DNV



Nachhaltigkeitsstudie

Ökobilanz von Bodenbelägen im Außenbereich



NATUR STEIN

Inhaltsverzeichnis

Nachhaltig bauen mit Naturstein ____ 4

1 Zusammenfassung ____ 6

2 Angewandte Methodik ____ 10

2.1 Ökobilanz-Methode ____ 10

2.2 Vorgehen ____ 11

3 Resultate Ökobilanzstudie ____ 14

3.1 Allgemeines ____ 14

3.2 Umwelteinwirkungen Treibhauseffekt GWP bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren ____ 14

3.3 Primärenergiebedarf (PENRT und PERT) bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren ____ 16

3.4 Umwelteinwirkungen Treibhauseffekt GWP bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren ____ 17

3.5 Primärenergiebedarf (PENRT und PERT) bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren ____ 18

3.6 Vergleich der Transportemissionen ____ 19

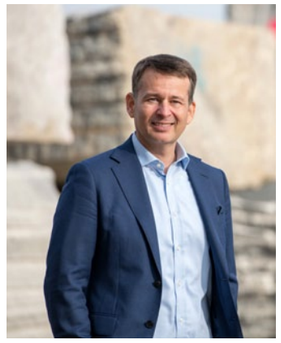
4 Vorteile Naturwerkstein ____ 20

5 Literaturverzeichnis ____ 22

Anhang A Beschreibung der Auswertegrößen ____ 23

Anhang B Datenkalkulation der Ökobilanzstudie ____ 25

Nachhaltig bauen mit Naturstein


1

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 sowie 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 Bundesministeriums des Inneren, für Bau und Heimat, 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 und Quartiere entwickelt. Die DGNB bietet Ihnen mit dem Zertifizierungssystem für nachhaltige Quartiere ein weltweit anerkanntes Planungs- und Optimierungstool an, das dabei hilft, eine solche ganzheitliche Nachhaltigkeitsqualität zielgerichtet, systematisch und wirtschaftlich umzusetzen. Es bietet für die Planungs- und Baupraxis die passenden Antworten auf unsere wichtigsten Zukunftsfragen.

International wird „nachhaltiges Bauen“ oftmals mit dem Begriff „Green Building“ gleichgesetzt. In Großbritannien 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 Kilometer zur Baustelle transportiert werden.

Die zunehmende Erderwärmung und die damit verbundenen Veränderungen des Klimas erfordern auch im Bauwesen ein Umdenken, und klimaschonende Bauweisen gewinnen an Bedeutung. Der Verzicht auf Materialien, die in ihrer Herstellung viel CO_2 emittieren, tritt als wichtiges ökologisches Kriterium in den Vordergrund. Da der Bausektor einen großen Anteil an den globalen CO_2-Emissionen und dem Energieverbrauch hat, sollen auch Bauprodukte in ihrer Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte möglichst geringe Umweltauswirkungen aufweisen.

Der Primärenergiebedarf bei der Verwendung von Naturwerksteinplatten für eine Verkehrsfläche mit 1.000 m² beträgt beispielsweise in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren lediglich ca. 505.000 MJ. Im Vergleich dazu benötigt man für die gleiche Fläche mit Betonwerksteinplatten ca. 2.136.000 MJ Primärenergie. Legt man einen Richtwert für den Stromverbrauch eines durchschnittlichen Zwei-Personen-Haushaltes von 2700 Kilowattstunden im Jahr zugrunde, könnten mit der eingesparten Energie ca. 170 Zwei-Personen-Haushalte für ein Jahr mit Strom versorgt werden. Gegenüber Pflasterklinker könnten mit der eingesparten Primärenergie ca. 360 Zwei-Personen-Haushalte und bei Asphalt ca. 480 Zwei-Personen-Haushalte für ein Jahr mit Strom versorgt werden.

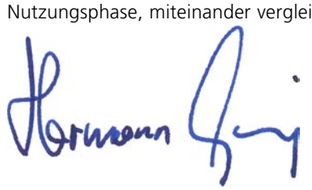
Auch der CO_2-Aussstoß, welcher das Treibhauspotenzial erheblich beeinflusst, ist bei der Herstellung von Außenbelägen mit Naturwerksteinplatten im Vergleich zu Betonwerksteinplatten fast um das Siebenfache geringer. Beim Pflasterklinker ist es sogar der Faktor 7,6.

Diese Ergebnisse der Ökobilanzstudie werden jedoch auch durch den CO_2-Ausstoß der Transporte beeinflusst. In den nachfolgenden Berechnungen fallen bei einer Transport-Entfernung von 250 km bei heimischer Produktion ca. 5,83 Tonnen CO_2-Äquivalent an. Wird der gleiche Naturwerkstein importiert, so sind es bei 2.000 km Entfernung (Portugal/Spanien) ca. 46,64 Tonnen und bei Importen aus China ca. 61,07 Tonnen. Somit werden die ökologischen Vorteile der Natursteine durch weite Transporte erheblich reduziert, sodass die Verwendung von regionalen Naturwerksteinen zu bevorzugen ist. Ein Ausgleich der Transportemissionen durch den Kauf von CO_2-Zertifikaten ist theoretisch möglich, der praktische Nutzen jedoch umstritten.

Um den Verbrauch an Rohstoffen zu reduzieren, ist es erforderlich, die in den Verkehrsflächen verwendeten Baustoffe so gut wie möglich einer direkten Wiedernutzung oder dem Recycling zuzuführen.

Pflastersteine und Platten aus Naturstein nehmen hier eine Sonderstellung ein, da gebrauchte Pflastersteine und Natursteinplatten für Außenbeläge oftmals wiederverwendet werden und ein begehrtes Handelsgut sind.

Aus diesen Gründen hat der Deutsche Naturwerkstein-Verband e.V. (DNV) eine Studie erstellen lassen, welche die ökologischen Auswirkungen verschiedener Belagskonstruktionen für Straßen, Gehwege und Plätze im Außenbereich im gesamten Lebenszyklus, von der Produktions- bis zur Nutzungsphase, miteinander vergleicht.



Hermann Graser
Präsident des Deutschen Naturwerkstein-Verbands e.V.

1 Zusammenfassung

Gegenstand der vom Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart erstellten Studie ist die Ermittlung der ökologischen Performance unterschiedlicher Beläge für Verkehrswege im Außenbereich, die in öffentlichen und privaten Bereichen verwendet werden.
Die ökologischen Auswirkungen der Tragschichten, Bettungen und Deckschichten der unterschiedlichen Belagskonstruktionen wurden in einem Screening-Verfahren über den gesamten Lebenszyklus betrachtet.
Grundlage der Datenerhebung sind öffentliche Umweltproduktdeklarationen (EPD) der verschiedenen Baustoffhersteller und Daten aus der Plattform ÖKOBAUDAT des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI).

2: IBK-Platzgestaltung Maria-Theresia-Straße, Innsbruck Nominierung DNP 2015

3+4: Platzgestaltung: Sechsläutenplatz, Zürich, Preisträger DNP 2015



2



3



4

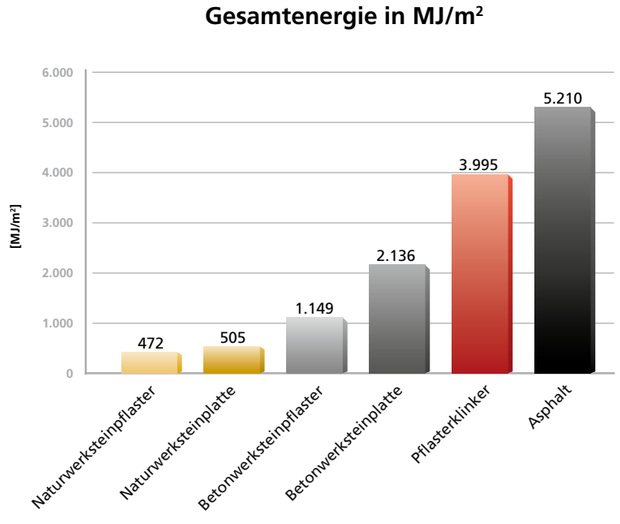
Ein Vergleich aller Bodenbeläge zeigt, dass Pflaster und Platten aus Naturwerkstein insgesamt in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt **(GWP),** Versauerungspotenzial **(AP)**, Eutrophierungspotenzial **(EP)**, Photooxidanzienbildung **(POCP)** und der erforderlichen Gesamtprimärenergie deutlich niedrigere Werte durch Produktion, Errichtung und Nutzung aufwiesen als Pflaster und Platten aus Betonwerkstein sowie Außenbeläge mit Pflasterklinker und Asphalt.
Dies deckt sich mit den Erkenntnissen des Bundesverbandes Baustoffe – Steine und Erden, der die Kosten des Energieverbrauchs zur Be- und Verarbeitung von Naturwerkstein mit lediglich 3,3 % des Produktionswerts angibt.

Ein Vergleich der untersuchten Belagskonstruktionen für einen Nutzungszeitraum von 100 Jahren, der beispielsweise für Pflastersteine aus Granit durchaus üblich ist, veranschaulicht den niedrigen Verbrauch von Energie für Außenbeläge aus Naturwerkstein.
Der Energiebedarf von Außenbelägen mit Pflastersteinen aus Naturwerkstein beträgt mit ca. 470 MJ/m² nur etwa 1/10 des Energiebedarfs von Pflasterklinker (4.000 MJ/m²) und von Asphaltdecken (5.210 MJ/m²).

Total Primärenergie in MJ/m²						
	Naturwerkstein-pflaster	**Naturwerkstein-platten**	**Betonwerkstein-pflaster**	**Betonwerkstein-platten**	**Pflaster-klinker**	**Asphalt**
PERT [MJ]	113,2	109,1	211,6	436,1	353,9	230,7
%	**104**	**100**	**194**	**400**	**324**	**211**
PENRT [MJ]	358,7	396,4	937,3	1.700	3.641	4.979
%	**100**	**111**	**261**	**474**	**1.015**	**1.388**
Total [MJ]	471,9	505,5	1.149	2.136	3.995	5.210
%	**100**	**107**	**243**	**453**	**847**	**1.104**

Tabelle 1: Vergleichswerte PENRT und PERT innerhalb von 100 Jahren in MJ/m²

In der nachstehenden Grafik 1 ist der Bedarf an Gesamtenergie, bestehend aus erneuerbarer Energie **(PERT)** und nicht erneuerbarer Energie **(PNERT)**, für die Herstellung der Belagskonstruktionen dargestellt.



