien zugefügt. Drittens basieren die Normalisierungswerte (die Werte der jährlichen europäischen Emissionen) auf neueren Datenquellen und viertens werden die Reduktionsfaktoren dahingehend geändert, dass die relative Gewichtung der Schadstoffe zueinander derjenigen entspricht, wie sie aktuellen Europäischen Externalitäten-Studien entnommen werden können.

Eco-indicator
95^{tr}

Anhang

Zusammenfassung	i
Summary	vii
1. Einleitung	1
2. Ökologische Sanierung von Bürobauten	9
3. Sanierung und deren Bilanzierung am Fallbeispiel	17
4. Allokation von Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastungen	26
5. Wahl des richtigen Ersatzzeitpunktes	36
6. Verwendung marginaler Strommixe	42
7. Grundlagen	47
Anhang	1
A1. Ressourcenorientierte Nachhaltigkeitsdefinition	1
A2. Sanierungsbeispiele	1
A3. Typische Sanierungsmassnahmen aus ökologischer Sicht	1
A4. Allokation Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastung	1
A5. Fallbeispiel Fassadensanierung	1

A1. Ressourcenorientierte Nachhaltigkeitsdefinition

Der Darstellung im Kapitel 2.1 „Nachhaltigkeit im Prozess Büroarbeit“ liegt eine ressourcenorientierte Definition der Nachhaltigkeit zu Grunde, die auf den Überlegungen aus Erb et al. 1997 basiert. Die verwendeten Zahlen beziehen sich auf die schweizerische Gesamtenergiestatistik 1997.

1. Der Gesamtenergieverbrauch wird auf Stufe Endenergie erfasst. Da der Prozess „Büroarbeit in der Schweiz“ untersucht wird, muss die Graue Energie, die in den importierten Gütern steckt, mitberücksichtigt werden.

- Gesamtverbrauch an chemischer Energie (Brenn- und Treibstoffe) in der Schweiz: 844 PJ/a
- Gesamtverbrauch an elektrischer Energie in der Schweiz: 202 PJ/a

2. Damit kann der heutige Verbrauch des Prozesses „Büroarbeit“ ermittelt werden. Die Betriebsenergie wird in Aebischer 1996 über die Multiplikation von Energiebezugsfläche mit geschätzter Energiekennzahl errechnet.

- Wärmeverbrauch in Bürobauten:
28 Mio. m² à (450 bis 650) MJ/m²a → 16.32 PJ/a
- Elektrizitätsverbrauch in Bürobauten:
28 Mio. m² à (150 bis 500) MJ/m²a → 7.82 PJ/a

Dazu kommt der Anteil an Grauer Energie für Bau, Erneuerung und Rückbau der Bausubstanz. Es wird hier von einer baulichen Analogie zum Wohnungsbau ausgegangen:

- Graue Energie (chemisch)
28 Mio m² à 50 MJ/m²a → 1.40 PJ/a
- Graue Energie (elektrisch)
28 Mio m² à 8 MJ/m²a → 0.22 PJ/a

3. Es wird davon ausgegangen, dass der Prozess „Büroarbeit“ in Zukunft den gleichen Prozentsatz am Gesamtverbrauch wie heute beanspruchen darf. In Zukunft soll jedoch der Energiebedarf nur noch mit erneuerbaren Ressourcen gedeckt werden. Somit stehen dem Prozess „Büroarbeit“ folgende Anteile an erneuerbarer Energie zur Verfügung:

- Chemische Energie
(16.32+1.40) PJ/a / 844 PJ/a → 2.1%
- Elektrische Energie
(7.82+0.22) PJ/a / 202 PJ/a → 4.0%

4. Nun wird das Angebot an nachhaltigen (erneuerbaren) Energiequellen ermittelt. Dieses besteht heute vor allem aus Wasserkraft und Holz sowie marginalen Anteilen an Windkraft und anderer Biomasse. Dezentrale Sonnenenergienutzung ist nicht im Angebot enthalten, sondern wird unter Punkt 6 als Verbrauchsreduktion deklariert. Da das Wasserkraft-

angebot in der Schweiz 3 bis 4 mal grösser ist als im übrigen Europa (UCPTE-Raum), muss zwischen Systemgrenzen CH oder UCPTE unterschieden werden.

- Gesamtes Angebot erneuerbarer Energien in der Schweiz:
136 PJ/a (19 PJ/a Biomasse [=chemisch], 117 PJ/a Elektrizität)
- Gesamtes Angebot erneuerbarer Energien in Europa (für die Schweiz):
49 PJ/a (19 PJ/a Biomasse, 30 PJ/a Elektrizität)

5. Am Objekt wird eine Verbrauchsreduktion durch Energiesparmassnahmen wie z.B. besserer Wärmeschutz, effizientere Haustechnik oder die Verwendung 'sanfterer' Baustoffe erzielt. Dadurch können die Energiekennzahlen eines Bürobaues drastisch gesenkt werden:

- Beispiel Unitobler Bern $E_w = 118 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ $E_e = 94 \text{ MJ/m}^2\text{a}$
- Beispiel WWF-Gebäude Zürich $E_w = 207 \text{ MJ/m}^2\text{a}$
- Durchschnitt CH (Aebischer 1996) $E_w = 580 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ $E_e = 280 \text{ MJ/m}^2\text{a}$

6. Zwischen dem Angebot (Punkt 4) und der Nachfrage (Punkt 5) klafft jedoch immer noch eine grosse Lücke. Die Umlegung des Modells auf die schweizerischen Bürobauten mit Energiebezugsfläche von 28.0 Mio m^2 verdeutlicht dies:

- Systemgrenzen CH
Angebot chemisch: $14 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ Angebot Elektrizität: $167 \text{ MJ/m}^2\text{a}$
Nachfrage chem.: $118 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ Nachfrage Elektrizität: $94 \text{ MJ/m}^2\text{a}$
- Systemgrenzen UCPTE
Angebot chemisch: $14 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ Angebot Elektrizität: $43 \text{ MJ/m}^2\text{a}$
Nachfrage chem.: $118 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ Nachfrage Elektrizität: $94 \text{ MJ/m}^2\text{a}$

(Bei diesen beiden Beispielen wurde auf der Nachfrageseite die Graue Energie vernachlässigt.)

