

Nachhaltigkeitsstudie



Ökobilanzen von
Fassadenkonstruktionen
mit Naturstein und Glas

Inhaltsverzeichnis

Nachhaltig bauen mit Naturstein (Vorwort)	3
Nachhaltiges Bauen – die Sicht des Bundes	4
Einführung	5
1 Zusammenfassung der Ergebnisse	6
2 Angewandte Methodik	9
2.1 Ökobilanz Methode	9
2.2 Vorgehen	10
2.3 Untersuchungsrahmen	10
3 Ökobilanzen – Teil 1	12
3.1 Systembeschreibung „Typische Natursteinfassade“	12
3.2 Systembeschreibung „Typisches Glasfassadenbauteil“	18
3.3 Auswertung „Typische Naturstein- und Glasfassaden“	21
4 Ökobilanzen – Teil 2	25
4.1 Systembeschreibung „Elementierte Natursteinfassade“	25
4.2 Systembeschreibung „Option Glasfassade“	29
4.3 Systembeschreibung „Option Natursteinfassade“	31
4.4 Auswertung: „Fassadenvarianten mit Naturstein und Glas am Beispiel des Frankfurter OpernTurms“	34
5 Ökonomische Betrachtungen	38
5.1 Grundlagen	38
5.2 Untersuchte Fassadenvarianten	39
5.3 Ergebnisse	39
5.4 Diskussion der Energiekosten	41
6 Anhang	40

Nachhaltig bauen mit Naturstein

Naturstein steht für Werterhaltung und Solidität. Dies sind Aspekte, die auch in der aktuellen Architektur einen hohen Stellenwert haben. Naturstein ist nicht nur der bevorzugte Baustoff unserer Vorfahren, er ist auch ein wesentlicher Bestandteil der modernen Architektur. Neue Bearbeitungsmethoden und Entwicklungen in der Steintechnik lassen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere ästhetisch anspruchsvolle Fassaden, entstehen.

Die Nachhaltigkeit von Gebäuden ist zu einem wichtigen Thema geworden und mit der Herausgabe des „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ hat die Bundesregierung klare baupolitische Ziele vorgegeben, um den CO₂-Ausstoß in Deutschland in den kommenden Jahren merklich zu senken. Der Energieverbrauch von Gebäuden verursacht einen wesentlichen Anteil am CO₂-Ausstoß, und zur Verringerung der Umweltbelastung sind nachhaltige und energieschonende Bauweisen erforderlich.

Natürliche Baustoffe wie Naturstein rücken damit wieder in den Vordergrund: Für die Herstellung des Natursteins ist keine Energie notwendig, er wird uns von der Natur zur Verfügung gestellt. Lediglich bei der Gewinnung und Bearbeitung wird Energie verbraucht. Bei heimischen Gesteinsvorkommen sind zudem die Transportwege kurz.

Aktuelle Berichte belegen, dass Massivbauweisen deutliche Vorteile gegenüber Glaskonstruktionen haben: So veröffentlichte der Bayerische Oberste Rechnungshof eine Empfehlung, die besagt, dass Glasfassaden in Planung, Bau und Betrieb aufwendiger und teurer sind und nur noch in begründeten Ausnahmefällen zur Ausführung kommen sollten. Das Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt stellte fest, dass Gebäude mit Glasfassaden im Energiebedarf lediglich das Niveau ungedämmter Altbauten erreichen.

Diese eindeutigen Fakten und das verstärkte Interesse an nachhaltigem Bauen haben uns bewogen, das renommierte Institut PE International mit einer Ökobilanzstudie zu Fassadenvarianten in Naturstein und Glas zu beauftragen.

In dem folgenden Bericht werden die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Natursteinfassade in einem Screening-Verfahren über den gesamten Lebenszyklus betrachtet und mit den Auswirkungen einer Glasfassade verglichen.

Mit dem Wunsch, die nachhaltige Bauweise zu fördern, empfehlen wir diese Dokumentation dem Interesse der Fachwelt und Öffentlichkeit.



Joachim Grüter
Präsident des Deutschen Naturwerkstein-Verbands e.V.