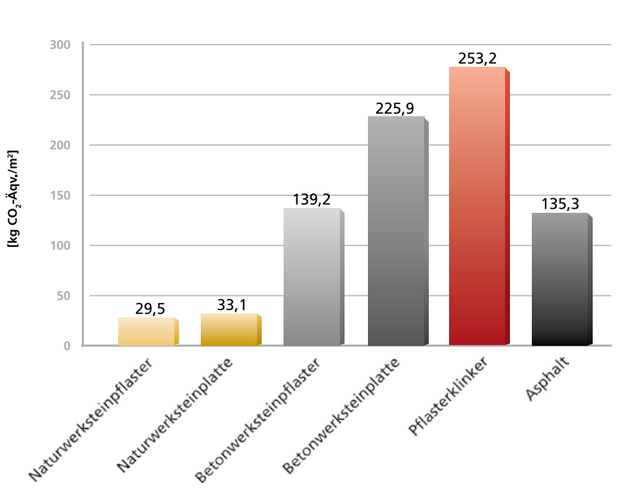
Grafik 1: Benötigte Gesamtenergie der Außenbeläge in MJ/m² bei 100 Jahren Nutzungsdauer

In der besonders wichtigen Wirkungskategorie Treibhauspotenzial **(GWP)** weisen die Bodenkonstruktionen mit Pflastersteinen und Platten aus Naturstein in der Herstellung und Nutzung deutlich niedrigere CO_2-Äquivalente auf als die anderen Belagsmaterialien. Mit 29,5 Kilogramm CO_2-Äqv. sind dem **GWP** der Pflastersteine aus Naturwerkstein in der Herstellung die geringsten Emissionen zuzuordnen.

Globales Erwärmungspotenzial GWP						
GWP	Naturwerk-steinpflaster	Naturwerkstein-platten	Betonwerkstein-pflaster	Betonwerk-steinplatten	Pflaster-klinker	Asphalt
Kg CO_2-Äqv.	29,5	33,1	139,2	225,9	253,2	135,3
%	100	112	472	766	859	459

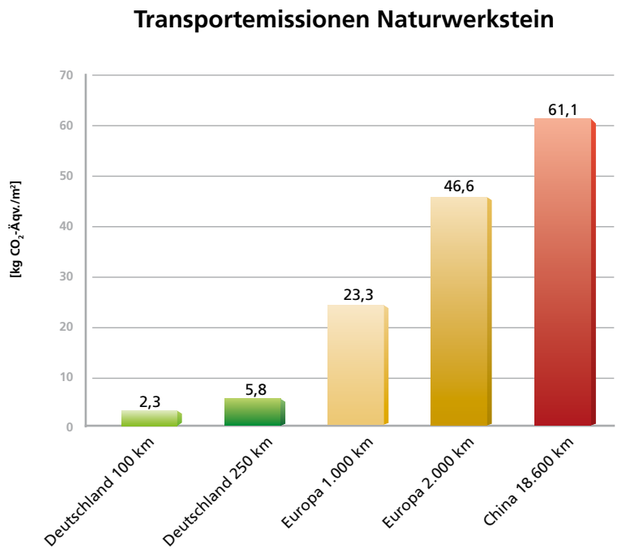
Tabelle 2: Treibhauspotenzial (GWP) der Außenbeläge in kg CO_2-Äqv./m² innerhalb von 100 Jahren

Das Erderwärmungspotenzial **GWP** des Pflasterklinkers ist im Vergleich zum Naturwerksteinpflaster mit einem Wert von ca. 253,2 Kilogramm CO_2-Äqv. (vgl. Grafik 2) mehr als 8,5-fach so hoch.



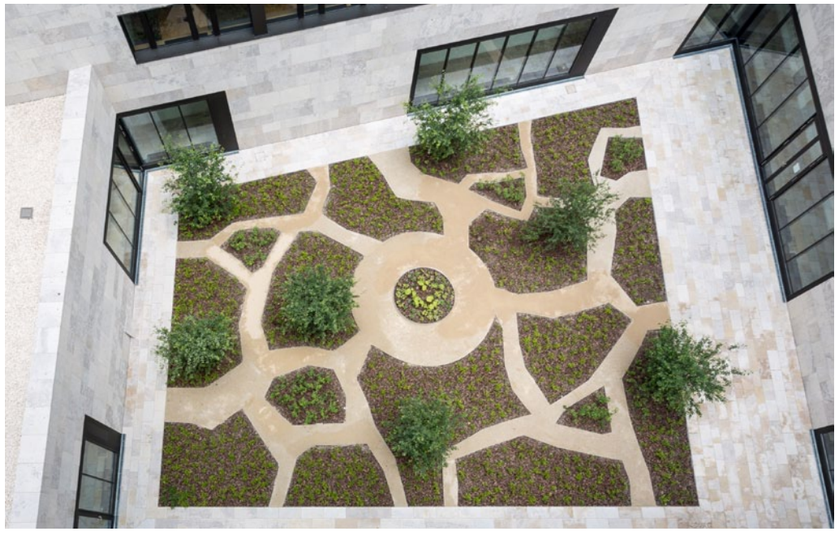
Grafik 2: Treibhauspotenzial (GWP) der Außenbeläge in kg CO_2-Äqv./m²

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Verwendung von Naturstein ist der Einfluss der Transporte. Während bei der Verwendung lokaler Naturwerksteine mit 100 km Lkw-Transport nur 2,33 Kilogramm CO_2-Äqv. je Quadratmeter Bodenbelag bzw. 5,83 Kilogramm CO_2-Äqv./m² bei 250 km Lkw-Transport entstehen, sind es bei einem Transport innerhalb Europas bei 1.000 km Lkw-Transport 23,32 Kilogramm CO_2-Äqv./m², bei 2.000 km Lkw-Transport 46,64 Kilogramm CO_2-Äqv./m² und bei Naturwerksteinen aus China (18.600 km Schiff-, 750 km Lkw-Transport) 61,07 Kilogramm CO_2-Äqv. je Quadratmeter Bodenbelag.



Grafik 3: Transportemission Naturwerkstein in kg CO_2-Äqv./m²

Für alle berücksichtigten Bodenbelagsprodukte wurden repräsentative Umweltproduktdeklarationen (EPD) ausgewählt. Sie beinhalten verifizierte Werte, die für die diversen Umweltauswirkungen zu erwarten sind. Für die Beläge wurde jeweils die EPD einer vergleichbaren Produktgruppe mit verfügbarer EPD als Vertreter des jeweiligen Belags bestimmt. Fehlende Informationen oder nicht deklarierte Module einzelner Lebenszyklusphasen wurden mithilfe passender Annahmen ergänzt. Für die Berechnung wurden dann Daten aus vergleichbaren EPDs oder verfügbaren Datenbanken wie der Ökobaudat vom Institut für Baustoffe der Universität Stuttgart für die Erstellung dieser Nachhaltigkeitsstudie verwendet.



Max-Planck-Institut für europäische Rechtsgeschichte, Frankfurt am Main Nominierung DNP 2015

5

2 Angewandte Methodik

2.1 Ökobilanz-Methode

Für die Nachhaltigkeitsstudie wurde zunächst ein einheitlicher Unterbau festgelegt sowie der Aufbau der darüber liegenden Straßenbeläge bestimmt. Dabei wurden auch die Schichtdicken sowie die benötigte Baustoffmenge ermittelt. Für jedes notwendige Produkt wurden repräsentative Umweltproduktdeklarationen recherchiert und festgelegt. Sie beinhalten verifizierte Werte, die für die diversen Umweltauswirkungen zu erwarten sind. Für die Beläge wurde jeweils die EPD einer vergleichbaren Produktgruppe mit verfügbarer EPD als Vertreter des jeweiligen Belags bestimmt. Fehlende Informationen oder nicht deklarierte Module einzelner Lebenszyklusphasen wurden mithilfe passender Annahmen ergänzt, für die Berechnung wurden dann Daten aus vergleichbaren EPDs oder verfügbaren Datenbanken wie der Ökobaudat verwendet. Die ermittelten Werte beziehen sich auf die funktionelle Einheit von einem Quadratmeter. Die EPDs sowie die Datensätze der Ökobaudat sind gemäß DIN EN 15804 nach den Umweltproduktdeklarationsgrundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte [1] erstellt und damit auch konform zu den Grundsätzen und Rahmenbedingungen der Ökobilanz gemäß DIN EN ISO 14040 sowie den Anforderungen und Anleitungen gemäß DIN EN ISO 14044 [2, 3].



6 Schlossterrassen Bad Alexandersbad und Alexplatz



7 Platz am Scharf Eck Winkel, Fridingen Nominierung DNP 2015

In der Nachhaltigkeitsstudie wurden die folgenden Bodenbeläge am Beispiel eines repräsentativen Vertreterprodukts bzw. einer Vertreterproduktgruppe unter Berücksichtigung der Bettung und der erforderlichen Trag- und Frostschutzschichten bilanziert:

- Pflastersteine aus Naturwerkstein
- Platten aus Naturwerkstein
- Pflastersteine aus Betonwerkstein
- Platten aus Betonwerkstein
- Pflasterklinker
- Asphaltdecke

Ziel der Studie ist es, typische Beläge für den Außenbereich über einen Zeitraum von 50 Jahren und 100 Jahren ökologisch zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Es wurden alle Lebenszyklusphasen von der Herstellung bis zur Nutzung berücksichtigt. Für die Ökobilanzierung wurden das **Globale Erwärmungspotenzial (GWP)**, das **Versauerungspotenzial (AP)**, das **Eutrophierungspotenzial (EP)**, das photochemische **Ozonbildungspotenzial (POCP)** sowie der Energieverbrauch anhand des totalen **nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PENRT)** sowie des **total erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PERT)** berücksichtigt.