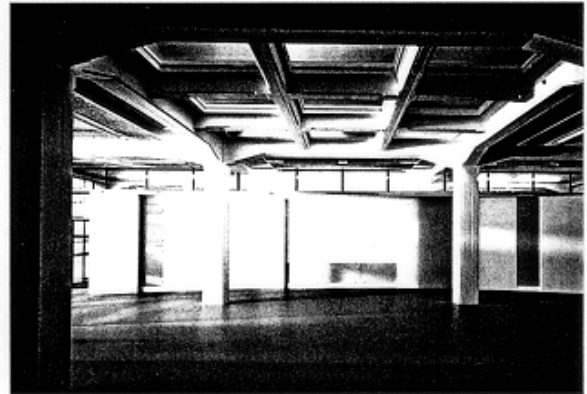
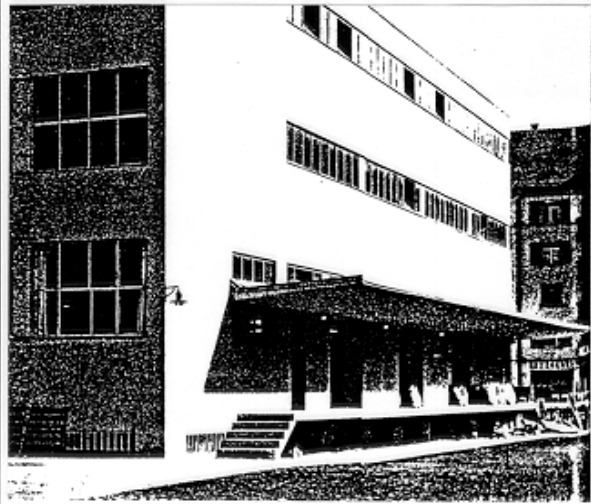
Dieses Manko an erneuerbarer Energie kann nun - falls vorhanden - mit dem Zubau dezentraler Sonnenenergienutzung ausgeglichen werden. Thermische Sonnenkollektoren oder Photovoltaik eignen sich dafür besonders gut, weil sie kurze energetische Rückzahlfristen aufweisen und die Bilanz somit kaum zusätzlich belasten.

7. Gebäude sind äusserst langlebige Produkte. Zur Ermittlung einer genauen Sachbilanz muss deshalb zwingend das Verhalten über den gesamten Lebenszyklus des Objektes betrachtet werden. Dabei werden sich aber viele der zugrundegelegten Rahmenbedingungen verändern. Beispielsweise kann davon ausgegangen werden, dass ein angebotsseitiger Ausbau der erneuerbaren Energien stattfinden wird oder aber der technologische Fortschritt gebäudeseitig zu einer Nachfragereduktion führen werden. Grundsätzlich wird daher in Zukunft strenge Nachhaltigkeit im oben beschriebenen Sinne leichter zu erreichen sein als heute.

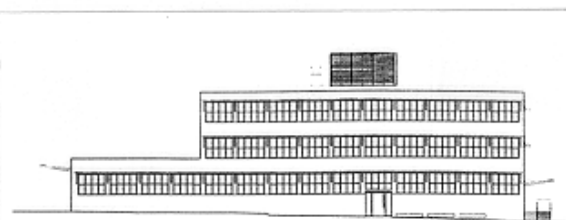
A2. Sanierungsbeispiele

Objekt: Umnutzung WWF Gebäude Zürich

FOTOS



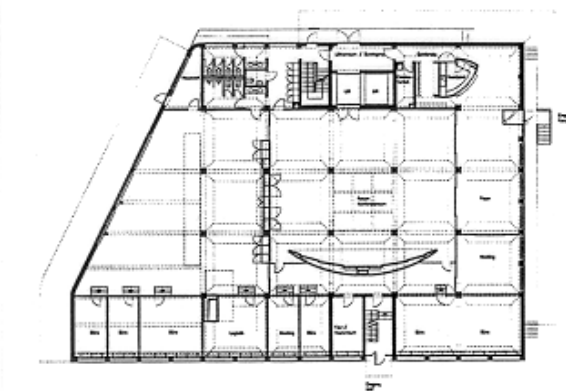
PLÄNE



SÜDSEITEFAÇADE

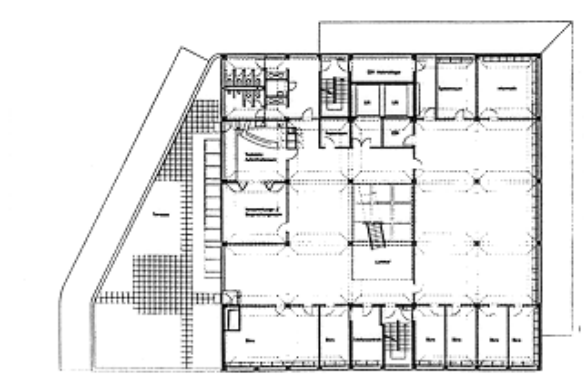


LÄNGSSCHNITT



ERGEGESCHOSS

61



1. UBERGESCHOSS

62

Objekt:	Umnutzung WWF Gebäude Zürich
----------------	-------------------------------------

Allgemeiner Beschrieb:

- denkmalgeschützter Bau („Neues Bauen“)
- Sanierung und Umnutzung Lagerhaus zu Bürobau
- Lagerhaus war reiner Zweckbau, mit Betontragwerk
- Lichthof / Glasoblichter
- Bewahrung der architektonischen Gestaltung
- Büro- und Konferenzräume

Steckbrief:

- | | |
|---|---|
| – Adresse | Hohlstrasse 110, 8004 Zürich |
| – Baujahr / Umbaujahr | 1931 / 1994 |
| – Sanierung / Umnutzung | Sanierung / Umnutzung Lagerhaus in Büro- und Geschäftsgebäude |
| – Grösse (m ² EBF; m ³ Volumen) | 2'900 m ² / 15'000 m ³ |
| – Anzahl Arbeitsplätze | ? |
| – Kontaktperson | Dr. Jutta Schwarz (Bauökologiekonzept) |

Gebäudehülle (Konstruktionsaufbau / Sanierungsmassnahmen):

- | | |
|----------------|--|
| – Fassade | Aussendämmung auf Beton mit Steinwolle 4 cm und Kalkputz, z.T. TWD |
| – Dach | Flachdach |
| – Verglasungen | $k_{\text{Glas}}=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, Metallrahmen (spez. Profile) |
| – Sonstiges | Vergrösserung der Fenster (mehr Tageslicht) |

Haustechnik:

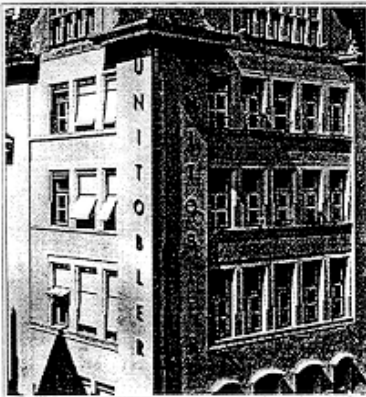
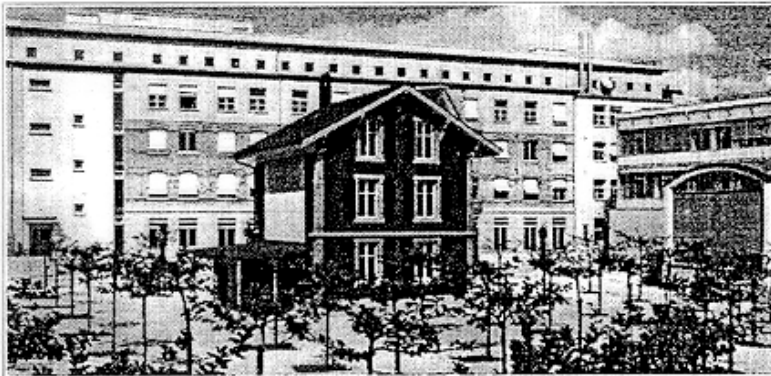
- | | |
|--|---|
| – Energiekonzept | Kombination von WP, BHKW und Kessel |
| – Energiekennzahlen E_h , E_{ww} , E_e | vorher: ?? nachher: $E_h=207 \text{ MJ/m}^2\text{a}$, $E_e=6 \text{ W/m}^2$ |
| – Heizung | WP mit Dach-Solekollektor/Kessel mit Abgaskond. neue WD der Leitungen, best. Radiatoren |
| – Erzeugung, Verteilung, Abgabe | |
| – Lüftung/Kühlung | vorallem durch Fenster, z.T. mechanisch mit WRG natürliche Nachtauskühlung |
| – Warmwasser | tagsüber mit Zirkulation |
| – Elektrizität | Strombezug aus Windkraftanlage (+ 38 Rp./kWh) |

Spezielle bauökologische Aspekte:

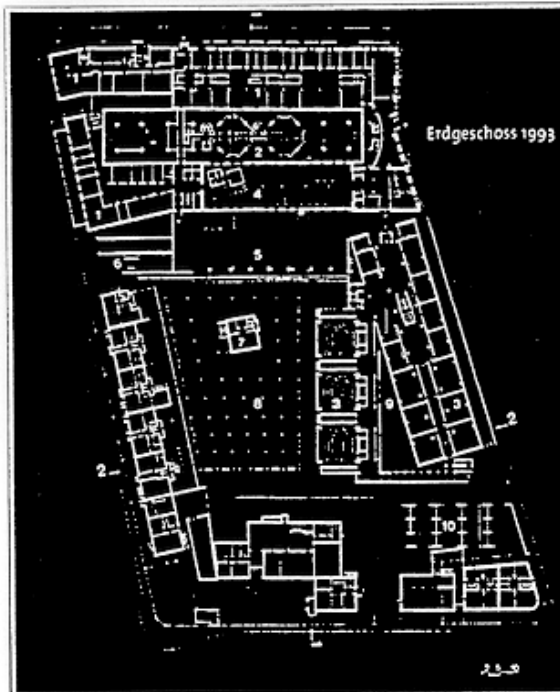
- | | |
|-------------------------------------|---|
| – Baustoffe / Recycling / Bauablauf | nur Verwendung ökologischer Materialien |
| – Tageslicht | 300 statt 500 lux |
| – Wassersparmassnahmen | ? |
| – Baubiologie / Arbeitsklima | Verwendung giftklassefreier Farben und dgl. |
| – Kontext / Erschliessung | Im Innenhof einer Blockrandbebauung |
| – Erfahrung der Belegschaft | ? |
| – Sonstiges | Rückbaukonzept auf Baustelle |

Objekt: Umnutzung Uni-Tobler Bern

FOTOS



PLÄNE



Objekt:	Umnutzung Uni-Tobler Bern
----------------	----------------------------------

Allgemeiner Beschrieb:

- Verzicht auf „Bau auf der grünen Wiese“
- Sanierung und Umnutzung leerstehendes Industrieareal in Universitäts-Erweiterung (Geistes- und Sozialwissenschaften)
- „Sanfte Sanierung“, Neu- und Altbauten nebeneinander
- Hörsäle, Klassenzimmer, Büros, Bibliothek, Cafeteria, usw.
- Gelungene architektonische Gestaltung
- Tiefer Energiebedarf

Steckbrief:

- | | |
|---|---|
| – Adresse | Langgassstrasse 49, 3012 Bern |
| – Baujahr / Umbaujahr | ?? / 1995 |
| – Sanierung / Umnutzung | Sanierung / Umnutzung Industrieareal in Universitätsbau |
| – Grösse (m ² EBF; m ³ Volumen) | Zwei Bürotrakte |
| – Sanierungskosten | ? |
| – Anzahl Arbeitsplätze | ? |
| – Kontaktperson | Architekten Clemencon Herren Rost, Bern |