Nachhaltiges Bauen – die Sicht des Bundes



Im Koalitionsvertrag hat sich die Bundesregierung dazu verpflichtet, die nationale Nachhaltigkeitsstrategie im bewährten institutionellen Rahmen weiterzuentwickeln.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat dabei die Aufgabe übernommen, die Qualität des Bauens durch eine stärkere Vernetzung mit Nachhaltigkeitsüberlegungen zu verbessern und bei den eignen Bauten mit gutem Beispiel voranzugehen. Dazu hat das BMVBS gemeinsam mit den interessierten Kreisen am runden Tisch Nachhaltiges Bauen und der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen die Grundlagen und Vorgaben zur Bewertung von nachhaltigen Gebäuden

fortentwickelt. Der Vorschlag erlaubt, die Gebäudequalität auf wissenschaftlicher Basis weitestgehend mit quantitativen Methoden umfassend zu beschreiben und zu bewerten. Seit Dezember 2009 ist das Bewertungssystem über die Internetseiten des Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMVBS www.nachhaltigesbauen.de für Architekten, Planer, Bauherren und sonstige beruflich Interessierte frei zugänglich. Damit steht ein wissenschaftlich fundiertes, ganzheitliches und quantitatives Bewertungsverfahren für Büro- und Verwaltungsgebäude zur Verfügung, das eine ausgewogene Bewertung der verschiedenen Dimensionen und Aspekte der Nachhaltigkeit ermöglicht. Eine wesentliche Grundlage bildet dabei die Lebenszyklusanalyse, die Verfahren der Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenrechnung mit einbezieht. Aktuelle Bauvorhaben des Bundes nehmen bereits auf die Inhalte des Systems Bezug. Weiterhin arbeitet der Bund mit Trägern öffentlicher Belange und der Wohnungswirtschaft an der Übertragung der Nachhaltigkeitssysteme auch auf Wohngebäude, Schulen und Ingenieurbauwerke.

Transparente, überprüfbare sowie umwelt- und gesundheitsbezogene Informationen zu Bauprodukten sind die Voraussetzung für die Gebäudebewertung. Mit der gegenwärtig immer noch in der Diskussion befindlichen Bauproduktenverordnung der EU sollen darüber hinaus Bauprodukte hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit genauestens eingeschätzt werden können. Umweltproduktdeklarationen sind in diesem Zusammenhang ein wertvolles Mittel, um die Ressourceneffizienz nachweisbar zu machen. Sie beruhen auf einem international abgestimmten Deklarationsraster, das insbesondere gleiche Rand- und Rahmenbedingungen sowie Umwelt- und Gebrauchsindikatoren wie zum Beispiel den Beitrag eines Produktes zum Treibhauseffekt oder zum Abbau der Ozonschicht definiert.

Transparente Informationen zur Ökobilanz von Bauprodukten leisten einen maßgeblichen Beitrag zur Umsetzung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Das verbindet die Bemühungen der Wirtschaft und des BMVBS.

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner
Ministerialrat

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Leiter des Referats B 13 „Bauingenieurwesen, Nachhaltiges Bauen, Bauforschung“

Einführung

Das nachhaltige Bauen hat in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Unter nachhaltigem Bauen werden unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten durchgeführte Planungs- und Bauprozesse und Immobilienmanagement verstanden.

In Deutschland wird seit 2001 am eigens vom Bundesbauministerium gegründeten „runden Tisch Nachhaltiges Bauen“ an Grundlagen und Leitregeln gearbeitet. Ein Ergebnis der Arbeit ist beispielsweise der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundesbauministeriums, der als Planungsleitfaden bei öffentlichen Bauvorhaben anzuwenden ist. Besonders durch die Aktivitäten der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen wurde ein Zertifizierungssystem für nachhaltig geplante und ausgeführte Gebäude entwickelt.

Das Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen beinhaltet einen etwa 50 Kriterien umfassenden Kriterienkatalog, der eine Vielzahl von Themen für Planer, Architekten, Bauherren etc. quantifizierbar macht.