2.2 Vorgehen

2.2.1 Bodenkonstruktion

Es wurde für die jeweiligen Baustoffe ein beispielhafter Oberbau nach den Regeln des Straßenbaus für nicht ständig von Schwerverkehr genutzte Flächen der Bauklasse Bk 1,0 nach RStO gewählt.

2.2.2 Aufbau Konstruktion Naturwerkstein – Pflastersteine 100/100/100 mm

Schichten der Konstruktion	Datensatz (Ökobaudat)	Ökobaudat – Name	Dicke [mm]	Menge [kg/m²]
Naturwerkstein Pflasterstein	www.ökobaudat.de	Naturwerksteinplatte, hart, Außenbereich (Dicke 0,08 m)	100	260
Bettungssplitt	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15	40	60
Schottertragschicht	www.ökobaudat.de	Schotter 16/32	200	280
Frostschutzschicht	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15 und Schotter 16/32	410	697

Tabelle 3: Naturwerkstein – EPD, Schichtdicke und Menge

2.2.3 Aufbau Konstruktion Naturwerkstein – Platte 400/400/140 mm

Schichten der Konstruktion	Datensatz (Ökobaudat)	Ökobaudat – Name	Dicke [mm]	Menge [kg/m²]
Naturwerkstein Platte	www.ökobaudat.de	Naturwerksteinplatte, hart, Außenbereich (Dicke 0,08 m)	140	364
Bettungssplitt	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15	40	60
Schottertragschicht	www.ökobaudat.de	Schotter 16/32	200	280
Frostschutzschicht	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15 und Schotter 16/32	370	629

Tabelle 4: Naturwerksteinplatte – Datensatz, Schichtdicke und Menge

2.2.4 Aufbau Konstruktion Betonwerkstein – Pflastersteine 100/100/100 mm

Schichten der Konstruktion	Datensatz (EPD)	EPD – Name	Dicke [mm]	Menge [kg/m²]
Betonwerkstein Pflasterstein	EPD-SLG-20150317-CAE1-DE	Betonpflasterstein grau mit Vorsatz	100	225
Bettungssplitt	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15	40	60
Schottertragschicht	www.ökobaudat.de	Schotter 16/32	200	280
Frostschutzschicht	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15 und Schotter 16/32	410	697

Tabelle 5: Betonwerkstein Pflasterstein – Datensatz, Schichtdicke und Menge

2.2.5 Aufbau Konstruktion Betonwerkstein – Platte 400/400/140 mm

Tabelle 6: Betonwerk-steinplatte – Datensatz, Schichtdicke und Menge

Schichten der Konstruktion	Datensatz (EPD)	EPD – Name	Dicke [mm]	Menge [kg/m²]
Betonwerkstein Platte	EPD-KLO-20170147-IAC1-DE	Betonpflastersteine	140	329
Bettungssplitt	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15	40	60
Schottertragschicht	www.ökobaudat.de	Schotter 16/32	200	280
Frostschutzschicht	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15 und Schotter 16/32	370	629

2.2.6 Aufbau Konstruktion Pflasterklinker – Pflastersteine 100/100/100 mm

Tabelle 7: Pflasterklinker Pflastersteine – Datensatz, Schichtdicke und Menge

Schichten der Konstruktion	Datensatz (EPD)	EPD – Name	Dicke [mm]	Menge [kg/m²]
Pflasterklinker Pflastersteine	EPD-ZWM-20160126-ICG1-DE	Vormauerziegel, Pflasterziegel und Riemchen	100	210
Bettungssplitt	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15	40	60
Schottertragschicht	www.ökobaudat.de	Schotter 16/32	200	280
Frostschutzschicht	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15 und Schotter 16/32	410	697

2.2.7 Aufbau Konstruktion Asphaltdecke

Tabelle 8: Asphalt – Datensatz, Schichtdicke und Menge

Schichten der Konstruktion	Datensatz (Ökobaudat)	Ökobaudat – Name	Dicke [mm]	Menge [kg/m²]
Asphaltdecke	www.ökobaudat.de	Gussasphalt	40	96
Asphalttragschicht	www.ökobaudat.de	Asphalttragschicht	100	235
Schottertragschicht	www.ökobaudat.de	Schotter 16/32	150	210
Frostschutzschicht	www.ökobaudat.de	Splitt 2/15 und Schotter 16/32	460	782

Plattenbelag aus Beton-werkstein



8



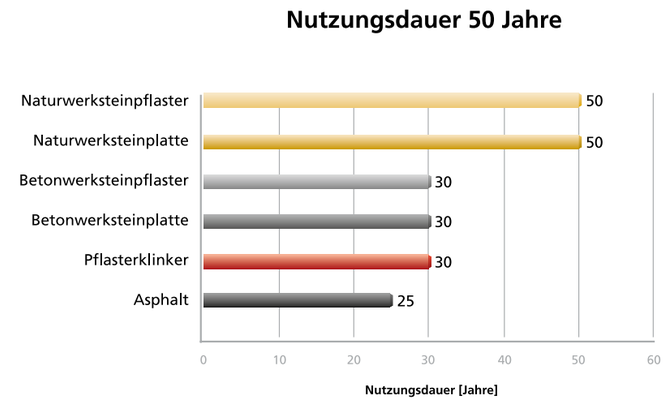
9

Asphalt-belag mit Übergang zu Naturwerk-steinpflaster

2.2.8 Nutzungsdauer der Belagskonstruktionen

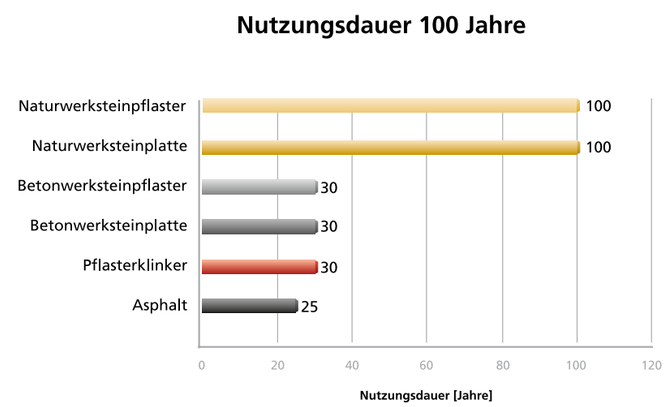
Die Nutzungsdauer von Verkehrswegen ist in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung und der Bauweise sehr unterschiedlich. Nach den Richtlinien des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) werden Verkehrsflächen auf eine geplante Nutzungsdauer von in der Regel 30 Jahren dimensioniert[2]. Einzelne Befestigungsschichten weisen jedoch unterschiedliche Nutzungszeiträume auf. So ist nach derzeitiger Erkenntnis davon auszugehen, dass eine Asphaltdeckschicht je nach Beanspruchung und Ausführung etwa zwischen zwölf und mehr als 25 Jahren genutzt werden kann. Befestigungen mit Pflastersteinen und Platten aus Naturwerkstein werden dagegen vielfach bereits seit Jahrhunderten genutzt.

In dieser Studie wurden Beläge für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren sowie von 100 Jahren untersucht.
In dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren sind nachstehende durchschnittliche Nutzungsdauern der unterschiedlichen Belagskonstruktionen zugrunde gelegt:



Grafik 4: Durchschnittliche Nutzungsdauer der jeweiligen Außenbeläge

Für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren wurden nachstehende Nutzungsdauern der jeweiligen Außenbeläge berücksichtigt:



Grafik 5: Nutzungsdauer der jeweiligen Außenbeläge

[2] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/erhaltung-von-strassen.html

3 Resultate Ökobilanzstudie

3.1 Allgemeines

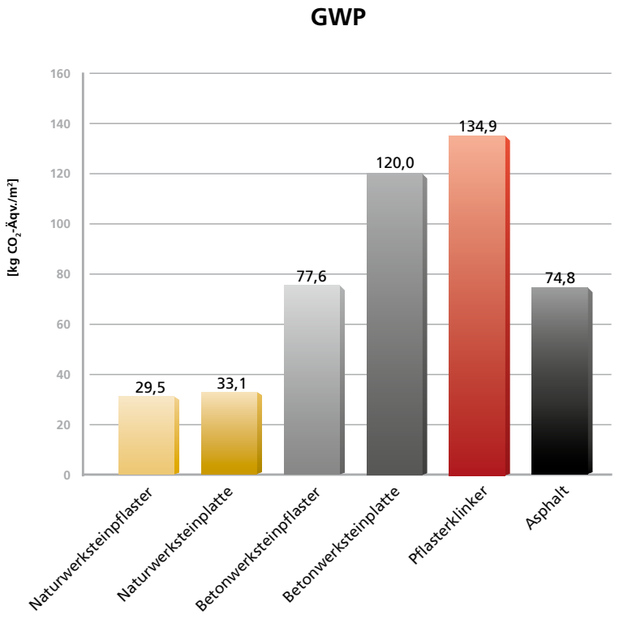
Im Folgenden werden die verschiedenen Bodenkonstruktionen auf ausgewählte Wirkungskategorien hin verglichen.
Für den Vergleich wurden bei Naturwerkstein, Betonwerkstein und Pflasterklinker eine Transportentfernung von 100 km, für den Asphalt von 50 km berücksichtigt.
Die jeweiligen Datengrundlagen für die Ökobilanzberechnungen sind in Anlage B beigefügt.

3.2 Umwelteinwirkungen Treibhauseffekt GWP bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren

In nachstehender Tabelle ist der Treibhauseffekt GWP der jeweiligen Belagskonstruktionen inklusive der Trag- und Frostschutzschichten in Kilogramm CO_2-Äqv. je Quadratmeter Bodenbelag bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren angegeben.
In der untersten Zeile ist die prozentuale Erhöhung in Bezug zu dem niedrigsten Emissionswert (= 100 %) angegeben.

Globales Erwärmungspotenzial GWP in kg CO_2-Äqv. je m² Bodenbelag						
GWP	Naturwerk-steinpflaster	Naturwerkstein-platten	Betonwerkstein-pflaster	Betonwerk-steinplatten	Pflaster-klinker	Asphalt
Kg CO_2-Äqv.	29,5	33,1	77,6	120,0	134,9	74,8
%	100	112	263	407	458	254

Tabelle 9:
Globales Erwärmungspotenzial GWP in kg CO_2-Äqv. je m² Bodenbelag innerhalb von 50 Jahren

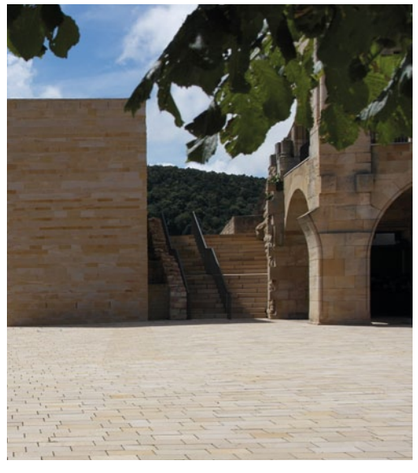


Grafik 6:
Treibhauspotenzial (GWP) der Außenbeläge in kg CO_2-Äqv./m² innerhalb von 50 Jahren

Mit ca. 29,5 Kilogramm CO_2-Äqv. je m² sind in der Wirkungskategorie „Klimawandel" (GWP) der Naturwerksteinpflasterung inkl. der Bettung und Tragschichten die geringsten Emissionen zuzuordnen. Der GWP der Pflasterklinker ist mit einem Wert von ca. 135 Kilogramm CO_2-Äqv. im Vergleich zu Naturwerksteinpflaster über 4,5-fach höher.

Die Unterschiede in den Werten lassen sich bei genauerer Betrachtung vor allem durch das Produktionsstadium der Deckschichten erklären. Die Unterkonstruktionen weisen alle ähnliche Dicken und somit auch ähnliche Werte auf. **Deshalb fällt nur die Produktion des Oberbelags sehr ins Gewicht.** Zum Vergleich fällt beim Naturwerksteinpflaster in den Produktionsstadien A1–A3 (vgl. Anlage B) nur 7,17 kg CO_2 Äqv. an und beim Pflasterklinker 53,7 kg CO_2 Äqv., also ca. das 7,5-Fache. Zusätzlich müssen alle Deckschichten außer bei Naturwerkstein nach 25 bzw. 30 Jahren ausgetauscht werden, wodurch höhere Emissionen im Modul B4 Ersatz (vgl. Anlage B) anfallen.

10


11



12


13

10 – 12: Außenanlagen Hambacher Schloss Neustadt/Weinstraße, Preisträger DNP 2013

13: Blick auf den Marktplatz Hallstadt

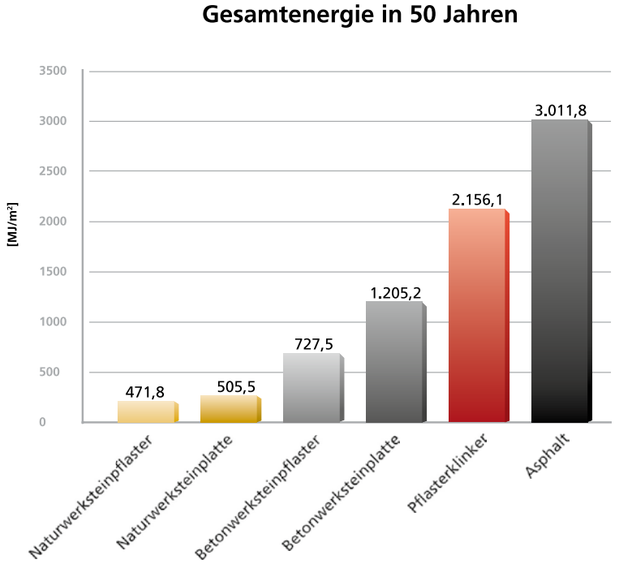
3.3 Primärenergiebedarf (PENRT und PERT) bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren

Der Gesamtprimärenergieverbrauch ist für Herstellung, Errichtung und Nutzung der Naturwerksteinbeläge inkl. Oberbau mit einem Wert von 471,8 MJ für Pflastersteine und 505,5 MJ für Platten am geringsten, gefolgt von den Betonwerksteinen mit den Werten von 727,5 MJ für Pflastersteine und 1205 MJ für Platten. Die Energiebereitstellung für die Natur- und Betonwerksteinkonstruktionen wird zum größten Teil durch nicht erneuerbare Primärenergie PENRT gedeckt, der Anteil der erneuerbaren Energien PERT besteht nur aus ca. 22–24 %. Beim Pflasterklinker und Asphalt liegt der Anteil der erneuerbaren Energien sogar nur noch bei ca. 5–10%. Asphalt hat insgesamt den höchsten Gesamtenergieverbrauch mit einem ca. 6,38-fachen Wert von 3012 MJ im Vergleich zum Naturwerksteinpflaster (vgl. Tabelle 10).

Total Primärenergie in MJ/m²

	Naturwerkstein-pflaster	Naturwerkstein-platten	Betonwerkstein-pflaster	Betonwerkstein-platten	Pflaster-klinker	Asphalt
PERT [MJ]	113,2	109,1	157,9	266,3	229,4	164,7
%	**104**	**100**	**120**	**166**	**153**	**121**
PENRT [MJ]	358,6	396,4	569,7	938,9	1.926,7	2.847,1
%	**100**	**111**	**159**	**262**	**537**	**794**
Total [MJ]	471,8	505,5	727,5	1.205,2	2.156,1	3.011,8
%	**100**	**107**	**154**	**255**	**457**	**638**

Tabelle 10: Vergleichswerte PENRT und PERT innerhalb von 50 Jahren



Grafik 7: Primärenergiebedarf der Bodenkonstruktion (PENRT und PERT) in MJ innerhalb von 50 Jahren

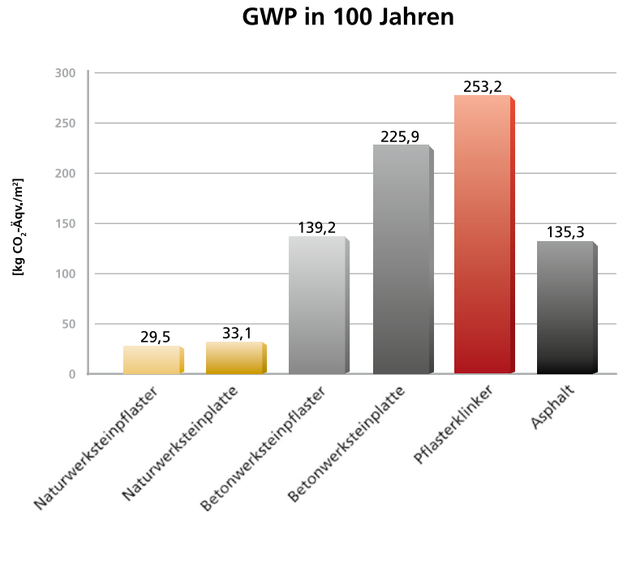
3.4 Umwelteinwirkungen Treibhauseffekt GWP bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren

Innerhalb der Wirkungskategorie „Klimawandel" (GWP) bleiben die Emissionen für die Naturwerksteine im Betrachtungszeitraum von 100 Jahren gegenüber dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren unverändert, da diese über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren nicht ausgetauscht werden müssen. Die Umweltauswirkungen der anderen Beläge haben jedoch weiter zugenommen, da diese mit 25–30 Jahren deutlich kürzere Lebensdauern aufweisen und dadurch jeweils dreimal ersetzt werden. Durch den Ersatz (B4) (vgl. Anlage B) haben sich die Emissionen im Vergleich zum Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zwischen 80–90 % erhöht. Am schlechtesten schneidet der Pflasterklinker ab, der fast einen neunfachen Wert des Naturwerksteinpflasters emittiert (vgl. Grafik 8).

Globales Erwärmungspotenzial GWP

GWP	Naturwerk-steinpflaster	Naturwerkstein-platten	Betonwerkstein-pflaster	Betonwerk-steinplatten	Pflaster-klinker	Asphalt
Kg CO_2-Äqv.	29,5	33,1	139,2	225,9	253,2	135,3
%	**100**	**112**	**472**	**766**	**859**	**459**

Tabelle 11: Treibhauspotenzial (GWP) der Außenbeläge in kg CO_2-Äqv./m² innerhalb von 100 Jahren



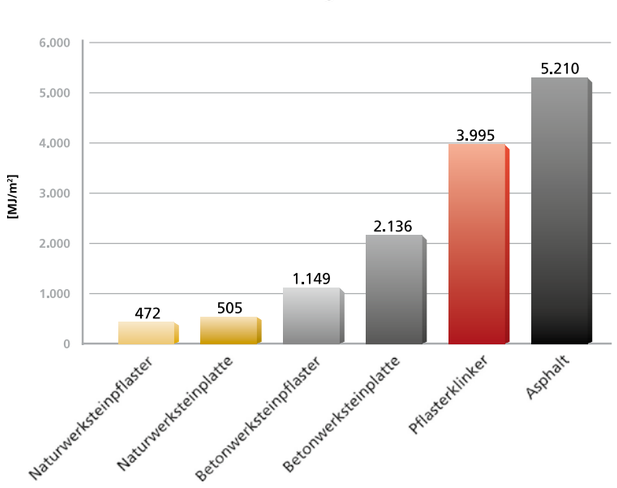
Grafik 8: Treibhauspotenzial (GWP) der Außenbeläge in kg CO_2-Äqv./m² innerhalb von 100 Jahren

3.5 Primärenergiebedarf (PENRT und PERT) bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren

Im Hinblick auf den Gesamtprimärenergieverbrauch bleiben auch hier die Werte der Naturwerksteine unverändert. Aufgrund des erforderlichen Austausches der Vergleichsbeläge Beton, Pflasterklinker und Asphalt benötigen diese prozentual über 100 Jahre mehr Energie zur Herstellung, Errichtung und Nutzung. Der Asphalt schneidet mit einem ca. elffachen Wert gegenüber dem Naturwerksteinpflaster am schlechtesten ab (vgl. Grafik 9).

Total Primärenergie in MJ/m²						
	Naturwerkstein-pflaster	Naturwerkstein-platten	Betonwerkstein-pflaster	Betonwerkstein-platten	Pflasterklin-ker	Asphalt
PERT [MJ]	1,132E+02	1,091E+02	2,116E+02	4,361E+02	3,539E+02	2,307E+02
%	104	100	194	400	324	211
PENRT [MJ]	3,587E+02	3,964E+02	9,373E+02	1,700E+03	3,641E+03	4,979E+03
%	100	111	261	474	1.015	1.388
Total [MJ]	4,718E+02	5,055E+02	1,149E+03	2,136E+03	3,995E+03	5,210E+03
%	100	107	243	453	847	1.104

Tabelle 12: Vergleichswerte PENRT und PERT innerhalb von 100 Jahren



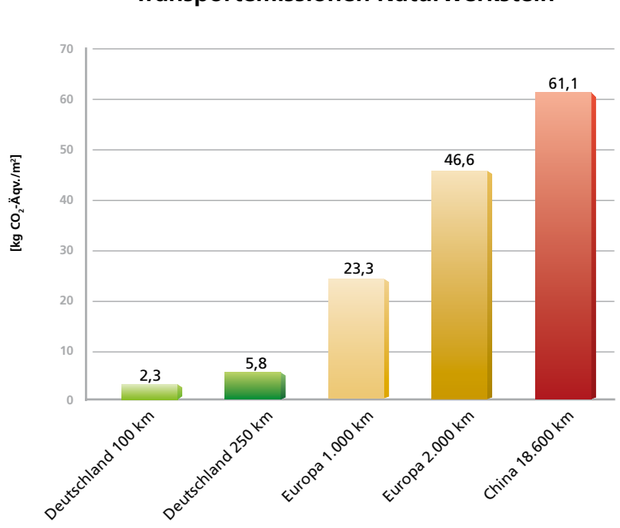
Grafik 9: Primärenergiebedarf der Bodenkonstruktion (PENRT und PERT) innerhalb von 100 Jahren

3.6 Vergleich der Transportemissionen

Im Folgenden sind die Transportemissionen des Naturwerksteins für verschiedene Szenarien grafisch dargestellt. Im ersten Szenario erfolgt der Transport innerhalb Deutschlands (100 oder 250 km) mit dem Lkw. Das zweite Szenario beinhaltet den Transport innerhalb Europas (1.000 oder 2.000 km), ebenfalls mit einem Lkw. Als drittes Szenario dienen der Transport aus China mit einer Schiffstrecke von 18.600 km und einer Lkw-Strecke vom Abbau zum Hafen mit 250 km und nach Ankunft des Schiffes am Hafen in Deutschland eine weitere Lkw-Strecke von 500 km zur Baustelle. Verglichen wird das CO_2-Äquivalent, das durch diese zurückgelegten Wege erzeugt wird.

Umweltauswirkungen: Transporte							
	Transportemissionen zur Baustelle						
Naturwerk-stein	Emissionen pro m²						
Distanzen		Deutschland	Deutschland	Europa	Europa	China	
		100 km Lkw	250 km Lkw	1.000 km Lkw	2.000 km Lkw	18.600 km –Con-tainerschiff	750 km Lkw
GWP	Kg CO_2-Äqv.	2,33	5,83	23,32	46,64	43,58	17,49
∑	Kg CO_2-Äqv.	2,33	5,83	23,32	46,64	61,07	

Tabelle 13: Transportemissionen



Grafik 10: Transportemission Naturwerkstein in kg CO_2-Äqv./m²

4. Vorteile Naturwerkstein

Die Ergebnisse der Bodenbelagsstudie zeigen, dass Pflaster- und Plattendecken aus Naturwerkstein im Außenbereich erhebliche ökologische Vorteile gegenüber allen anderen Straßenbaumaterialien aufweisen.

Naturwerkstein ist ein im Laufe von Jahrmillionen gewachsenes Material und findet sich als Baustoff nahezu fertig in der Natur. Für seine Entstehung ist keine Energie notwendig. Lediglich beim Verarbeiten und Transport wird Energie verbraucht.
Der Energiekostenanteil am Bruttoproduktionswert ist mit 3,3 % bei der Be- und Verarbeitung von Naturwerkstein äußerst gering (vgl. bbs-Zahlenspiegel 2016).

Der Abbau im Steinbruch erfolgt materialschonend ohne große Sprengungen. Der nicht verwendete Abraum wird unmittelbar zum Verfüllen abgebauter Teile des Steinbruchs eingesetzt. Im gesamten Kreislauf der Natursteingewinnung, -bearbeitung und -rückführung an die Natur geht nichts verloren. Die beim Abbau und bei der Verarbeitung anfallenden Gesteinsreste können wirtschaftlich im Garten- und Landschaftsbau, für Mauerwerk, zum Belegen von Terrassen, für den Wasserbau sowie zur Herstellung von Schotter, Splitten oder Frostschutzschichten genutzt werden.

Als natürlicher Baustoff enthält Naturstein keinerlei Schadstoffe und kann problemlos verwendet werden. Auch im Brandfall setzt Naturstein keine gesundheitsschädlichen Stoffe frei. Er ist unbrennbar und entspricht der Baustoffklasse A nach DIN 4102.

Die freie Formatauswahl, die Vielzahl der unterschiedlichen Steinfarben und Strukturen sowie die vielfältigen Oberflächenbearbeitungen ermöglichen quasi unbegrenzte Gestaltungsmöglichkeiten mit Naturwerkstein. Mit quadratischen, rechteckigen, polygonalen und auch kreisförmigen Grundflächen der Naturwerksteinplatten und den vielfältigen Pflasterverbänden können unterschiedliche Fugenbilder in den Bodenbelagsflächen realisiert werden.

Natürliche Baustoffe wie Naturstein rücken im Hinblick auf nachhaltige Bauweisen wieder in den Vordergrund, da die Anforderungen an nachhaltige Baustoffe hervorragend erfüllt werden. Die wichtigsten ökologischen Aspekte einer nachhaltigen Bauweise sind im Einzelnen:

Marktplatz
Hallstadt



14

A. Senkung des Energiebedarfs und des Verbrauchs an Betriebsmitteln

Für die Herstellung des Natursteins ist keine Energie notwendig, er wird uns von der Natur zur Verfügung gestellt. Naturwerkstein liegt als fertiges Produkt im Steinbruch vor und muss nicht – wie beispielsweise der Pflasterklinker – aus verschiedenen Rohstoffen zusammengefügt und gebrannt werden. Lediglich bei der Gewinnung im Steinbruch und der anschließenden Bearbeitung im Natursteinwerk wird zur Herstellung der Produkte aus Naturwerkstein ein relativ geringer Energieeinsatz benötigt.
Naturwerksteine, die Kalk enthalten, sind zusätzliche natürliche CO_2-Speicher, wie es auch Holz ist.

B. Vermeidung von Transporten von Baustoffen

Natursteinvorkommen gibt es weltweit in allen Ländern. Insbesondere Deutschland verfügt über große Mengen abbaufähiger Natursteine. Aufgrund der großen Vielfalt heimischer Granite, Sandsteine, Kalksteine, Schiefer usw. kann der Bedarf an Werksteinen meist aus heimischen Vorkommen gedeckt werden. Die Verwendung lokaler Natursteine dient der Vermeidung unnötiger Transporte und fördert landschaftsgebundene Bauweisen.
Der Transport des Natursteins vom Natursteinwerk zur Baustelle ist hinsichtlich der Auswirkungen auf die Umwelt nicht unbedeutend. Dies ist im Vergleich verschiedener Produktionsstandorte und Transportwege ersichtlich (vgl. Abs. 3.6).

C. Einsatz wiederverwendbarer/verwertbarer Bauprodukte

Natursteinprodukte können nach der Nutzungsphase eines Bauwerks auf vielfältige Weise wiederverwendet werden. Gebrauchte Pflastersteine und Gehwegplatten aus Naturwerkstein sind begehrte Handelswaren und werden vielfach, insbesondere zur Gestaltung historischer Innenstädte, wiederverwendet. Nutzungszeiträume von über 100 Jahren sind bei Pflastersteinen und Gehwegplatten aus Naturwerkstein die Regel.
Nicht wiederverwendbare Produkte aus Naturwerkstein können zu Schotter, Splitt oder Frostschutzschichten gebrochen und im Straßen-, Wege- sowie Garten- und Landschaftsbau genutzt werden.

D. Verlängerung der Lebensdauer von Bauprodukten und Baukonstruktionen

Naturwerksteine weisen ungewöhnlich hohe Nutzungszeiträume von bis zu mehreren Jahrhunderten auf. Natursteinbeläge mit starken Verschleißspuren können bei Bedarf einfach örtlich nachbearbeitet werden, sodass wieder quasi neuwertige Beläge entstehen.

E. Gefahrlose Rückführung der Baustoffe in den natürlichen Stoffkreislauf

Naturwerksteine enthalten keinerlei Schadstoffe und können ohne Probleme wieder in den natürlichen Stoffkreislauf eingefügt werden.



15

Rheinboulevard,
Konrad-Adenauer-Ufer, Koblenz
Nominierung
DNP 2013

5 Literaturverzeichnis

[1] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte (EN 15804:2012).

[1] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte (EN 15804:2012).

[2] EN ISO 14040: 2009-11, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006).

[3] EN ISO 14044: 2018-05, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044: 2006).

[4] DAV Deutscher Asphalt Verband – Ökoprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen – Aktualisierung 2009.

.

Außenanlagen Hambacher Schloss Neustadt/Weinstraße, Preisträger DNP 2013



16

Anhang A Beschreibung der Auswertegrößen

Anhang A 1 Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf kann durch unterschiedliche Arten von Energiequellen gedeckt werden. Der Primärenergiebedarf ist das Quantum an direkt aus der Hydrosphäre, Atmosphäre oder Geosphäre entnommenen Energie oder Energieträger, die noch keiner anthropogenen Umwandlung unterworfen wurde. Bei fossilen Energieträgern und Uran ist dies z.B. die Menge entnommener Ressourcen, ausgedrückt in Energieäquivalent (Energieinhalt der Energierohstoffe). Bei nachwachsenden Energieträgern wird z.B. die energetisch charakterisierte Menge eingesetzter Biomasse beschrieben. Bei Wasserkraft handelt es sich um die Energiemenge, die aus der Änderung der potenziellen Energie (aus der Höhendifferenz) des Wassers gewonnen wird. Als aggregierte Werte werden folgende Primärenergien ausgewiesen:
Der Summenwert **„Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar“**, angegeben in MJ, charakterisiert im Wesentlichen den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran. Erdgas und Erdöl werden sowohl zur Energieerzeugung als auch stofflich als Bestandteil, z.B. von Kunststoffen, eingesetzt. Kohle wird im Wesentlichen zur Energieerzeugung genutzt. Uran wird ausschließlich zur Stromgewinnung in Kernkraftwerken eingesetzt.
Der Summenwert **„Primärenergiebedarf erneuerbar“**, angegeben in MJ, wird in der Regel separat ausgewiesen und umfasst Wind- und Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse.
Es ist in jedem Fall wichtig, dass genutzte Endenergie (z.B. 1 kWh Strom) und eingesetzte Primärenergie nicht miteinander verrechnet werden, da sonst der Wirkungsgrad zur Herstellung bzw. Bereitstellung der Endenergie nicht berücksichtigt wird.
Der Energieinhalt der hergestellten Produkte wird als stoffgebundener Energieinhalt ausgewiesen. Er wird durch den unteren Heizwert des Produkts charakterisiert. Es stellt den noch nutzbaren Energieinhalt dar.

Anhang A 2 Treibhauseffekt (GWP)

Der Wirkungsmechanismus des Treibhauseffekts kann im kleineren Maßstab, wie der Name schon sagt, in Gewächs- oder Treibhäusern beobachtet werden. Dieser Effekt findet auch im globalen Maßstab statt. Die eintreffende kurzwellige Sonnenstrahlung trifft auf die Erdoberfläche und wird dort teilweise absorbiert (was zu einer direkten Erwärmung führt) und teilweise als Infrarotstrahlung reflektiert. Der reflektierte Anteil wird in der Troposphäre durch sogenannte Treibhausgase absorbiert und richtungsunabhängig wieder abgestrahlt, sodass es teilweise wieder zur Erde zurückgestrahlt wird. Dies führt zu einer weiteren Erwärmung.
Das Treibhauspotenzial wird in Kohlendioxid-Äquivalent (CO_2-Äqv.) angegeben. Dies bedeutet, dass alle Emissionen bezüglich ihres potenziellen Treibhauseffekts zu CO_2 ins Verhältnis gesetzt werden.

Anhang A 3 Versauerungspotenzial (AP)

Die Versauerung von Böden und Gewässern entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren. Daraus resultiert eine Verringerung des pH-Werts von Regenwasser und Nebel von 5,6 auf 4 und darunter. Relevante Beiträge hierzu liefern Schwefeldioxid und Stickoxide mit ihren Säuren (H_2SO_4 und HNO_3). Schäden entstehen an Ökosystemen, wobei an erster Stelle das Waldsterben zu nennen ist.
Das Versauerungspotenzial wird in Schwefeldioxid-Äquivalent (SO_2-Äqv.) angegeben.

Anhang A 4 Eutrophierungspotenzial (EP)

Unter Eutrophierung bzw. Nährstoffeintrag versteht man eine Anreicherung von Nährstoffen an einem bestimmten Standort. Man unterscheidet dabei zwischen aquatischem und terrestrischem Nährstoffeintrag. Beiträge zur Eutrophierung stammen aus Luftschadstoffen, Abwässern und der Düngung in der Landwirtschaft.
Das Eutrophierungspotenzial geht als Phosphat-Äquivalent (PO_4-Äqv.) in die Bilanz ein.

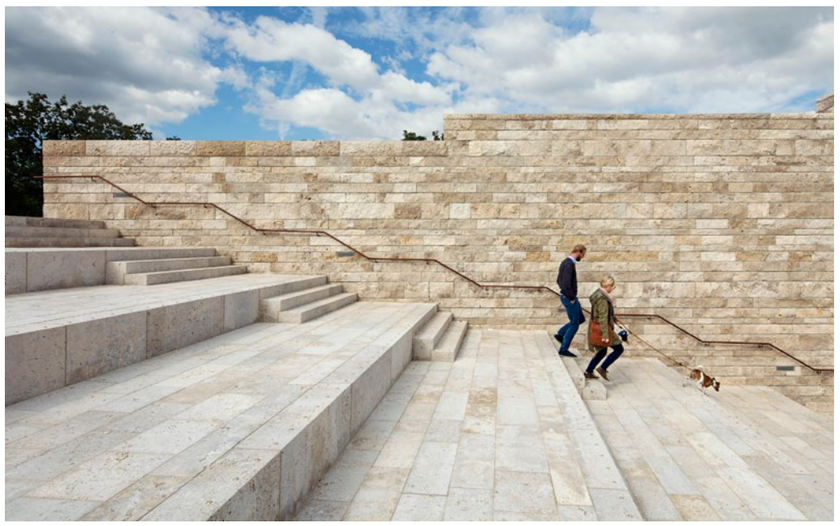
Anhang A 5 Photooxidanzienbildung (POCP)

Im Gegensatz zur Schutzfunktion in der Stratosphäre ist bodennahes Ozon als schädliches Spurengas einzuordnen. Photochemische Ozonbildung in der Troposphäre, auch als Sommersmog bezeichnet, steht im Verdacht, zu Vegetations- und Materialschäden zu führen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind humantoxisch.
Das Photooxidantienpotenzial (POCP) wird in der Ökobilanz als Ethen-Äquivalent (C_2H_4-Äqv.) angegeben.

Anhang A 6 Ozonabbaupotenzial (ODP)

Ozon entsteht in großen Höhen durch die Bestrahlung von Sauerstoff-Molekülen mit kurzwelligem UV-Licht. Dies führt zur Bildung der sogenannten Ozonschicht in der Stratosphäre (15 – 50 km Höhe). Rund 10 % des Ozons gelangen durch Vermischungsvorgänge in die Troposphäre. Trotz seiner geringen Konzentration ist die Wirkung des Ozons wichtig für das Leben auf der Erde. Ozon absorbiert die kurzwellige UV-Strahlung und gibt diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder ab. Nur ein Teil der UV-Strahlung gelangt auf die Erde. Durch anthropogene Emissionen kommt es zum Abbau der Ozonschicht.
Das Ozonabbaupotenzial wird für die jeweilige Substanz als R11-Äquivalent angegeben.

Grimmwelt Kassel
Besondere
Anerkennung
DNP 2018



17

Anhang B Datenkalkulation der Ökobilanzstudie

B.1 Berechnung Unterkonstruktion

B.1.1 Naturwerkstein – Pflasterstein inklusive Unterbau

Umweltauswirkungen: Naturwerkstein – Pflasterstein Konstruktion

Größe	Einheit	Produktions-stadium	Errichtungs-stadium	Nutzungs-stadium	Summe Emissionen pro m^2
GWP	Kg CO_2-Äqv.	2,240E+01	7,070E+00	0,000E+00	**2,947E+01**
ODP	Kg R11-Äqv.	5,752E-13	7,802E-12	0,000E+00	**8,377E-12**
AP	Kg SO_2-Äqv.	3,551E-02	1,158E-02	0,000E+00	**4,710E-02**
EP	Kg PO_4-Äqv.	6,846E-03	2,765E-03	0,000E+00	**9,611E-03**
POCP	Kg Ethen-Äqv.	1,814E-03	-3,802E-03	0,000E+00	**-1,987E-03**
PERT	MJ	1,094E+02	3,748E+00	0,000E+00	**1,132E+02**
PENRT	MJ	2,954E+02	6,325E+01	0,000E+00	**3,587E+02**

Tabelle 14:
Ökobilanz Natur-
werkstein – Pflaster-
stein – Konstruktion

Produktionsstadium:
Die Informationsmodule A1, A2 und A3 aus der Herstellungsphase sind deklariert und als ein aggregiertes Modul A1–A3 angegeben. Dabei wurden die Emissionen pro Quadratmeter Naturwerkstein mit dem Faktor 1,25 multipliziert, um von den 8 cm auf benötigte Dicke der Bodenplatte von 10 cm zu kommen. Daraus ergibt sich die benötigte Funktion: Emissionen pro Quadratmeter Naturwerksteinplatte bezogen auf eine Dicke von 10 cm.

Errichtungsstadium:
Das Modul A4 wurde mithilfe eines Datensatzes aus Ökobaudat berechnet, welcher sich auf Lkw-Transporte bezieht. Die Transportleistung beträgt 1.000 kg/km. Dazu wurden die Emissionen auf eine Transportentfernung von 100 Kilometer umgerechnet. Für die Montage A5 wurden die Werte vom Pflasterklinker herangezogen. Es wurde angenommen, dass sich die Montage der Naturwerksteinpflaster kaum von der der Pflasterklinker unterscheidet. Die Summe der beiden Module A4 und A5 wurde anschließend mit 260 kg/m^2 multipliziert, um auf die benötigte Dicke zu kommen. Es ergeben sich die Emissionen des Naturwerksteinpflasters pro Quadratmeter bezogen auf die Schichtdicke von 10 cm.

Nutzungsstadium:
Für Naturwerksteine fallen während der Referenz-Nutzungsdauer keine Umweltbelastungen im Lebenszyklus an, da in der Regel keine Maßnahmen für Reinigung oder Reparatur getroffen werden müssen. Weiter wird der Naturwerkstein in dem betrachteten Nutzungszeitraum nicht ausgetauscht. Aus diesem Grund wird angenommen, dass diesem Stadium keine oder nur vernachlässigbar geringe Emissionen zugeordnet werden.

B.1.2 Naturwerkstein – Platten inklusive Unterbau

Umweltauswirkungen: Naturwerksteinplatte Konstruktion					
Größe	Einheit	Produktions-stadium	Errichtungs-stadium	Nutzungs-stadium	Summe Emissionen pro m²
GWP	Kg CO_2-Äqv.	2,427E+01	8,815E+00	0,000E+00	**3,309E+01**
ODP	Kg R11-Äqv.	5,421E-13	1,092E-11	0,000E+00	**1,146E-11**
AP	Kg SO_2-Äqv.	3,972E-02	1,358E-02	0,000E+00	**5,330E-02**
EP	Kg PO_4-Äqv.	7,455E-03	3,240E-03	0,000E+00	**1,069E-02**
POCP	Kg Ethen-Äqv.	2,224E-03	-4,435E-03	0,000E+00	**-2,211E-03**
PERT	MJ	1,047E+02	4,377E+00	0,000E+00	**1,091E+02**
PENRT	MJ	3,224E+02	7,396E+01	0,000E+00	**3,964E+02**

Tabelle 15: Ökobilanz Naturwerkstein – Platten – Konstruktion

Produktionsstadium:
Die Informationsmodule A1, A2 und A3 aus der Herstellungsphase sind deklariert und als ein aggregiertes Modul A1–A3 angegeben. Dabei wurden die Emissionen pro Quadratmeter Naturwerkstein mit dem Faktor 1,75 multipliziert, um von den 8 cm auf die benötigte Dicke der Bodenplatte von 14 cm zu kommen. Daraus ergibt sich die benötigte Funktion: Emissionen pro Quadratmeter Naturwerksteinplatte bezogen auf eine Dicke von 14 cm.

Errichtungsstadium:
Das Modul A4 wurde mithilfe eines Datensatzes aus Ökobaudat berechnet, welcher sich auf Lkw-Transporte bezieht. Die Transportleistung beträgt 1.000 kg/km. Dazu wurden die Emissionen auf eine Transportentfernung von 100 Kilometer umgerechnet. Für die Montage A5 wurden die Werte vom Pflasterklinker herangezogen. Es wurde angenommen, dass sich die Montage der Naturwerksteinplatten kaum von der der Pflasterklinker unterscheidet. Die Summe der beiden Module A4 und A5 wurde anschließend mit 364 kg/m² multipliziert, um auf die benötigte Dicke zu kommen. Es ergeben sich die Emissionen der Naturwerksteinplatten pro Quadratmeter bezogen auf die Schichtdicke von 14 cm.

Nutzungsstadium:
Für Naturwerksteine fallen während der Referenz-Nutzungsdauer keine Umweltbelastungen im Lebenszyklus an, da in der Regel keine Maßnahmen für Reinigung oder Reparatur getroffen werden müssen. Weiter wird der Naturwerkstein in dem betrachteten Nutzungszeitraum nicht ausgetauscht. Aus diesem Grund wird angenommen, dass diesem Stadium keine oder nur vernachlässigbar geringe Emissionen zugeordnet werden.

Mainuferpromenade
Miltenberg
Besondere Anerkennung
DNP 2018



18

B.1.3 Betonwerkstein – Pflastersteine inklusive Unterbau

Umweltauswirkungen: Betonwerkstein – Pflasterstein Konstruktion					
Größe	Einheit	Produktions-stadium	Errichtungs-stadium	Nutzungs-stadium	Summe Emissionen pro m²
GWP	Kg CO_2-Äqv.	4,033E+01	6,431E+00	3,081E+01	**7,758E+01**
ODP	Kg R11-Äqv.	4,796E-10	6,752E-12	4,858E-10	**9,721E-10**
AP	Kg SO_2-Äqv.	5,808E-02	1,079E-02	4,817E-02	**1,170E-01**
EP	Kg PO_4-Äqv.	9,535E-03	2,575E-03	7,745E-03	**1,986E-02**
POCP	Kg Ethen-Äqv.	3,790E-03	-3,547E-03	1,082E-03	**1,325E-03**
PERT	MJ	1,275E+02	3,496E+00	2,687E+01	**1,579E+02**
PENRT	MJ	3,269E+02	5,895E+01	1,838E+02	**5,697E+02**

Tabelle 16: Ökobilanz Betonwerkstein – Pflasterstein – Konstruktion

Produktionsstadium:
Die Informationsmodule A1, A2 und A3 aus der Herstellungsphase sind deklariert und als ein aggregiertes Modul A1–A3 angegeben. Da sich die Ergebnisse aus der EPD schon auf 1 m² und 10 cm Schichtdicke beziehen, ist keine weitere Umrechnung erforderlich.

Errichtungsstadium:
Das Modul A4 ist nicht deklariert. Es wird angenommen, dass das Produkt mit einem Lkw zur Baustelle transportiert wird. Die Transportleistung beträgt 1.000 kg/km. Mit einem Gewicht von 225 kg/m² und einer Transportdistanz von 100 km wurden die Emissionen ermittelt. Für das Modul A5 wurde die Annahme getroffen, dass sich die Montage der Betonwerksteinpflaster kaum von der der Pflasterklinker unterscheidet und ebenfalls mit dem Gewicht von 225 kg/m² multipliziert. Aus der Summe der beiden Module ergeben sich die Emissionen des Betonwerksteinpflasters pro Quadratmeter bezogen auf die Schichtdicke von 10 cm.

Nutzungsstadium:
Das Nutzungsstadium ist nicht deklariert. Es wird die Annahme getroffen, dass während der Nutzung (Modul B1) keine Emissionen ausgestoßen werden. Des Weiteren wird von keiner Instandhaltung (Modul B2) oder Reparatur (Modul B3) innerhalb der gewählten Betrachtungsdauer ausgegangen. Die Emissionen im Nutzungsstadium entstehen allein aus dem Ersatz (Modul B4). Das Betonwerksteinpflaster muss alle 30 Jahre ausgetauscht werden, sprich einmal im Betrachtungszeitraum. So setzt sich das Modul B4 aus dem neuen Belag, dem Transport zur Baustelle, der Montage, dem Rücktransport des alten Belages zur Aufbereitung/Deponie und der Abfallbehandlung zusammen und wird zum Schluss mit dem Gewicht von 225 kg/m² multipliziert.



19

Pflasterbelag aus Betonwerkstein

B.1.4 Betonwerkstein – Platten inklusive Unterbau

Umweltauswirkungen: Betonwerksteinplatte Konstruktion					
Größe	Einheit	Produktions-stadium	Errichtungs-stadium	Nutzungs-stadium	Summe Emissionen pro m²
GWP	Kg CO_2-Äqv.	5,879E+01	8,329E+00	5,291E+01	**1,200E+02**
ODP	Kg R11-Äqv.	9,572E-11	9,872E-12	1,051E-10	**2,107E-10**
AP	Kg SO_2-Äqv.	9,740E-02	1,315E-02	9,425E-02	**2,048E-01**
EP	Kg PO_4-Äqv.	1,520E-02	3,139E-03	1,500E-02	**3,334E-02**
POCP	Kg Ethen-Äqv.	3,031E-03	-4,305E-03	-5,699E-04	**-1,843E-03**
PERT	MJ	1,771E+02	4,247E+00	8,491E+01	**2,663E+02**
PENRT	MJ	4,865E+02	7,172E+01	3,807E+02	**9,389E+02**

Tabelle 17: Ökobilanz Betonwerkstein – Platten – Konstruktion

Produktionsstadium:
Die Informationsmodule A1, A2 und A3 aus der Herstellungsphase sind einzeln deklariert. Die angegebenen Emissionen beziehen sich auf 1 m² Betonwerkstein mit einer Dicke von 8 cm. Um auf die gewünschte Dicke von 14 cm zu kommen, werden die Module in ihrer Summe mit dem Faktor 1,75 multipliziert. Es ergeben sich die Emissionen der Betonwerksteinplatte pro Quadratmeter bezogen auf die Schichtdicke von 14 cm.

Errichtungsstadium:
Das Modul A4 wurde mithilfe eines Datensatzes aus Ökobaudat berechnet, welcher sich auf Lkw-Transporte bezieht. Die Transportleistung beträgt 1.000 kg/km. Dazu wurden die Emissionen auf eine Transportentfernung von 100 Kilometer umgerechnet. Für die Montage A5 wurden die Werte vom Pflasterklinker herangezogen. Es wurde angenommen, dass sich die Montage der Betonwerksteinplatten kaum von der der Pflasterklinker unterscheidet. Die Summe der beiden Module A4 und A5 wurde anschließend mit 329 kg/m² multipliziert, um auf die benötigte Dicke zu kommen. Es ergeben sich die Emissionen der Betonwerksteinplatten pro Quadratmeter bezogen auf die Schichtdicke von 14 cm.

Nutzungsstadium:
Für die Betonwerksteinplatte fallen während der Referenz-Nutzungsdauer keine Umweltbelastungen im Lebenszyklus an außer im Ersatz (Modul B4). In der Regel müssen keine Maßnahmen für Reinigung oder Reparatur getroffen werden, jedoch wird die Betonwerksteinplatte in dem betrachteten Nutzungszeitraum einmal ausgetauscht. Aus diesem Grund werden die Emissionen für neuen Belag, den Transport zur Baustelle, der Montage, den Rückstransport des alten Belages zur Aufbereitung/Deponie und der Abfallbehandlung hier nochmals hinzuaddiert und mit dem Faktor 329 multipliziert.

Platzfläche mit Betonwerkstein-platten



20

B.1.5 Pflasterklinker – Pflastersteine inklusive Unterbau

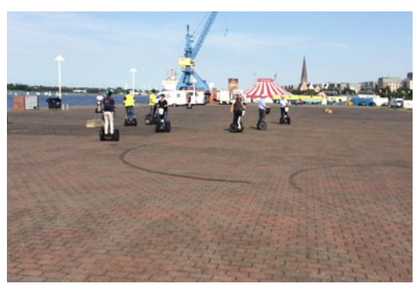
Umweltauswirkungen: Pflasterklinker – Pflasterstein Konstruktion					
Größe	Einheit	Produktions-stadium	Errichtungs-stadium	Nutzungs-stadium	Summe Emissionen pro m²
GWP	Kg CO_2-Äqv.	6,890E+01	6,899E+00	5,912E+01	**1,349E+02**
ODP	Kg R11-Äqv.	7,167E-10	1,607E-11	7,386E-10	**1,471E-09**
AP	Kg SO_2-Äqv.	2,080E-01	1,541E-02	2,010E-01	**4,243E-01**
EP	Kg PO_4-Äqv.	1,671E-02	3,219E-03	1,515E-02	**3,508E-02**
POCP	Kg Ethen-Äqv.	1,196E-02	-3,407E-03	1,022E-02	**1,877E-02**
PERT	MJ	1,653E+02	1,872E+00	6,227E+01	**2,294E+02**
PENRT	MJ	1,002E+03	6,744E+01	8,574E+02	**1,927E+03**

Tabelle 18: Ökobilanz Pflasterklinker – Konstruktion

Produktionsstadium:
Die Informationsmodule A1, A2 und A3 aus der Herstellungsphase sind deklariert und als ein aggregiertes Modul A1–A3 angegeben. Die Emissionen Pflasterklinker beziehen sich auf eine Tonne. Deshalb wurden die Werte mit dem Faktor 0,21 multipliziert, da nur 210 kg Material auf einen Quadratmeter benötigt wird. Daraus ergibt sich die benötigte Funktion: Emissionen pro Quadratmeter Pflasterklinker bezogen auf eine Dicke von 10 cm.

Errichtungsstadium:
Im Stadium der Errichtung des Straßenbelags finden sich die deklarierten Module Transport A4 und der Einbau A5. Beide Module haben festgelegte Werte. Die Werte von A5 liegen der Abfallbehandlung der Verpackungsmaterialien zugrunde. Die Erstellung der funktionellen Einheit erfolgt wieder durch Multiplikation mit dem Faktor 0,21.

Nutzungsstadium:
Für die Pflasterklinker fallen im Nutzungsstadium während der Referenz-Nutzungsdauer lediglich Umweltbelastungen im Ersatz (Modul B4) an, da der Belag nach 30 Jahren einmal ausgetauscht werden muss. Hier werden die Werte für den neuen Belag, den Transport zur Baustelle, die Montage, den Rücktransport des alten Belages zur Aufbereitung/Deponie und der Abfallbehandlung nochmals aufaddiert und mit dem Faktor 0,21 multipliziert. Abgesehen vom Ersatz fallen keine weiteren Emissionen im Lebenszyklus an, da Ziegel laut EPD keine umwelt- und gesundheitsgefährdenden Stoffe während der Nutzung emittiert. Weiter müssen keine Maßnahmen für Reinigung oder Reparatur getroffen werden. Aus diesem Grund wird angenommen, dass sonst keine oder nur vernachlässigbar geringe Emissionen zugeordnet werden.



21 Platzfläche mit Pflasterklinker

B.1.6 Asphalt – Asphaltdecke inklusive Unterbau

Umweltauswirkungen: Asphalt – Asphaltdecke Konstruktion					
Größe	**Einheit**	**Produktions-stadium**	**Errichtungs-stadium**	**Nutzungs-stadium**	**Summe Emissionen pro m²**
GWP	Kg CO_2-Äqv.	4,063E+01	3,940E+00	3,024E+01	**7,481E+01**
ODP	Kg R11-Äqv.	6,879E-13	1,783E-15	1,493E-13	**8,390E-13**
AP	Kg SO_2-Äqv.	7,051E-02	9,282E-03	5,988E-02	**1,397E-01**
EP	Kg PO_4-Äqv.	1,251E-02	2,215E-03	1,044E-02	**2,516E-02**
POCP	Kg Ethen-Äqv.	-6,976E-05	1,851E-02	1,904E-02	**3,748E-02**
PERT	MJ	1,286E+02	3,171E+00	3,297E+01	**1,647E+02**
PENRT	MJ	1,321E+03	5,314E+01	1,473E+03	**2,847E+03**

Tabelle 19: Ökobilanz Asphalt – Asphaltdecke – Konstruktion

Produktionsstadium:
Die Informationsmodule A1, A2 und A3 aus dem Produktionsstadium sind deklariert und als ein aggregiertes Modul A1–A3 angegeben. Die Emissionen beziehen sich auf 1 kg. Deshalb wurden die Werte mit dem Faktor 96 multipliziert, da 96 kg Material pro einen Quadratmeter verbaut werden. Daraus ergibt sich die benötigte Funktion: Emissionen pro Quadratmeter Asphalt bezogen auf eine Dicke von 4 cm.

Errichtungsstadium:
Das Modul A4 wurde mithilfe eines Datensatzes aus Ökobaudat berechnet, welcher sich auf Lkw-Transporte bezieht. Die Transportleistung beträgt 1.000 kg/km. Dazu wurden die Emissionen pro Kilogramm auf eine Transportentfernung von nur 50 Kilometer anstelle der sonst verwendeten 100 Kilometer umgerechnet, da der Asphaltlieferradius maximal 50 Kilometer beträgt [4]. Das Modul Montage A5 war, so wie das Produktionsstadium, im Ökobaudat pro Kilogramm deklariert. Die Summe der beiden Module A4 und A5 wurde anschließend mit 96 kg/m² multipliziert, um auf die benötigte Dicke zu kommen. Es ergeben sich die Emissionen des Asphalts pro Quadratmeter bezogen auf die Schichtdicke von 4 cm.

Nutzungsstadium:
Für den Asphalt fallen im Nutzungsstadium während der Referenz-Nutzungsdauer lediglich Umweltbelastungen im Ersatz (Modul B4) an, da der Belag nach 25 Jahren einmal ausgetauscht werden muss. Hier werden die Werte für den neuen Belag, den Transport zur Baustelle, die Montage, den Rücktransport des alten Belages zur Aufbereitung/Deponie und der Abfallbehandlung nochmals aufaddiert und mit dem Faktor 96 multipliziert. Abgesehen vom Ersatz fallen keine weiteren Emissionen im Lebenszyklus an. Weiter müssen keine Maßnahmen für Reinigung oder Reparatur getroffen werden. Aus diesem Grund wird angenommen, dass sonst keine oder nur vernachlässigbar geringe Emissionen zugeordnet werden.

Verkehrsfläche mit Asphaltbelag



22

Wir bedanken uns bei unseren **Partnern** für die großzügige Unterstützung dieser Nachhaltigkeitsstudie für Bodenbeläge:

Kusser Granitwerke GmbH
Dreiburgenstraße 5
94529 Aicha vorm Wald

VGB Naturstein GmbH
Vilshofener Straße 30
94538 Fürstenstein

Bamberger Natursteinwerk Hermann Graser GmbH
Dr.-Robert-Pfleger-Straße 25
96052 Bamberg

NVS
Naturstein-Verband Schweiz
Seilerstrasse 22
Postfach
CH-3001 Bern

Berbinger Granitwerk Georg Zankl GmbH
Schulerbruch 50
94051 Hauzenberg

Impressum

Herausgeber:
DNV
Deutscher Naturwerkstein-Verband e.V.
Sanderstraße 4
97070 Würzburg
Telefon 0931/1 20 61
Telefax 0931/1 45 49
www.natursteinverband.de

Gestaltung:
allegria design – Oppermann München
www.allegriadesign.de

Redaktion:
Reiner Krug, Jana Kern

Copyright:
Printed in Germany 2021

Druck: bonitasprint, Würzburg

Fotonachweis ©:
Umschlag vorne: Kusser Granitwerke GmbH
Umschlag hinten: oben: Annette Barnett;
unten: Kusser Granitwerke GmbH,
Foto: Wolfgang Dürr

Abbildungen im Innenteil:
1 Sibylle Neuberth-Scholl, 2 Hertha Hurnaus, 3 Manuel Bauer, 4 Jürg Zollinger, 5 Marcus Ebener, 6 VGB Naturstein GmbH, 7 Hans-Jörg Wöhrle, 8 PublicDomainPictures Pixabay, 9 Pixabay.com, 10–12 Wolfgang Schück, 13+14 Bamberger Natursteinwerk Hermann Graser GmbH / ehlers-media.com, 15 Saeed Alami, 16 Wolfgang Schück, 17 Jan Bitter, 18 Hagen Fotografie, 19 DNV, 20 zhudifeng by 123rf.com, 21 DNV, 22 faris mohammed by unsplash.com

Wir danken unseren Mitgliedsbetrieben für das Bereitstellen des Bildmaterials.

Der Inhalt dieser Studie, insbesondere alle Texte, Bilder, Grafiken, Logos und in dem Zusammenhang stehenden Downloadmaterialien sind urheberrechtlich geschützt. Das Vervielfältigen von Texten, Textausschnitten und Bildmaterialien (Print und Online) unterliegt der Zustimmung des Deutschen Naturwerkstein-Verbandes (DNV). Dieser gewährt im Rahmen des geltenden Presse- und Urheberrechts für publizistische Zwecke die Verwendung und das Abdrucken der Texte. Hierbei ist der DNV als Quelle/Urheber zu nennen und ein Belegexemplar an die DNV-Geschäftsstelle zu senden.

Ein zusätzlicher Beitrag, Ressourcen zu schonen:
Die Nachhaltigkeitsstudie des DNV wurde auf Recyclingpapier (Circle Offset Premium White), das mit dem Blauen Engel ausgezeichnet ist, gedruckt. Dieses Papier wird klimaneutral und ohne Zusatz von optischen Aufhellern und Chlorbleiche aus Altpapier hergestellt. Der Blaue Engel gilt als eines der weltweit strengsten Umweltzeichen. Die bei der Herstellung für diese Studie entstandenen CO_2-Emissionen bei Druck und Produktion hat der DNV neutralisiert. Dazu wurde am 22.07.2021 mit der Transaktionskennung DE-204-KLTB54X die entsprechende Menge an CO_2-Emission ausgeglichen.



zukunft. naturstein
NATÜRLICH NACHHALTIG

Eine Initiative des DNV
www.zukunftnaturstein.de

DNV

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:

Gestaltung: www.allegriadesign.de