Gebäudehülle (Konstruktionsaufbau / Sanierungsmassnahmen):

- | | |
|-----------------------|---|
| – Fassade | unterschiedlich, grösstenteils bestehend |
| – Dach | Flach- und Steildächer |
| – beheizt – unbeheizt | ? |
| – Verglasungen | ? |
| – Sonstiges | wenig Eingriffe in die bestehende Bausubstanz |

Haustechnik:

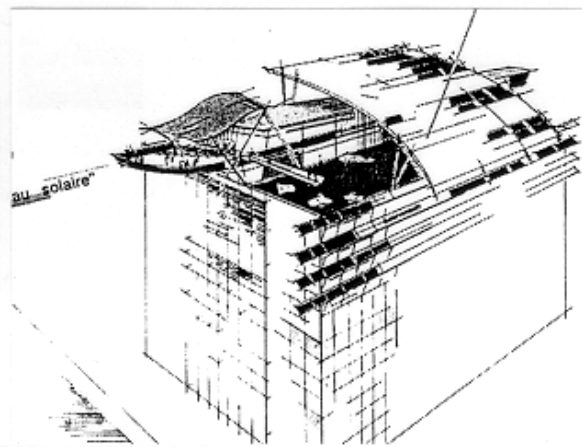
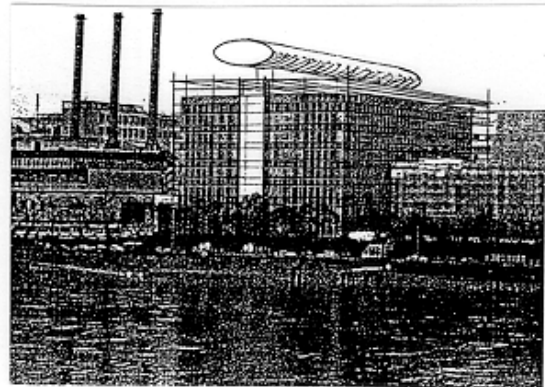
- | | |
|---|---|
| – Energiekonzept | ? |
| – Energiekennzahlen E_h , E_{ww} , E_e | vorher: ??, nachher: $E_w=118 \text{ MJ/m}^2\text{a}$, $E_e=94 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ |
| – Heizung
Erzeugung, Verteilung,
Abgabe | ? |
| – Lüftung/Kühlung | ? |
| – Warmwasser | ? |
| – Elektrizität | tiefe Beleuchtungsstärken |

Spezielle bauökologische Aspekte:

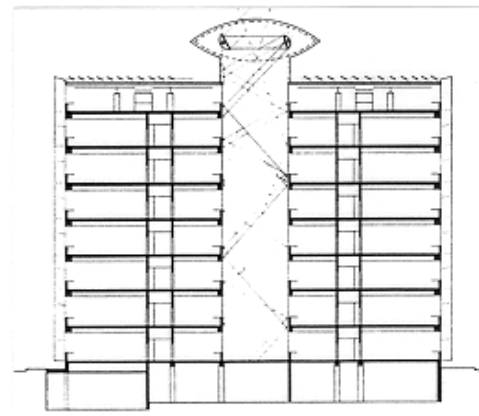
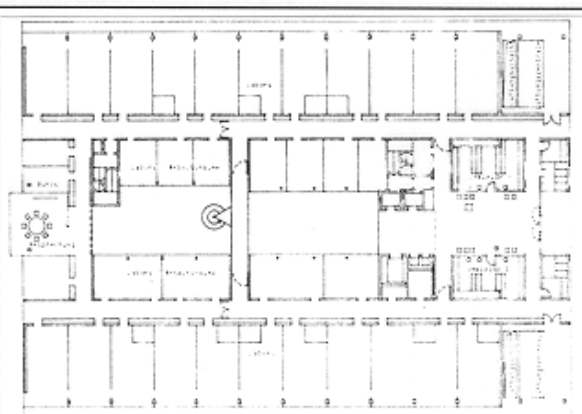
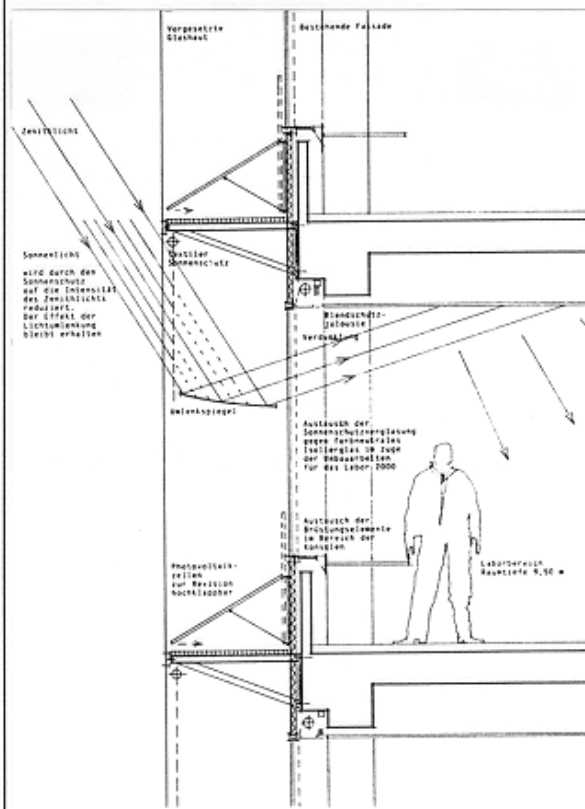
- | | |
|--|--|
| – Baustoffe / Recycling /
Bauablauf | keine Massenbilanz geführt |
| – Tageslicht | Tageslichtnutzung |
| – Wassersparmassnahmen | ? |
| – Baubiologie / Arbeitsklima | ? |
| – Kontext / Erschliessung | gut mit ÖV erschlossen, interessanter Innenhof |
| – Erfahrung der Belegschaft | ? |
| – Sonstiges | Verzicht auf Erdbebensicherheit |