International wird nachhaltiges Bauen oftmals mit dem Begriff „Green Building“ gleichgesetzt. In England existiert ein solches Zertifizierungssystem bereits seit vielen Jahren. Das BREEAM-System bewertet ebenfalls die ökologische Gebäudeperformance und bezieht soziale und Gesundheitsthemen mit ein, jedoch wird die ökonomische Performance nicht bewertet. In den USA ist das LEED-System vom US Green Building Council entwickelt worden. Das System wird inzwischen auch außerhalb der Vereinigten Staaten für die Planung energieeffizienter und ökologischer Gebäude angewandt. Auch das LEED-System verwendet bislang keine Gesamt-Gebäude-Ökobilanz zur Bewertung der ökologischen Performance eines Gebäudes, sondern stützt die ökologisch motivierte Materialauswahl auf die Bewertung einzelner Eigenschaften. Beispielsweise wird im LEED-System eine Wertung für Materialien und Bauprodukte vergeben, die weniger als 800 km zur Baustelle transportiert werden.

		
GOLD	PLATIN	OUTSTANDING EXCELLENT
SILBER	GOLD	VERY GOOD
BRONZE	SILBER	GOOD

Die ökologische Qualität eines Gebäudes wird besonders über eine gute Ökobilanz des Gebäudes bestimmt. Die Fassade bestimmt einen wesentlichen Anteil der ökologischen Qualität und ist insbesondere für den Heizungs- und Kühlungsbedarf eines Gebäudes von entscheidender Bedeutung. Die Ökobilanz eines Gebäudes bezieht ökologische Auswirkungen während der Herstellung, Nutzung, Entsorgung und des Recyclings mit ein. Eine lebenszyklusbezogene Betrachtung und Bewertung der ausgeführten Bauwerke ist somit elementarer Bestandteil nachhaltiger Planung.

Im Rahmen der Planung und Ausführung des OpernTurm in Frankfurt am Main wurde eine Zertifizierung nach dem LEED-Standard angestrebt. Die Planung des OpernTurm sah ursprünglich eine Glasfassade vor. Im Verlauf von Variantenvergleichen hat man sich auf die nun ausgeführte Natursteinfassade geeinigt. Aufgrund der verwendeten Natursteinfassade erhielt der OpernTurm als eines der ersten Bürogebäude Europas den begehrten LEED-Standard des U.S. Green Building Council in Gold. Diese Fassade trägt laut Aussage der Fachplaner wesentlich zur guten Energiebilanz des Gebäudes bei.

1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Nachhaltigkeitsstudie zeigt, dass Fassadenkonstruktionen mit Naturstein erhebliche ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber Glaskonstruktionen aufweisen. Der Weg zu nachhaltigen Gebäuden mit den begehrten Zertifizierungen der DGNB oder LEED führt im Fassadenbau über geschlossene, wärme gedämmte Außenwände mit Bekleidungen aus Naturstein.

Teil 1 – „Fassadenvarianten in Naturstein und Glas“

Im ersten Teil der von PE International erstellten Studie wird eine typische Natursteinfassadenkonstruktion nach DIN 18516-3 mit einer Glasfassadenkonstruktion auf der Basis eines Quadratmeters Fassadenfläche verglichen.

Über den Zeitraum von 100 Jahren zeigt die Natursteinfassade deutliche ökologische Vorteile gegenüber einer Glasfassade. Zusammenfassend ist festzustellen, dass Natursteinfassaden sowohl in der Herstellung als auch in der Nutzungsphase wesentlich weniger Primärenergie benötigen als Glaselemente sodass über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, für Glasfassaden mehr als das Dreifache an Primärenergie aufgewendet werden muss.

Wird die Herstellung separat betrachtet, so zeigt sich, dass die Glasfassade einen etwa doppelt so hohen Bedarf an energetischen Ressourcen benötigt als die Natursteinfassade. Auch in weiteren Umweltkenngrößen (z. B. Treibhausgasemissionen) weist die Natursteinfassade deutliche ökologische Vorteile auf.

Die Nutzungsphase wird durch die Instandhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Austauschzyklen der eingesetzten Bauteile dominiert. Während die Natursteinfassade mit ihren relativ langlebigen Bauteilen mit etwa 50 % der energetischen Ressourcen für diese Phase gegenüber der Herstellung auskommt, ist die austauschintensivere Instandhaltung der Glasfassade die relevanteste ökologische Phase während des gesamten Lebenszyklus. Über 100 Jahre gerechnet werden einzelne Bauteile bis zu dreimal komplett gewechselt. Die Reinigung mit Wasser ist insgesamt, obwohl wichtiger Aspekt ökonomischer Betrachtungen, vom ökologischen Standpunkt aus vernachlässigbar. Der für den Wärmeschutz bedeutende U-Wert ist bei der Natursteinfassade mit $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ wesentlich geringer als bei der Glasfassade mit $1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dies bedeutet, dass die Transmissionswärmeverluste und damit der Wärmebedarf des Gebäudes bei der Natursteinfassade deutlich geringer sind. Die ökonomischen Auswirkungen der Wärmeverluste im Winter sowie des im Sommer benötigten Kühlbedarfs sind in Kapitel 5 berücksichtigt.

