

Das Pantheon in Rom – nachhaltig?

Walter Seelig, walter.seelig@stud.unibas.ch
 Oliver Kirschbaum, zpf-Ingenieure Basel, info@zpfing.ch
 Departement Altertumswissenschaften, Universität Basel
 Übung: Eine Frage der Nachhaltigkeit? Innovation und Technik in der griechischen und römischen Antike, HS 23

1. Einleitung

Ist das Pantheon von Rom aus der Sicht und den Kriterien von heute nachhaltig? Solche Fragen werden aktuell in der Tagespresse diskutiert.



1 Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 14. August 2023

Das Pantheon ist insbesondere berühmt wegen seiner Beton-Kuppel. Wenn man hypothetisch die Herstellung der Kuppel des Pantheons mit einer gleichartigen, heutigen Beton-Kuppel vergleicht, kann die obige Frage der Nachhaltigkeit von Beton untersucht werden.

2. Die Kuppel des Pantheon



1 Giovanni Panini (1734): Die Kuppel des Pantheons in Rom (<https://www.nga.gov/collection/art-object-page.165.html>).

Die Kuppel des Pantheons besteht aus Beton, dem römischen *Opus caementicium* und hat ein Gewicht von 4'535 t. Die Nachhaltigkeitsfrage kann anhand des CO₂-Ausstosses der Betonherstellung und der «Lebensdauer» dieser Kuppel beurteilt werden.

3. Opus caementicium («röm. Beton»)

Gemäss der Rezeptur des römischen Architekten Vitruvius (1. Jh. v. Chr.) wird *Opus caementicium* aus 1/3 Branntkalk und 2/3 Sand/Quarz/Puzzolanen etc. hergestellt. Der CO₂-Ausstoss ergibt sich durch die Herstellung des Branntkalks. Die übrigen Faktoren für einen CO₂-Ausstoss (Transport, Entsorgung ...) sind in dieser Betrachtung so gering, dass sie für eine approximative Schätzung vernachlässigt werden können. Das Ausmass des CO₂-Ausstosses bei der Branntkalk-Herstellung in römischer Zeit konnte, anhand von nachgebauten römischen Kalkbrennöfen und entsprechenden historischen Brennversuchen, berechnet werden.

4. Nachhaltigkeit beim Beton

Der CO₂-Ausstoss bei der Betonherstellung in römischer Zeit ergibt sich im Wesentlichen durch den Energieverbrauch bei der Produktion von Branntkalk. In der heutigen Zeit entspricht dies der Zement-Herstellung. Mit Hilfe des «ecotools» von zpf-Ingenieure wurde der CO₂-Ausstoss durch die Beton-Herstellung bei der Pantheonkuppel mit demjenigen einer hypothetischen Kuppel von heute verglichen.

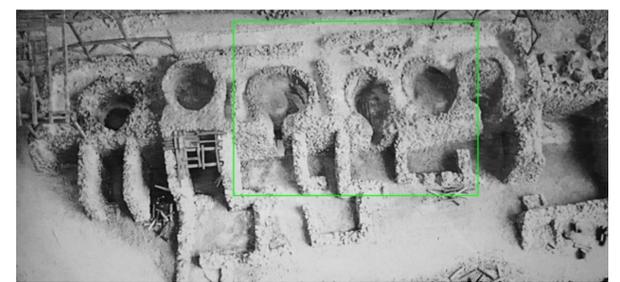
Beton Pantheon		Beton Kuppel von heute	
Total kg CO ₂ -eq	2'766'350	Total kg CO ₂ -eq	634'900
kg CO ₂ -eq/Jahr Amortisation 60 Jahre	46'106	kg CO ₂ -eq/Jahr Amortisation 60 Jahre	10'582
kg CO ₂ -eq/Jahr Amortisation ca. 2'000 Jahre	1'383	kg CO ₂ -eq/Jahr Amortisation ca. 2'000 Jahre	317

3 CO₂-Ausstoss bei der Herstellung der Kuppel (Tabelle: Walter Seelig)

Der «römische Beton» des Pantheons schneidet bei der Herstellung und dem CO₂-Ausstoss wie erwartet schlechter ab als der heutige Beton (um etwa das 4-fache, s. Abb. 3 blaue Zeile). Wenn dies allerdings mit der Nutzungsdauer korreliert wird, kehrt sich das Verhältnis um. Beim heutigen Beton wird von einer durchschnittlichen Nutzung von 60 Jahren ausgegangen (Abb. 3 gelb). Die Pantheonkuppel, mit einer Nutzungsdauer von annähernd 2'000 Jahren (Abb. 3 grün), steht nun viel besser da, und ist bei dieser Betrachtung um ein 7-faches nachhaltiger als eine heutige Kuppel.

5. Römischer Kalkbrennofen

In Iversheim/D-Eifel wurden 6 römische Kalkbrennöfen aus dem 3. Jh. n. Chr. ausgegraben. Anhand der archäologischen Erkenntnisse konnte ein Kalkbrennofen nachgebaut und für einen historischen Brennversuch eingesetzt werden.



4 Ausgrabungen von römischen Kalkbrennöfen in Iversheim/D (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Kalkbrennerei-Iversheim-Modell.jpg?uselang=de>)

Die Herstellung von Branntkalk dauerte in römischer Zeit etwa 1 Woche und benötigte Temperaturen von 800°-1'000° C.

6. Berechnungsgrundlagen

- Der Holzverbrauch zur Herstellung von 1'000 kg Branntkalk betrug bei den Brennversuchen von Iversheim/D 4 m³ Holz (= 4 Ster).
- Bei ähnlichen Brennversuchen in Sur-En im Val d'Uina/CH wurden 2,12 m³ und in Valchava/CH-Val Müstair 2 m³ Holz verbraucht.
- Bei der Verbrennung von 1'000 kg Holz ergibt sich ein CO₂-Ausstoss von 1'830 kg.
- Dies sind die Berechnungsgrundlagen der Tabelle (Abb. 3).

7. Zusammenfassung

Die Nachhaltigkeit von Beton kann am Ausmass des CO₂-Ausstosses und der Dauer seines Gebrauchs beurteilt werden. Der CO₂-Ausstoss entsteht zur Hauptsache bei der Herstellung des Betons. Die Herstellung des heutigen Betons ist deutlich nachhaltiger als beim damaligen *Opus caementicium*. Mit der langen Dauerhaftigkeit des „römischen Betons“ von annähernd 2'000 Jahren und der kurzen Dauerhaftigkeit unseres heutigen Betons fällt die Nachhaltigkeitsbilanz schlussendlich zugunsten des römischen Betons aus. Dies beschäftigt die aktuelle Bauforschung. An der ETH/CH, am MIT/USA und weiteren Institutionen waren die Erkenntnisse aus der Zusammensetzung des *Opus caementicium* unter anderem Ursprung für die Forschung zur Weiterentwicklung unserer heutigen Zemente.