Objekt: Sanierung Laborgebäude Ciba Basel

FOTOS



PLÄNE



Objekt:	Sanierung Laborgebäude Ciba Basel
----------------	--

Allgemeiner Beschrieb:

- Laborgebäude K-127 der damaligen CIBA-GEIGY AG, Werk Basel
- insgesamt 10 Wettbewerbsprojekte von interdisziplinären Teams
- bisher nicht ausgeführt
- Labor- und Büroräume
- Solare Architektur und Energienutzung
- Nur Sanierung Gebäudehülle und Haustechnik

Steckbrief:

- | | |
|---|--|
| – Adresse | Areal Klybeck, 4057 Basel |
| – Baujahr / Umbaujahr | ?? / 1996 (Wettbewerb) |
| – Sanierung / Umnutzung | Energetische Sanierung |
| – Grösse (m ² EBF; m ³ Volumen) | ? |
| – Sanierungskosten | ? |
| – Anzahl Arbeitsplätze | ? |
| – Kontaktperson | Dr. Petr Loew, Leiter Forschungsdienste CIBA |

Gebäudehülle (Konstruktionsaufbau / Sanierungsmassnahmen):

- | | |
|-----------------------|--|
| – Fassade | Hochwärmgedämmung/TWD/Glas-Doppelfassade |
| – Dach | Flachdach, z.T. mit Biotop oder Kollektoren |
| – beheizt – unbeheizt | ? |
| – Verglasungen | div. Wärmeschutzgläser mit Lichtumlenklamellen |
| – Sonstiges | Lichtumlenkung/Wasserstoff |

Haustechnik:

- | | |
|---|--|
| – Energiekonzept | diverse |
| – Energiekennzahlen E_h , E_{ww} , E_e | vorher: ??, nachher: 2-3 x tiefer |
| – Heizung
Erzeugung, Verteilung,
Abgabe | Sonnenkollektoren / Solarspeicher usw. |
| – Lüftung/Kühlung | Luftvorwärmung / Absorptionskälte usw. |
| – Warmwasser | Sonnenkollektoren |
| – Elektrizität | Eigenerzeugung durch PV |

Spezielle bauökologische Aspekte:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| – Baustoffe / Recycling /
Bauablauf | |
| – Tageslicht | Lichtumlenkung / Heliostaten usw. |
| – Wassersparmassnahmen | |
| – Baubiologie / Arbeitsklima | |
| – Kontext / Erschliessung | |
| – Erfahrung der Belegschaft | |
| – Sonstiges | |

A3. Typische Sanierungsmassnahmen aus ökologischer Sicht

A3.1 Bauvorbereitung

Nr.	EKG	Typische Sanierungsmassnahmen
B Bauvorbereitung		
B1	Rodungen, Abbrüche, Demontagen	Bauwerk als Bergwerk einsetzen Geordneter Rückbau Geräte, Möbel wiederverwenden / Bauteilbörse
C Allgemeines zu Rohbau Gebäude		
C0	Allgemeine Baustelleneinrichtung	Durch Etappierung best. Raum optimal nutzen Deponieraum bereitstellen (Materialsortierung)

A3.2 Rohbau

D Rohbau Gebäude bis OK Bodenplatte		
D3	Kanalisation im Gebäude	Trennsystem einbauen
E Rohbau Gebäude oberhalb Bodenplatte		
E0	Decken, Treppen und Balkone	Möglichst geringfügige Eingriffe Nutzlasten hinterfragen, belastete Zonen in UG anordnen
E1	Dächer	Wärmedämmung* Dachbegrünung zur Verbesserung Mikroklima und Regenwasserretention
E3 E4	Aussenwände	Aussendämmung*, Reduktion Wärmebrücken
E5	Fenster, Aussentüren Tore	Teil- oder Vollersatz Rahmen, Glasersatz Aussenliegender beweglicher Sonnenschutz $g < 0.15$ Optimierung Tageslichtnutzung Lüftungseffiziente Rahmenteilung
E6	Innenwände (Rohbau)	Wenn möglich belassen

A3.3 Installationen und Transportanlagen

Nr.	EKG	Typische Sanierungsmassnahmen
I Installationen und Transportanlagen		
I0	Starkstromanlagen	Effiziente Geräte Abschalthilfen (Sensoren, Timer) Beleuchtung optimieren Neuinstallationen halogenfrei
I1	Telekommunikations- und Sicherheitsanlagen	Neuinstallationen halogenfrei BUS-Systeme zur Materialreduktion
I2	Heizungsanlagen	Optimale Wahl Energieträger Einsatz erneuerbarer Energie Abwärmenutzung Wärmedämmung*
I3	Lufttechnische Anlagen	Wo möglich Fensterlüftung Reduktion Frischluftwechsel auf 30 m ³ /P h WRG mit grossem Wirkungsgrad Kühlung über Individuallösungen (Umluftkühler) Kältemittel mit geringem Treibhauseffekt Aktivierung Bauteilspeichermasse Wärmedämmung*
I4	Wasser- und Abwasseranlagen	Regenwassernutzung Wasserspararmaturen Wärmedämmung* Evtl. dezentrale Erwärmung (Einzelboiler)
I6	Transportanlagen	Energieeffiziente Anlagen

A3.4 Ausbau

Nr.	EKG	Typische Sanierungsmassnahmen
M	Ausbau Gebäude	
M0	Allgemeine Ausbauarbeiten	Baureinigung lösemittelfrei
M1	Trennwände und Innentüren	Türen und Zargen wiederverwenden Raumeinteilung belassen
M3	Bodenbeläge	Nur auswechseln wenn zwingend Neue Beläge unbeschichtet, reinigungsfreundlich und langlebig Raumluftqualität beachten
M4	Wandverkleidungen	Wenn möglich nur Oberflächensanierung Raumluftqualität beachten
M5	Deckenverkleidungen	Wenn möglich nur Oberflächensanierung Speichermasse freilegen (falls ohne grossen Folgeaufwand machbar) Wartungsfreundliche Systeme wählen
M6	Einbauten	Raumluftqualität beachten (Formaldehyd) Langlebige und reinigungsfreundliche Oberflächen

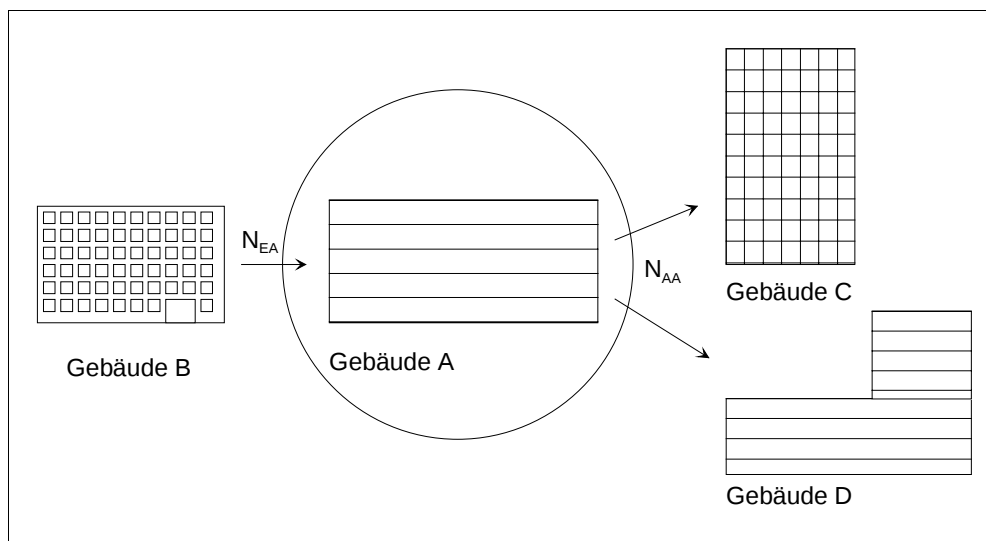
*Optimale Wärmedämmleistung und Materialwahl nach ökologischen Gesichtspunkten

A4. Allokation Infrastrukturaufwand durch bereits erfolgte Belastung

A4.1 Sanierung Gebäude

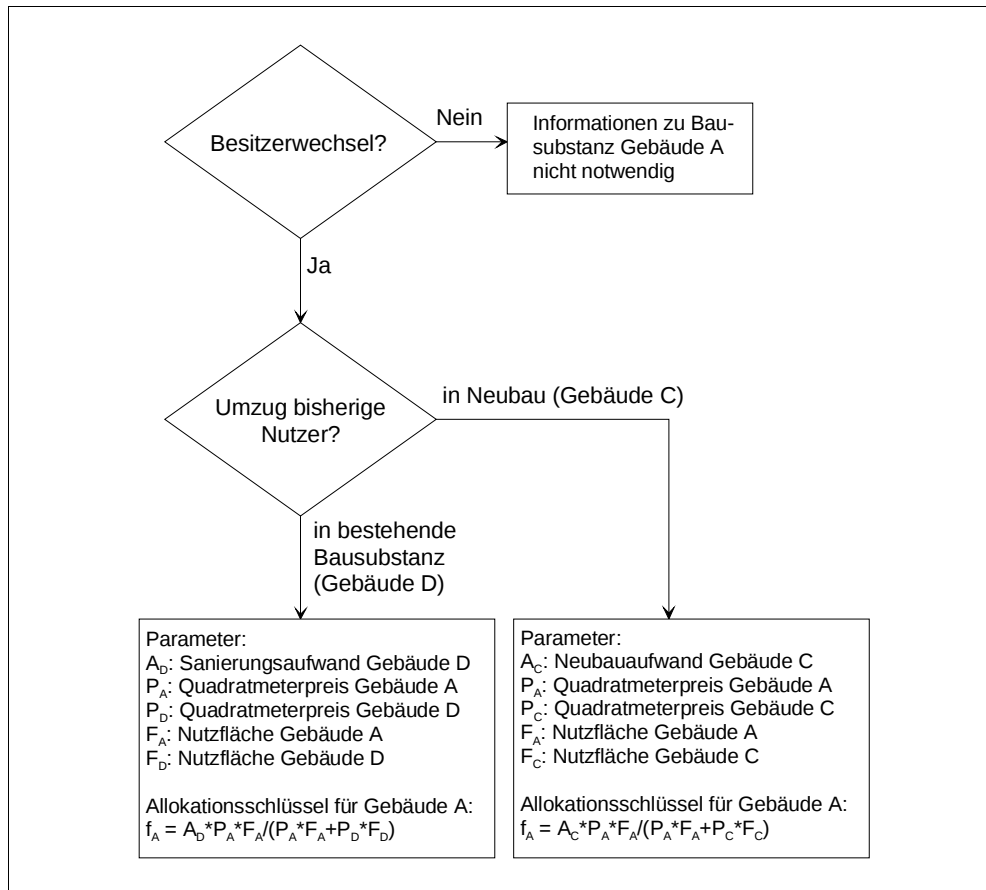
Die Frage, ob ein Gebäude (erworben und) saniert oder ein Neubau in Angriff genommen werden soll, stellt sich im Kontext verschiedenster Situationen. Der nachfolgende Entscheidungsbaum versucht dafür eine Vorgehensempfehlung zu geben. Diese geht von einer gebäudebezogenen Betrachtungsweise aus und verbindet die jeweils durch Verhandlungen um das Gebäude involvierten Akteure. Dadurch wird z.B. die durch einen Neubau in Gang gesetzte Kettenreaktion auf jeweils ein Gebäude beschränkt.

Grundlage aller Situationen ist ein bestehender, zu sanierender oder abzureissender Altbau. Dessen Nutzer will in einen zu erstellenden Neubau oder in ein zu sanierendes Gebäude umziehen. Der Nachnutzer zieht neu in den Altbau nach (siehe Figur A4-1).



Figur A4-1
Zu sanierendes
Gebäude A und
sein Umfeld

Im Zusammenhang mit der weiteren Zukunft und der Bewertung der bestehenden Bausubstanz stellen sich die folgenden Fragen (Figur A4-2):



Figur A4-2
Entscheidungs-
baum für Allokation von Neu-
aufwänden auf
bestehende Bau-
substanz des
Gebäudes A.

Ist mit dem Entscheid Sanieren oder Neubauen ein Besitzer- resp. Nutzerwechsel verbunden oder nicht? Während im ersten Fall eine Allokation der bestehenden Bausubstanz prinzipiell in Frage kommt, ist bei gleichbleibendem Nutzer keine Allokation notwendig. Ist ein Nutzerwechsel vorgesehen, so entsteht eine Verhandlungssituation, in welcher sich die Beteiligten auf eine faire Aufteilung der Umweltbelastungen, die durch die Rochaden entstehen, einigen müssen. Die Frage bei gleichbleibendem Nutzer kann direkt und analog zur Beurteilung von Sanierungen auf Bauteilebene (siehe Abschnitt 4.2.2) beantwortet werden.

Zweitens stellt sich die Frage, wohin bei Nutzer- oder Besitzerwechsel der bisherige Nutzer/ Besitzer wegzieht. Hier sind die beiden Optionen bestehende Bausubstanz oder Neubau. Prinzipiell sollen in beiden Fällen die Aufwände (entweder eine Sanierung der bestehenden Bausubstanz, oder ein Neubau) des ausziehenden Nutzers auf den Altbau und den Neubau resp. das zu sanierende Objekt aufgeteilt werden. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass der Verkauf des Altbaus es dem ausziehenden Nutzer ermöglicht, eine andere Liegenschaft zu sanieren oder einen Neubau zu erstellen. Als Mass für diese Aufteilung werden Qualitäts- und Ausmassunterschiede der betreffenden Gebäude verwendet, ausgedrückt in Quadratmeterpreisen und Nutzfläche. Damit wird ein Anteil des Sanierungs- oder Neubaufaufwands der bestehenden Bausubstanz des Altbaus und damit dem Nachnutzer zugeteilt.

Dieselbe Betrachtung kann auch für die ein- resp. ausziehenden Nutzer des Gebäudes B oder D usw. angestellt werden. Bei den Sanierungsaufwänden für das Gebäude D könnten, analog wie hier für den Fall "Neubau"

gezeigt, Anteile der Aufwände der aus dem Sanierungsobjekt D ausziehenden Nutzer für die Erstellung eines Neubaus oder für die Sanierung einer andern, bestehenden Liegenschaft berücksichtigt werden. Auf der andern Seite könnte eine Abminderung der durch den Nutzer selbst zu tragenden Sanierungs- oder Neubaufaufwänden durch Übertragen auf den neuen Nutzer des Gebäudes B erfolgen.

Da das Verhältnis der erzielbaren Quadratmeterpreise Alt- zu Neubau resp. saniertem Altbau deutlich kleiner als eins ist und gleichzeitig in der Regel bei einem Umzug eine Vergrößerung der Nutzfläche realisiert wird¹, sind diese zusätzlichen resp. abziehbaren Aufwandsanteile gegenüber den selbst zu tragenden Sanierungs- oder Neubaufaufwänden klein und kompensieren sich zumindest teilweise. Deshalb werden sie hier vernachlässigt.

A4.2 Sanierung Bauteil

Hier ist die Vorgehensweise analog zum Vorgehen bei der Fragestellung des optimalen Ersatzzeitpunktes (siehe Kapitel 5 und Frischknecht et al. 1993). Die Aufwände für das Bestehende tauchen in allen Varianten auf und fallen demzufolge in der Differenzbetrachtung weg. Somit beschränkt sich die Betrachtung auf den Entsorgungsaufwand der bestehenden, den Herstellungs- und Entsorgungsaufwand neuer Bauteile sowie allfällige Unterschiede im Betriebs- und Unterhaltsaufwand. In Tabelle 4-5 werden die Aufwände einander gegenübergestellt, wenn das heutige Bauteil belassen, saniert oder neu erstellt wird.

Variante 0: Heutiges Bauteil belassen ²	Herstellung: $A_{\text{Herstellung},0} = A_{\text{Rohstoffe},0} + A_{\text{Transport},0} + A_{\text{Bauprozess},0}$ Betrieb: $A_{\text{Betrieb},0}$ Entsorgung: $A_{\text{Entsorgung},0} = A_{\text{Abbruch},0} + A_{\text{Transport},0} + A_{\text{Deponie},0}$
Variante I: Sanierung heutiges Bauteil	Herstellung: $A_{\text{Herstellung},S} = A_{\text{Rohstoffe},0} + A_{\text{Transport},0} + A_{\text{Bauprozess},0} + A_{\text{Rohstoffe},S} + A_{\text{Transport},S} + A_{\text{Bauprozess},S}$ Betrieb: $A_{\text{Betrieb},S}$ Entsorgung: $A_{\text{Entsorgung},S} = A_{\text{Abbruch},0} + A_{\text{Transport},0} + A_{\text{Deponie},0} + A_{\text{Abbruch},S} + A_{\text{Transport},S} + A_{\text{Deponie},S}$
Variante II: Neues Bauteil	Herstellung: $A_{\text{Herstellung},N} = A_{\text{Rohstoffe},0} + A_{\text{Transport},0} + A_{\text{Bauprozess},0} + A_{\text{Rohstoffe},N} + A_{\text{Transport},N} + A_{\text{Bauprozess},N}$ Betrieb: $A_{\text{Betrieb},N}$ Entsorgung: $A_{\text{Entsorgung},N} = A_{\text{Abbruch},0} + A_{\text{Transport},0} + A_{\text{Deponie},0} + A_{\text{Abbruch},N} + A_{\text{Transport},N} + A_{\text{Deponie},N}$

Tabelle A4-3
Aufwände für
Sanierungs-
varianten.

¹ Das Departement Werkstoffe beispielsweise expandiert durch den Umzug auf den Höggerberg von heute ca. 9'800m² auf neu 12'500m² Hauptnutzfläche. Dazu kommt der anteilige Raumbedarf für eine zusätzliche Mensa, das Infocenter und ein Dozentenfoyer.

² Die Summanden repräsentieren lediglich die hauptsächlichen Prozessschritte. Daneben sind natürlich in allen drei Fällen auch z.B. Bergbauaktivitäten (Rohstoff- oder Energiegewinnung) oder Aufwänden für das Deponieren von Abfällen notwendig.

Diese Überlegungen gelten gleichermassen für Emission, weshalb im folgenden die Emissionen immer mitgemeint sind.

Ökologische Rückzahlfrist	$R_{A,I} = (A_{\text{Herstellung,S}} + A_{\text{Entsorgung,S}}) / (A_{\text{Betrieb,0}} - A_{\text{Betrieb,S}})$ $R_{A,II} = (A_{\text{Herstellung,N}} + A_{\text{Entsorgung,N}}) / (A_{\text{Betrieb,0}} - A_{\text{Betrieb,N}})$
---------------------------	--

Der Herstellungsaufwand des bestehenden Bauteils kann heute als teilweise „abgeschrieben“ gelten, muss aber nicht. Der (event. teilweise abgeschriebene) Herstellungsaufwand ist auf alle Fälle für alle drei Varianten gleich anzunehmen.

A5. Fallbeispiel Fassadensanierung

A5.1 Varianten

Bei allen drei Varianten wird eine kondensierende LowNOx-Erdgas-Heizung zur Energiebereitstellung angenommen. Der Transmissionsverlust durch die betrachteten Fassadenelemente (Nord- und Südfassade) beträgt 0.835TJ für Variante 0, 0.475TJ für Variante 1 und 0.333TJ für Variante 2.

Die Transportaufwendungen wurden mithilfe von Distanzannahmen gemäss Tab. A5-1 abgeschätzt.

	Transport LKW 28 t	Transport Schiene
Glas (Flach-) unbeschichtet	50	600
Argon ab Luftzerlegung, neu	200	
Gummi EPDM	50	200
Spanplatte	50	200
Gipskartonplatte	50	200
Mineralwolle	50	200
Aluminium 0% Rec.	50	200
Stahl unlegiert	50	600
Polystyrol schlagfest	50	200
Gusseisen	50	600

Tabelle A5-1
Distanzannahmen zur Bestimmung der Transportaufwendungen. Auf der Basis von Frischknecht et al. 1996: Teil III: Kap. 9).

A5.2 Eingabedaten

Die drei Varianten werden mit den in Tabelle A5-2 aufgeführten Eingabedaten in der Ökobilanz abgebildet. Die Grundlagendaten stammen zum grossen Teil aus den Ökoinventaren von Energiesystemen (Frischknecht et al. 1996).

	Ein- heit	Glaserersatz Entsorgung heute	Innen- bruestung Entsorgung heute	Glaserersatz Bauaufwand	Innen- bruestung Bauaufwand	Aussen- bruestung Bauaufwand	Glaserersatz Recycling heute ⁴⁾	Innen- bruestung Recycling heute ⁴⁾	Glaserersatz Recycling zukunft ⁵⁾	Innen- bruestung Recycling zukunft ⁵⁾	Aussen- bruestung Recycling zukunft ⁴⁾	Argon ab Luftzer- legung, neu ³⁾	Krypton ab Luftzer- legung ³⁾	Xenon ab Luftzer- legung ³⁾
		Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	Stk.	kg	kg	kg
Glas (Flach-) unbeschichtet	kg			14953										
Argon ab Luftzerlegung, neu	kg			36										
Gummi EPDM	kg			362										
Spanplatte ¹⁾	kg				735									
Gipskartonplatte ¹⁾	kg				8261									
Mineralwolle	kg					3197								
Nutzwaerme ab Industriefeuer.LowNOx >100 kW	TJ													
Glas in Inertstoffdeponie	kg	14660												
Aluminium 0% Rec.	kg			7089	6378	3002	6816	4416	-6816	-6133	-3122			

Tabelle A4-2:
Eingabedaten
des Anwen-
dungsbeispiels
„Fassaden-
sanierung“.

Kunststoffe in KVA	kg	255												
Stahl unlegiert	kg			286	1006		275	6845	-275	-967				
Polystyrol schlagfest	kg													
Gusseisen	kg			29	6988		27	6720	-27	-6720				
Holz unbehandelt in KVA	kg		6299											
Bausperrgut in Inertstoffdeponie	kg													
Transport LKW 28 t	tkm	0	0	1143.15	1168.4	309.95	355.9	899.05	-355.9	-691	-156.1	0	0	0
Transport Schiene	tkm	0	0	10651	7871.2	1239.8	1544.4	9022.2	-1544.4	-5838.8	-624.4	0	0	0
Strom Mittelspannung - Bezug in UCPTE	TJ											4.00E-06	7.70E-04	5.22E-03
Abwaerme in Luft p	TJ											4.00E-06	7.70E-04	5.22E-03
Sputtern Silverstar ²⁾	m ²			685										

¹⁾ Grundlagendaten aus Weibel & Stritz (1995)

²⁾ Grundlagendaten aus Richter et al. (1996:Anhang A)

³⁾ Daten aus Lehmann (1999).

⁴⁾ Gutschriften durch heutiges Recycling werden in keiner Variante gewährt. Die Angaben sind nur zur Information aufgeführt.

⁵⁾ Gutschriften in der Grundhaltung "risikofreudig". Für die Grundhaltung "risikoscheu" werden keine Gutschriften gewährt, d.h. die (negativen) Werte sind alle null.