Nach der Nutzungsphase zeigt sich, dass die Natursteinfassade bezogen auf den Gesamtlebenszyklus geringe ökologische Lasten (Ressourcenbedarf und Emissionen) bewirkt. Bei der Betrachtung des Lebensendes ist festzustellen, dass bei der Glasfassade die eingesetzten Materialien wie Aluminium und Kunststoff ökologische Gutschriften erhalten, da durch die Rückführung dieser Materialien in den Stoffkreislauf eine aufwendige Primärproduktion (GF) vermieden werden kann.

Die betrachteten Umwelteinwirkungen der Glasfassade (GF) sind zwischen 60% und rund 360% höher als die der Natursteinfassade (NSTF):

Umwelteinwirkungen	NSTF : GF
Treibhauspotenzial (CO ₂ -Äquivalent; GWP)	1 : 2,5
Ozonabbaupotenzial (R11; ODP)	1 : 1,6
Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalent; AP)	1 : 3,1
Eutrophierungspotenzial (PO ₄ -Äquivalent; EP)	1 : 4,4
Sommersmogpotenzial (C ₂ H ₄ -Äquivalent; POCP)	1 : 4,3



Fassaden mit Glas- und Natursteinkonstruktionen

Teil 2 – „Fassadenvarianten in Naturstein und Glas am Beispiel des Frankfurter OpernTurms“

Im zweiten Teil der Studie wird die ökologische Performance der ausgeführten Fassade (Fassadenvariante 1) am OpernTurm in Frankfurt mit zwei theoretischen Fassadenkonstruktionen (Fassadenvariante 2 und 3) verglichen:

- Fassadenvariante 1:
Am OpernTurm in Frankfurt realisierte Fassade, bestehend aus einer elementierten, hinterlüfteten Natursteinfassade (17 %), einer hinterlüfteten Natursteinfassade nach DIN 18516-3 (33 %), sowie Glaselementen (50 %)
- Fassadenvariante 2:
Hinterlüftete Natursteinfassade nach DIN 18516-3 mit einem Fensteranteil von 50 %.
- Fassadenvariante 3:
Adäquate Glasfassade, bestehend aus Glaselementen (90 %) und hinterlüfteter Natursteinfassade nach DIN 18516-3 (10 %).

Die ökologische Analyse der in der Studie behandelten Fassadenvarianten ist auf der Basis von in der Studie beschriebenen Annahmen zu Methodik und Daten für einen Betrachtungszeitraum der Fassaden-Lebenszyklen von 50 Jahren durchgeführt, gemäß dem Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“. Über diesen Zeitraum weisen die beiden betrachteten Natursteinfassaden gegenüber der Glasfassade deutliche ökologische Vorteile in allen betrachteten Umweltkenngrößen auf. Abhängig von den Umweltkenngrößen betragen die Emissionen und energetischen Ressourcenverbräuche der Natursteinfassaden etwa ein Drittel bis zwei Drittel der Umwelteinwirkungen und Ressourcenverbräuche der Glasfassade.

Wird die Herstellungsphase separat betrachtet, so zeigt sich, dass die Glasfassade einen etwa doppelt so hohen Bedarf an energetischen Ressourcen benötigt als die Natursteinfassaden. Auch in weiteren Umweltkenngrößen (z. B. Treibhausgasemissionen) zeigt die Herstellungsphase der Natursteinfassaden deutliche ökologische Vorteile auf.

Die Nutzungsphase wird durch die Instandhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit von Austauschzyklen der eingesetzten Bauteile dominiert. Während die Natursteinfassaden mit ihren relativ langlebigen Bauteilen mit etwa 50 % der energetischen Ressourcen für diese Phase gegenüber der Herstellung auskommen, beträgt der Anteil der Instandhaltung bei der Glasfassade etwa 80 % gegenüber der Herstellung. Während der betrachteten 50 Jahre werden einzelne Bauteile bis zu dreimal komplett gewechselt. Die Ergebnisse der Ökobilanz sind für die Reinigung mit Wasser insgesamt, obwohl ein wichtiger Aspekt ökonomischer Betrachtungen, vernachlässigbar.

Bei der Betrachtung des Lebensendes ist festzustellen, dass bei der Glasfassade die eingesetzten Materialien wie Aluminium und Kunststoff ökologische Gutschriften erhalten, da durch die Rückführung dieser Materialien in den Stoffkreislauf eine aufwendige Primärproduktion vermieden werden kann.

Die betrachteten Umwelteinwirkungen der Glasfassade (GF) liegen zwischen 60 % und 175 % höher als die der ausgeführten Natursteinfassade (NSTF ausgef.):

Umwelteinwirkungen	NSTF ausgef. : GF
Treibhauspotenzial (CO ₂ -Äquivalent; GWP)	1 : 1,7
Ozonabbaupotenzial (R11; ODP)	1 : 2,8
Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalent; AP)	1 : 1,6
Eutrophierungspotenzial (PO ₄ -Äquivalent; EP)	1 : 1,6
Sommersmogpotenzial (C ₂ H ₄ -Äquivalent; POCP)	1 : 1,7

Der Frankfurter OpernTurm in der Bauphase.



2 Angewandte Methodik

2.1 Ökobilanz Methode

Die vorliegende Studie wurde auf der Grundlage der LCA-Methode (engl. LCA – Life Cycle Assessment) durchgeführt. Darunter versteht man eine systematische Analyse der Umwelteinwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges („von der Wiege bis zur Bahre“). Dazu gehören sämtliche Umwelteinwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe).

Es wurden die Indikatoren der Sachbilanz (engl. LCI – Life Cycle Inventory) sowie der Wirkungsabschätzung (engl. LCIA – Life Cycle Impact Assessment) in der Studie berücksichtigt, die auch durch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) als Kriterien der ökologischen Qualität bewertet werden. Die Wahl der Wirkkategorien stellt darüber hinaus eine Auswahl der in prEN 15804 vorgegebenen Wirkkategorien dar.

In der Sachbilanz wird der Primärenergiebedarf (gesamt) untersucht.

Sachbilanz	
Primärenergie, erneuerbar	MJ
Primärenergie, nicht erneuerbar	MJ
Primärenergie, total	MJ

Tabelle 2-1:
LCI-Indikatoren

Um die Umweltauswirkungen des Lebenszyklus des betrachteten Systems zu ermitteln, wird die CML-Methodik der Universität Leiden mit den Charakterisierungsfaktoren von 2001 verwendet. Die Umweltwirkungskategorien Human- und Ökotoxizität wurden nicht untersucht, da sich die zugrunde liegenden Modelle noch in einem Entwicklungsstadium befinden und keine belastbare Grundlage darstellen. Es wurden folgende LCIA-Indikatoren betrachtet:

LCIA-Indikator*	Einheit
Treibhauspotenzial (GWP)	[kg CO ₂ -Äqv.]
Ozonabbaupotenzial (ODP)	[kg R11-Äqv.]
Versauerungspotenzial (AP)	[kg SO ₂ -Äqv.]
Eutrophierungspotenzial (EP)	[kg Phosphat-Äqv.]
Sommersmogpotenzial (POCP)	[kg Ethen-Äqv.]

Tabelle 2-2:
LCIA-Indikatoren

*Eine detailliertere Beschreibung zu den Wirkungskategorien befindet sich im Anhang.

Die vorliegende Ökobilanz wird mit der Ökobilanzsoftware GaBi 4 (/GaBI 4 2007/) nach den Vorgaben der ISO 14044 2006 ff. durchgeführt. Alle hierfür relevanten Hintergrund-Datensätze sind der Datenbank der Software GaBi 4 entnommen. Das Alter der verwendeten Daten liegt unter acht Jahren.



Herausgegeben vom
Deutschen Naturwerkstein-
Verband e. V. (DNV)
Sanderstraße 4
97070 Würzburg
Telefon 09 31 / 1 20 61
Telefax 09 31 / 1 45 49
www.natursteinverband.de

Überreicht durch: