

Christoph Weber & Nikolaus Eckhard (Hg.)

REVERSE
IMAGINING
VIENNA

ANTHROPOGENE MASSE
UND IHRE SPEKULATIVEN ZUKÜNFTEN

AUSSTELLUNG
& TEXTE

REVERSE IMAGINING VIENNA

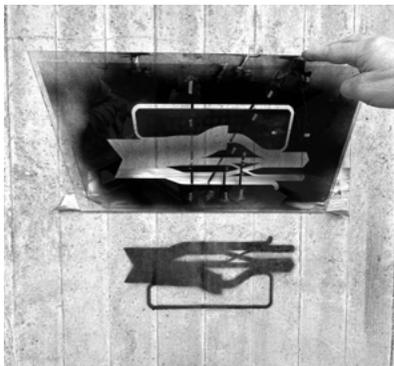
ANTHROPOGENE
MASSE UND
IHRE SPEKULATIVEN
ZUKÜNFTEN

REVERSE IMAGINING VIENNA

ANTHROPOGENE MASSE
UND IHRE SPEKULATIVEN ZUKÜNFTEN



Christoph Weber &
Nikolaus Eckhard (Hg.)



Logo: Spaceship Earth

Redrawn after Haas; Krausmann;
Wiedenhofer; Lauk; Mayer. *Flows
of fossil materials, biomass, metals
and (non-metallic) minerals through
the global economy in 2015*. Siehe
Seite 127. Universität für Boden-
kultur Wien (BOKU), Department für
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften,
Institut für Soziale Ökologie; 2020.
[https://doi.org/10.1016/j.resconrec.
2020.105076](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105076)

Vorwort und Einleitung

Seit dem Jahr 2020 ist der globale Bestand der von Menschen gemachten Masse höher als jener der Biomasse – etwa 90 Prozent davon sind Baumaterialien. Im Projekt Reverse Imagining Vienna nehmen zwei Bildhauer und neun Schriftsteller*innen ein Wiener Gründerzeithaus und eine Autobahnbrücke über die Donau als Material- und Spekulationsanker, um Perspektiven auf nachhaltige Beziehungen mit unbelebter Materie zu gewinnen und somit Handlungsspielräume für die Zukunft zu erweitern.

Die Menschheit und besonders jene Gesellschaftsmodelle, die danach streben, mit (fossil-)extraktivistischen Wirtschaftssystemen endloses Wachstum zu erzeugen, sind zu einer geologischen Macht geworden. Bei gleichbleibenden Trends wird die angesammelte Menge an extrahierter und verarbeiteter Masse – die anthropogene Masse – bis 2040 das Dreifache der globalen Biomasse betragen, was Handlungsspielräume zukünftiger Generationen hinsichtlich einer Abwendung voranschreitenden Biodiversitätsverlusts weiter einschränken wird. Angesichts des Ausmaßes extraktivistischer Massebewegungen schreibt der Historiker und Politikwissenschaftler Achille Mbembe: *“If, in fact, humanity has been transformed into a geological*

force, then we can not speak of history as such. All history, including the history of power, is now, by definition, geo-history.” (MBEMBE, 2024) Ausgehend von Achille Mbembes Begriff der Geo-Geschichte möchten wir von einer Geo-Zukunft sprechen: Unsere heutigen Handlungen und Weichenstellungen für Handlungen in der nahen und fernen Zukunft sind mit einer geomorphen Macht ausgestattet, die frühere Generationen menschlicher Gemeinschaften nicht in diesem Maße hatten. Diesen geomorphen Wirkmächten steht ein krisenhaftes Verhältnis zur Zukunft gegenüber, das alternative ökonomische Konzepte nicht aufkommen lässt und Handlungsspielräume hinsichtlich des Ziels eines guten Lebens für alle innerhalb planetarer Grenzen reduziert.

Die Philosophin Susanne Witzgall und die Kunsttheoretikerin Kerstin Stakemeier verweisen auf einen schrittweisen gesellschaftlichen Verlust der Zukunft seit den 1970er-Jahren und diagnostizieren eine heute überwiegend pessimistische Grundhaltung: „Zukunft scheint für viele von uns oft nur mehr negativ greifbar oder wird in tagtäglichen Verdrängungstaktiken ausgeblendet, während Futurologen im Auftrag von Wirtschaft und Politik unentwegt Szenario-planungen und Vorausberechnungen erstellen, mit der jene sich in illusorischer Sicherheit wiegen, auf das vorbereitet zu sein, was kommt. Inmitten dieser paradoxen Kombination aus lähmendem Unbehagen und technokratischem Aktionismus scheint die Vorstellung einer offenen Zukunft und eines wie auch immer gearteten positiven Blicks in Richtung morgen verstellt zu sein.“ (WITZGALL & STAKEMEIER, 2016) Der „Verlust der Zukunft“ folgt dabei zwei Tendenzen: Einerseits besteht eine kollektive Lähmung des Blicks in die Zukunft aufgrund des Auftretens diverser neuer Ängste, die Ausdruck einer planetarischen Krise sind. Andererseits erfolgt eine von den

Kommunikationstechnologien des Kapitalismus beförderte Depersonalisierung und Vereinzelung, die kollektives Zukunftsdenken verunmöglicht.

Die Soziologin Elena Esposito beleuchtet das Verhältnis von Gegenwart und Zukunft durch die Differenzierung zweier Bedeutungen der Zukunft: Erstens die Zukunft als imaginierte Realität – als Bild, das wir uns in der Gegenwart von der Zukunft machen und das sie „gegenwärtige Zukunft“ nennt; zweitens als tatsächliche Realität, die in der Zukunft als Gegenwart eintreten wird, und die sie „zukünftige Gegenwart“ nennt. (ESPOSITO, 2016) Die zuvor angesprochene „Zukunftsmüdigkeit“ wird nichts daran ändern, dass Zukunft als Gegenwart eintreten wird. Gleichsam würde auch die höchste „Zukunftswachsamkeit“ nichts daran ändern, dass sich die Zukunft nicht aus der Gegenwart bestimmen lässt. Das Problem des Verlusts der Zukunft besteht vielmehr darin, dass sie einer Passivität Vorschub leistet, die den potenziellen gestalterischen Raum unseres gegenwärtigen Handelns nicht wahrnimmt.

Ein möglicher Aufgabenbereich von Wissenschaft und Kunst ist es, „neue Annäherungsmöglichkeiten an das Morgen“ zu erforschen und die diagnostizierte Desillusionierung und Zukunftsmüdigkeit mit interdisziplinär informierter spekulativer Praxis zu überwinden. (WITZGALL, 2016)

Spekulative Praxis

Wie kann sich künstlerische Forschung mittels spekulativer Praxis und infolgedessen mittels imaginierter Realitäten in die tatsächliche zukünftige Gegenwart einschreiben? Bei spekulativen Techniken kann es nicht darum gehen, Szenarien zu entwickeln, die in der Zukunft Gegenwart werden. Statt eines Vorhersehens oder gar Provozierens von möglicher Zukunft geht es vielmehr um ein grundsätzliches Öffnen von Gestaltungsraum, der sich eben nicht in der Zukunft, sondern in der Gegenwart befindet. „Wenn wir daraus ein Prinzip ableiten wollen, das unsere Beziehung mit der Zukunft leitet, könnten wir sagen, dass der Imperativ sein muss, Möglichkeiten zu produzieren. Es stimmt nicht, dass in der Zukunft alles möglich ist. Die künftigen Möglichkeiten entstehen nicht von selbst. Sie müssen möglich gemacht werden, um sich dann mit ihrer Kontingenz auseinanderzusetzen.“ (ESPOSITO, 2016)

Das Projekt *Reverse Imagining Vienna (RIV)* gab Literat*innen, Künstler*innen und Wissenschaftler*innen einen Rahmen, gemeinsam anhand von gebauten Realitäten über Zukünfte zu spekulieren, um Möglichkeiten für die zukünftige Gegenwart zu produzieren. Der Ansatz dabei war, Materie nicht aus rein anthropozentrischer Sicht zu betrachten, sondern wichtige anthropogene Materialien erstens aus der Sicht ihrer biogeochemischen Herkunft und möglichen Zukunft zu betrachten und zweitens deren sozial-ökologische sowie kulturhistorische Aspekte in lokaler und globaler Dimension zu beleuchten. In einem dritten Schritt sollten entlang der spezifischen Lokalitäten und Materialien spekulative Geo-Zukünfte skizziert werden, die nicht nur weit über aktuelle Klimaziele hinausreichen, sondern auch langfristige Interaktionen mit menschlichen und nicht-menschlichen

Gemeinschaften berücksichtigen und sogar ihre geologische Zeitlichkeit als Horizont heranziehen.

Bezugnehmend auf das sogenannte Reverse Engineering wurden beim Reverse Imagining zwei Bauwerke historisch, materialanalytisch, poetisch und visionär de- und wieder rekonstruiert: Ein Gründerzeithaus im vierten Wiener Gemeindebezirk und die Praterbrücke, die den zweiten mit dem zweiundzwanzigsten Bezirk verbindet.

Die für die Fallbeispiele relevantesten anthropogenen Materialien wurden identifiziert und hinsichtlich sozial-ökologischer und kultureller Aspekte analysiert. Zudem wurden aus den beiden Bauwerken Materialproben entnommen und auf Herkunft, Zusammensetzung und Transportwege untersucht.

Die für *RIV* eingeladenen Schriftsteller*innen wurden beauftragt, entlang der gewonnenen Erkenntnisse acht spekulative Szenarien für jeweils eines der beiden Objekte in vier unterschiedlichen Zukünften zu entwerfen. Die Entwicklung der literarischen Texte erfolgte mit folgenden zeitlichen Vorgaben:

- I. Das Jahr 2050 (Ziel, die Erderwärmung bei 1.5 °C zu stoppen.)
- II. Das Jahr 2500 (500 Jahre Neuzeit als Zeitspanne in die Zukunft projiziert.)
- III. Das Jahr 12000 (seit etwa 10 000 Jahren ist der Mensch sesshaft – gebaute Strukturen und Mobilität veränderten sich wesentlich.)
- IV. 15 Mio. Jahre in der Zukunft (vor 15 Mio. Jahren bildete sich im Paratethys Meer der Kalkstein der Region.)

In Wechselwirkung mit den literarischen Spekulationen wurden die theoretisch und poetisch dekomponierten Objekte wieder mit der physischen Gegenwart verknüpft und zu neuen

Körpern zusammengesetzt. Bildhauerisch forschend wurden dabei künstlerische Arbeiten entwickelt, die zwischen künstlichen Fossilien, spekulativem Design, konzeptuellen Skulpturen und Bühnenbild oszillieren.

Die Autor*innen und Künstler*innen wurden während des gesamten Prozesses von den wissenschaftlichen Kooperationspartner*innen beraten.

Der erste Band *Reverse Imagining Vienna: Literatur-Reader* beinhaltet die acht Kurzprosatexte der Schriftsteller*innen; er erschien bereits anlässlich der Ausstellung *Reverse Imagining Vienna* im Angewandte Interdisciplinary Lab (AIL) im Mai 2024, die Teil der Klima Biennale Wien war.

Der vorliegende *Band II* ist die abschließende Dissemination des Projekts und fokussiert auf die skulpturalen Ergebnisse sowie auf geologische, sozial-ökologische, stadtmorphologische und kulturhistorische Kontextualisierungen.

Aufbau der Publikation

Im ersten Beitrag *Geologie anthropozäner Zukünfte von Wien* beschreibt Michael Wagreich prognostizierte geologische Zukünfte der Region Wien und stellt sie aktuellen Debatten hinsichtlich der Definition des Anthropozäns als geologische Epoche gegenüber. Entlang wachsender Berge, emittierter Treibhausgase und des beständigen Mahlens des Donaustroms schreitet er die vier Zeitsprünge ab, die den Horizont des Projekts ausmachen und die Szenarien der Kurzprosatexte im *Band I* bestimmen.

Im Kapitel *Material- und Spekulationsanker* beschäftigen sich Christoph Weber und Nikolaus Eckhard mit der Kulturgeschichte der beiden im Zentrum des Projekts stehenden Bauwerke. Dabei wird eine Geschichte Wiens skizziert, die – zwischen den halböffentlichen Spucknäpfen des Gründerzeitparterres, der juristischen Etablierung der Straßenverkehrsordnung und dem Entfalten und Knicken der Autobahnbrücke – das Verhältnis der Stadt zu öffentlichem und privatem Raum, nationalsozialistischen Einschreibungen und dem Themenfeld Mobilität und Wohnen neben dem historisch mäandernden Donaustrom beleuchtet. Anschließend werden die neun anthropogenen Materialien, die in den beiden Objekten ausgewählt wurden, genauer betrachtet. Sie wurden hinsichtlich ihrer Verwendung im Objekt, ihrer Herkunft und Herstellung sowie fallweise ihrer Transportwege und Quantitäten beleuchtet.

Das Kapitel *Materialproben* stellt die Ergebnisse der Materialanalysen vor, die Johannes Weber mittels Dünnschliff und Rasterelektronenmikroskop an den Materialproben von Ziegeln, Granit, Kalkstein, Mörtel und Beton der beiden Bauwerke gewinnen konnte.

Das anschließende Kapitel *Ausstellung* präsentiert die künstlerischen Arbeiten, die im Mai 2024 im Angewandte Interdisciplinary Lab (AIL) in Wien zu sehen waren.

Im abschließenden Kapitelblock *Neun Anthropogene Materialien* stellen Josepha Edbauer, Peter Fichtinger, Sebastian Hafner, Tess Posch, Christoph Weber und Nikolaus Eckhard neun Dossiers vor, die zu den spezifischen anthropogenen Materialien im Laufe des Projekts entwickelt wurden. Ziegel, Holz, Glas, Kalkstein, Kunststoff, Stahl, Granit, Asphalt und Beton werden kulturhistorisch aufgearbeitet sowie umweltwissenschaftlich und den gesellschaftlichen Stoffwechsel betreffend analysiert.

Peter Fichtinger und Sebastian Hafner geben einen einleitenden Überblick über das Feld der Sozialen Ökologie und beschreiben darin die Metapher des *“Spaceship Earth”*, das als abgeschlossenes System die Stoffflüsse der globalen Wirtschaft abbildet. Die Darstellung der aktuellen Materialströme im „Raumschiff Erde“ bildet das Logo des Projekts sowie das Cover der Publikation.

Die vorliegende Publikation entstand im Zuge des künstlerischen Forschungsprojekts *Reverse Imagining Vienna*, das von 2021 bis 2024 an der Universität für angewandte Kunst Wien situiert war und von der Kulturabteilung der Stadt Wien MA 7 finanziert wurde. Die Ausstellung im AIL inklusive der Lesungen der Schriftsteller*innen und die beiden Bände der Publikation wurden weiters großzügig unterstützt von: Bundesministerium für Kunst, Kultur, öffentlicher Dienst und Sport; Formatreihe Angewandte Praxis; Bundesdenkmalamt – Kartause Mauerbach; Zentrum Fokus Forschung, Support Kunst und Forschung und Publikationsabteilung der Universität für angewandte Kunst Wien; Klima Biennale Wien; Kulturabteilung der Stadt Wien MA 7 Druckkostenzuschuss; Verlag für Moderne Kunst.

TEILNEHMENDE WISSENSCHAFTLER*INNEN

Prof.in Angelika Psenner – *Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen, TU Wien* – beriet hinsichtlich Gründerzeit, Stadtmorphologie und Zukunftsbilder aus städtebaulicher Sicht.

DI.in Barbara Laa, BSc – *Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien* – beriet zu gegenwärtigen und potenziellen künftigen Mobilitätsentwicklungen.

Prof.in Filipa L. Sousa – *Department of Ecogenomics and Systems Biology, Universität Wien* – unterstützte bezüglich Fragen, was Mikroben zukünftig mit Baumaterial anstellen könnten.

Prof. Fridolin Krausmann – *Institut für Soziale Ökologie, Universität für Bodenkultur Wien* – beriet hinsichtlich Nachhaltigkeit von Baumaterialien und Metabolismus globaler Materialströme.

Prof. Johannes Weber – *Institut für Konservierung und Restaurierung, Universität für angewandte Kunst Wien* – erstellte die Materialanalysen der beiden Objekte.

Professor Emeritus Jan Zalasiewicz – *Institut für Geologie, University of Leicester* – beriet gemeinsam mit

Prof. Michael Wagneich – *Institut für Geologie, Universität Wien* – hinsichtlich Geologie und biogeochemischem Materialverhalten.

Tanja Traxler, MA – *Quantenphysikerin, Universität für angewandte Kunst, Art & Science; Leitung des Wissenschaftsressort der Tageszeitung der Standard* – beriet betreffend Zeitreisen, Quantenphysik und Philosophie.

ERSTELLUNG DER MATERIALDOSSIERS

Josepha Edbauer – *Masterstudium Kunstgeschichte und
Bildende Kunst, Universität für angewandte Kunst Wien*

Peter Fichtinger – *Masterstudium Soziale Ökologie,
Universität für Bodenkultur Wien*

Sebastian Hafner – *Masterstudium Soziale Ökologie,
Universität für Bodenkultur Wien*

Tess Posch – *Masterstudium Soziale Ökologie,
Universität für Bodenkultur Wien*

Christoph Weber – *Zentrum Fokus Forschung,
Universität für angewandte Kunst Wien*

Nikolaus Eckhard – *Zentrum Fokus Forschung,
Universität für angewandte Kunst Wien*

TEILNEHMENDE SCHRIFTSTELLER*INNEN

Julia Grillmayr

Jahr 2050 | Brücke

ALLES, WAS HOHL IST, WIRD
FRÜHER ODER SPÄTER BEWOHNT

Jakob Pretterhofer

Jahr 2500 | Brücke

Bootstour Donau-Obelisk A23

Ann Cotten

Jahr 12000 | Brücke

Die denkende Hand –
ÜStranlated from a future tongue

Severin Fiala & Veronika Franz

15 Mio Jahre | Brücke

IM RAUSCH DER PET-FLASCHE

Neslihan Yakut

Jahr 2050 | Haus

Zimmer

Fiston Mwanza Mujila

Jahr 2500 | Haus

Variationen über ein verlorenes
(vielleicht sogar verdammtes) Haus

Nika Pfeifer

Jahr 12000 | Haus

blackbox ct+43/561

Elias Hirschl

15 Mio Jahre | Haus

Alles fließt

Christoph Weber & Nikolaus Eckhard

Christoph Weber & Nikolaus Eckhard möchten folgenden Personen herzlich für Ihre Unterstützung des Projekts danken:
Alexandra Graupner, Alexander Damianisch, Alina Hagenschulte, Astrid Huber, Anton Schön, Beatrice Aimée, Benjamin Amotz, Christoph Graf, Clark Phillip, der Kleinen Stadtfarm, Elena Rieser, Ella Zwatz, Ernst Reitermaier, Felipe Duque, Franziska Echtinger, Fritz Binder, Gea Kalkhof, Georg Hinterkörner, Hannah Heiermann, Helga Aichmaier, Jan Huber, Jakob Lederer, Jörg Piringer, Jonathan Dellago, Josef Fiala, Judith Fegerl, Julia Riederer, Julius Wolff, Karl Stingl, Leon Höllhumer, Lisa Puchner, Lisa Jäger, Manuel Bornbaum, Margarita Merkulova, Max Limbeck, Marianna Mondelos, Markus Dubkowitsch, Miao Fangping, Nikolaus Gansterer, Peter Topf, Piotr Dudziński, Sabina Simonič, Sebastian Haaf, Sebastian Leopold, Severin Hohensinner, Sigrid Gerl, Simon Ranum, Susanne Richter, Thomas Rögelsperger, Valentin Fiala, Vanessa Ehrlich, Volker Buchgraber, Wiltrud Hackl, Ziegelwerk Nicoloso

- 1 Vorwort der Projektleitung
- 14 **Michael Wagreich**
Geologie anthropozäner Zukünfte von Wien
- 20 **Christoph Weber & Nikolaus Eckhard**
Material- und Spekulationsanker:
Historischer Hintergrund zu
Praterbrücke & Gründerzeithaus
- 45 **Johannes Weber**
Materialproben
- 84 Ausstellung im
Angewandte Interdisciplinary Lab
- 122 **Josepha Edbauer, Peter Fichtinger,
Sebastian Hafner, Tess Posch**
Neun anthropogene Materialien
- 188 Biografien
- 190 Quellenverzeichnis

Michael Wagreich

Geologie anthropozäner Zukünfte von Wien

Die anhaltenden und anwachsenden planetaren Veränderungen, die der Mensch auf der Erde verursacht, haben die Erdsystemwissenschaften und die Geowissenschaften dazu veranlasst, die Ausrufung einer neuen geologischen Epoche, des Anthropozäns, zu diskutieren. Geologen und Geologinnen definieren das Anthropozän als eine Epoche, in der der Mensch beginnt, geologische Prozesse zu dominieren, und damit eine neue bedeutende geologische Wirkungsmacht darstellt, die Klima, Landschaften, Biodiversität und Meeresspiegel verändert und Umwelt und Ökosysteme verschmutzt. Das menschliche Handeln wirkt sich im Anthropozän nicht nur auf Geosphäre, Atmosphäre und Biosphäre aus, sondern schafft auch eine neue planetare Sphäre: die sich immer weiter ausdehnende Technosphäre.

Die Anthropocene Working Group, das geologische Komitee, das für die Erforschung des Anthropozäns als Einheit der geologischen Zeitskala zuständig war, schlug das Jahr 1952 als Grundlage für eine formalisierte geologische Anthropozän-Epoche vor, basierend auf den mannigfaltigen Veränderungen des Erdsystems nach dem Zweiten Weltkrieg. Diese *Great Acceleration* ist gekennzeichnet durch einen exponentiellen Anstieg der Bevölkerung, der sozioökonomischen Parameter und vieler Trends im Erdsystem, die sich von den stabilen Holozän-Trends seit 11 700 Jahren exponentiell entfernen. Als primäres geologisches Signal (*Golden Spike*) wurde der Plutonium-Fallout aus atmosphärischen Bombentests vorgeschlagen, der ab dem ersten Wasserstoffbombentest (Ivy Mike, 1. November 1952, Eniwetok-Atoll) global verteilt wurde. Dieser Plutonium-Peak wurde nicht nur in abgelegenen Seen und marinen Archiven in Seesedimenten und Riffkorallen gemessen, sondern auch in anthropogenen – von Menschenhand

geschaffenen – Böden gefunden, etwa bei einer Ausgrabung vor dem Wien Museum am Karlsplatz.

Die offizielle Formalisierung des Anthropozäns als jüngste, bis heute anhaltende geologische Zeiteinheit der geologischen Zeitskala wurde jedoch aufgrund der Ablehnung des Vorschlags durch die Internationale Kommission für Stratigraphie vorerst gestoppt. Die Arbeit der Anthropocene Working Group zur Definition und Analyse der geologischen Marker des eindeutig vorhandenen anthropozänen Wandels und die wissenschaftlichen Diskussionen sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

Blickt man in die Zukunft, stellt sich die Frage, wie lange das Anthropozän dauern wird. Wenn das Jahr 1952 als Beginn eines damit heute etwas mehr als 70 Jahre andauernden Anthropozäns akzeptiert wird, ist festzustellen, dass dieses geologische Zeitalter schon aufgrund der heutigen Klimaerwärmung, der Umweltzerstörung und des bevorstehenden Verlusts der biologischen Vielfalt zumindest Tausende Jahre andauern wird. Angesichts des Ausmaßes und des Anstiegs von Kohlendioxid und seiner langen Lebensdauer in der Atmosphäre werden sowohl die Temperaturen als auch der Meeresspiegel weiter ansteigen, selbst wenn die zusätzlichen Kohlendioxidemissionen im Jahr 2050 auf null gesenkt werden. Unter den bereits akkumulierten Kohlendioxidemissionen werden die Treibhausbedingungen wahrscheinlich noch mindestens 50 000 Jahre lang anhalten, und ein weiterer Anstieg der Treibhausgasemissionen wird die Treibhausbedingungen wahrscheinlich bis zu 500 000 Jahre verlängern. Dies könnte sogar das Ende der derzeitigen 100 000 Jahre Zyklen aus eiszeitlichen Kaltzeiten und dazwischen liegenden Warmzeiten des Quartärs bedeuten.

Wie wird sich diese anthropozäne Zukunft auf Wien und Bauten wie die Praterbrücke auswirken?

Bis zum Jahr 2050 wird es in den Alpen zu einer Erwärmung von mindestens 2 bis 4 °C kommen, je nachdem, ob und in welchem Ausmaß Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgase auf Net-Zero ergriffen werden. Der sich erwärmende Planet wird stärkere chemische Verwitterung mit sich bringen, aber letztendlich wird sich Wien in dieser geologisch gesehen kurzen Zeitspanne nicht so stark verändern. Überschwemmungen der Donau und einhergehende Erosion werden sich intensivieren, aber sie werden die Geologie Wiens nicht verändern.

Im Jahr 2500, nach 500 Jahren eines sich erwärmenden Treibhausklimas, könnten verstärkte Verwitterung und Erosion Beton und andere Baumaterialien schon signifikant beeinflussen, abtragen und auflösen. Donauüberschwemmungen könnten noch extremer werden und anthropozäne Bauwerke und künstliche Anschüttungen wie die Donauinsel und andere Flussregulierungsbauten zerstören, abtragen und wegschwemmen. Brücken werden neu gebaut und verstärkt werden müssen, um den Donauüberschwemmungen und der feucht-warmen Verwitterung im Treibhausklima standzuhalten.

In 10 000 Jahren werden die geologischen Auswirkungen von Treibhausverwitterung und Erosion die meisten der heutigen Bauwerke zerstört und abgetragen haben. 10 000 Jahre von heute stellen eine geologisch bedeutsamere Zeitspanne dar, wenn man an die 11 700 Jahre des ausgeglichenen Holozäns denkt, das nach der letzten Kühlperiode der letzten Eiszeit begann. Beton kann durch Erosion und chemische Verwitterung in seine Grundbestandteile wie Sand, Kies und Kalk zurückverwandelt worden sein. Sandkörner aus Quarz, das langlebigste und widerstandsfähigste Baumaterial, könnten das geologische Erbe des verbauten Wiener Betons bilden, das von den Donauhochwässern nach Osten transportiert wurde. Außerdem

könnten sich in Wien seltene, alle 1000 Jahre mögliche, starke Erdbeben ereignet haben, die eine wichtige Rolle bei der Zerstörung von Gebäuden und Infrastruktur in Wien gespielt haben könnten, aber auch den Untergrund des Wiener Beckens bewegen und damit Gebiete metertief absinken oder aufsteigen lassen.

Nach 15 Mio. Jahren sind wir zwar aus dem Anthropozän heraus, aber die geologische Zukunft des Gebiets des ehemaligen Wiens wird dann möglicherweise wieder ausschließlich von den inneren Kräften der Erde bestimmt werden – ob eine neue Eiszeit kommt oder ob die Treibhausbedingungen über weitere Zig-Millionen von Jahren anhalten. Interne Kräfte wie die Plattentektonik, bei der sich die Platten mehrere Zentimeter pro Jahr verschieben, werden dazu führen, dass Teile des Mittelmeers geschlossen werden und Afrika und Eurasien kollidieren und eine neue Gebirgskette dort entsteht, wo sich heute das Wiener Becken und das Pannonische Becken befinden. Dies lässt sich anhand der heutigen Plattenbewegungen berechnen, auch wenn der zeitliche Ablauf sehr spekulativ ist. Zu diesem Zeitpunkt werden die mineralischen Körner, die Rückstände einer ehemaligen Stadt wie Wien sind, bereits den Tiefseeboden des Schwarzen Meeres oder eines anderen jungen Ozeans erreicht haben und dort ruhen, um wieder in den neuen Gebirgsbildungszyklus aufgenommen zu werden.

Dabei werden Baustoffe wie der 15 Mio. Jahre alte Kalkstein des Leithagebirges, die Sande der Donau, aus denen der Beton der Praterbrücke geformt wurde, und der über 300 Mio. Jahre alte Granit nach Jahrmillionen in den natürlichen Kreislauf von Verwitterung – Erosion – Gesteinsbildung – Gesteinsmetamorphose – Gebirgsbildung zurückkehren, ohne dass von der menschlichen Zivilisation und ihrer Technosphäre sichtbare Spuren übrigbleiben. Nur unter dem Mikroskop

oder mit extrem präzisen chemischen Instrumenten werden diese vom Menschen verursachten Anomalien als Reste der Technosphäre in den Gesteinen als Spuren ungewöhnlicher Elemente und Isotope von uninformierten Geologen in einer Millionen Jahre entfernten Zukunft erkannt werden.

Christoph Weber & Nikolaus Eckhard

Material- und Spekulationsanker

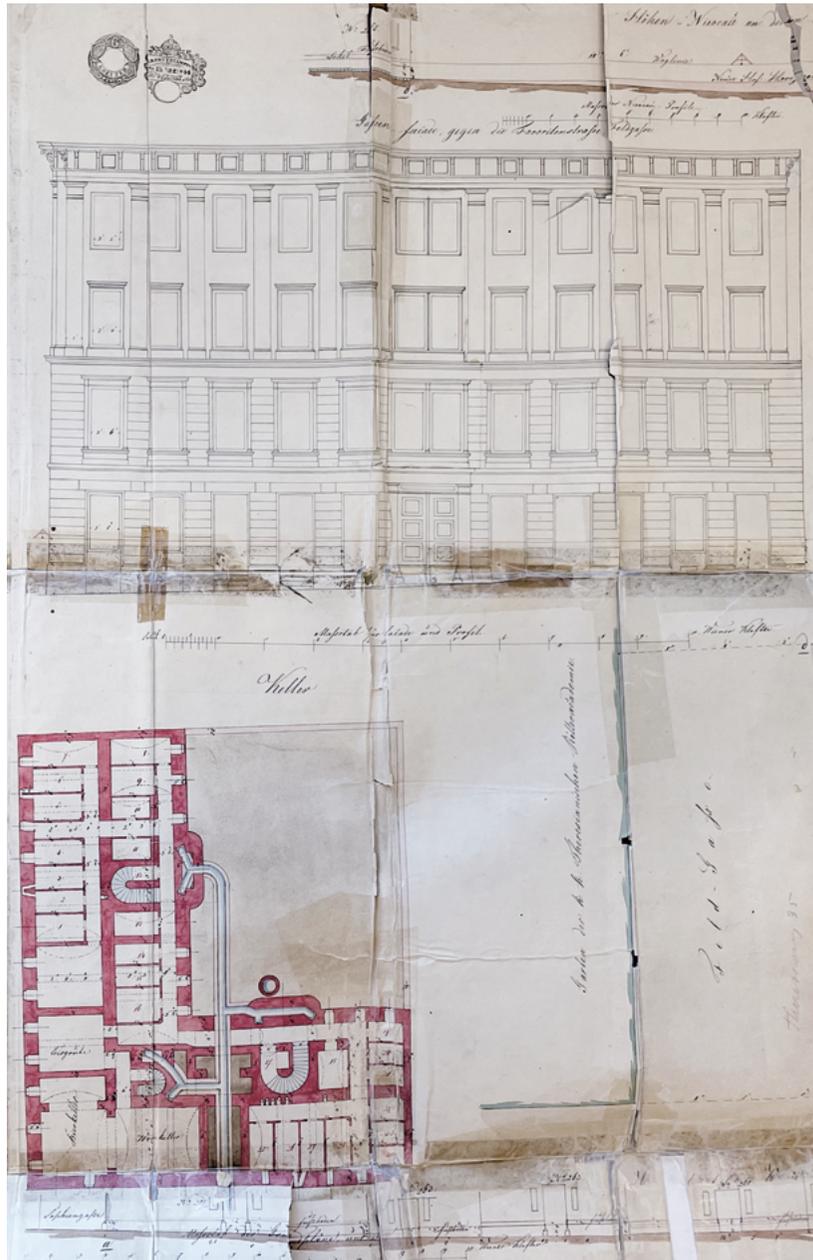
Das Gründerzeithaus

*Erbaut 1846–1848 am Beginn des industriellen Städtewachstums
Favoritenstraße, Wien Wieden*



Historische Postkarte, Hausnummer 17 am linken Bildrand

Die Bauerlaubnis für das Haus in der heutigen Favoritenstraße 17 wurde am 4. Juli 1846 vom Magistrat der k.k. Haupt- und Residenzstadt Wien unterzeichnet. Der Bauherr war Heinrich Frankenberg (1799–1869), Spenglermeister und ab 1865 Bezirksvorsteher-Stellvertreter des Bezirks Wieden. Seine Gattin Franziska und er lebten in dem Haus. Der Adoptivsohn des kinderlosen Paares, Josef Kühn, erbt das Haus 1860. Die heutigen Hauseigentümer*innen sind die Ur-Ur-Enkel*innen von Josef und Kamilla Kühn und bewohnen das Haus nach wie vor. Das Haus wurde nach den Plänen von Karl Pranter erbaut. Die Fertigstellung des Baus fällt ins Revolutionsjahr 1848, das dem Bürgertum zu neuen Rechten verhalf. Seither wurden immer wieder Umbauten und Sanierungen durchgeführt, insbesondere



Einreichplan von 1846 für Keller und Fassade

das Erdgeschoss wurde im Laufe der Zeit vielfach adaptiert und an die Bedürfnisse der Geschäftslokale angepasst. Im Zweiten Weltkrieg kam es zu Kriegsschäden, Teile mussten abgetragen und saniert werden. Im Zuge der Errichtung der U-Bahn Linie U1 hat sich das Haus 1974 ein wenig gesenkt, es entstand ein Riss und einige Fußböden mussten erneuert werden. In den 1980er-Jahren kam es als Folgeerscheinung des U-Bahn-Baus zu andauernden Überflutungen des Kellers, die aufwändig behoben werden mussten.

Die Umgebung des Grundstückes war bis ins 19. Jahrhundert von Feldern und großen Parkanlagen mit anschließenden Palais geprägt. Die „Huber Karte“ zeigt, dass sich an der Stelle des Baugrundes bereits 1773 ein alleinstehendes kleines Gebäude befunden hat, das vermutlich landwirtschaftlichen Zwecken gedient hat.

Es ist anzunehmen, dass Baumaterialien des vorhergehenden Gebäudes auch in den Neubau eingeflossen sind. Spezifische Materialien konnten im Zuge des Projektes allerdings nicht identifiziert werden.

Das heutige Gebäude liegt an der südöstlichen Ecke der Kreuzung Favoritenstraße und Theresianumgasse, stadtauswärts oberhalb der Theresianischen Akademie. Diese war bis 1740 als „Favorita“ der Sommersitz der Habsburger. Maria Theresia verkaufte das Gebäude 1746 an die Jesuiten mit der Auflage, eine Erziehungsanstalt für Verwaltung, Armee und Diplomatie einzurichten, die bis 1849 Adeligen vorbehalten war. (THERESIANUM, 2024)

Eine im Jahr 1858 vom k.k. Ministerium für Inneres in Auftrag gegebene Karte zeigt den kurz zuvor entstandenen Straßenzug, der noch als Linienstraße bezeichnet wird und zum k.k. Mauthaus am Linienwall führt.

Die Kaiserliche Residenzstadt Wien stand gerade am

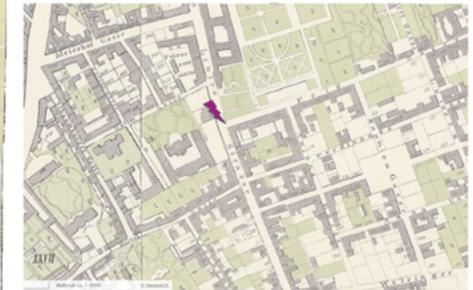
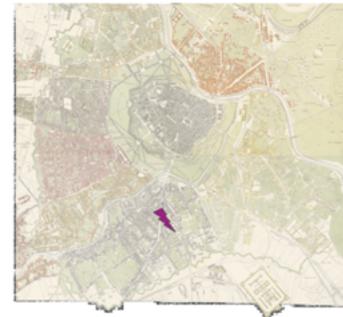
Anfang stadtmorphologischer Entwicklungen, die die Substanz von Wien bis in die Gegenwart prägen sollten. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts wuchs die Zahl der Einwohner*innen von 551 000 auf mehr als 2 Mio. um 1910. Um die Jahrhundertwende war Wien die viertgrößte Stadt der Welt.

Der Begriff „Gründerzeit“ entstammt nicht dem Kontext der Architekturgeschichte, sondern entwickelte sich aus der Wirtschaftsforschung und bezeichnet die Phase zwischen dem Beginn der Industrialisierung und dem großen Wiener Börsenkrach von 1873. (PSENNER, 2023) Diese Phase beginnt etwa in den 1840er-Jahren und geht mit der Nutzung fossiler Energieträger, rasanten Entwicklungen in der Stahlproduktion und der Etablierung der Eisenbahn einher. Das Fallbeispiel ist also ein Vertreter der Frühgründerzeit, insofern gelten hier einige Charakteristika der Hochgründerzeit noch nicht: Die Ziegel wurden etwa noch handgeschlagen (siehe *Materialanalyse*) und nicht maschinell mit Strangpressen geformt und in großindustriellen Ringöfen gebrannt. Die Eigentümer*innen lebten noch im gleichen Haus und waren keine reinen Immobilienentwickler, wie bei den späteren Arbeiterzinshäusern, und der großzügige Innenhof weist noch nicht auf die später folgende Dichtheit der Verbauung hin. Im Vergleich dazu war es ab der Baunovelle von 1893 erlaubt, bis zu 85% der Parzellen zu verbauen, was noch heute in sehr engen Lichtschächten vieler Wiener Gebäude sichtbar ist.

Im Verlauf der Gründerzeit wurden Gebäude nicht mehr von einzelnen „Bauherren“ finanziert, sondern von Baugesellschaften, deren Profit mitunter durch Kauf und Verkauf von Parzellen gemacht wurde. Im Durchschnitt wechselte während der Gründerzeit ein Wiener Haus alle 22 Jahre seine Eigentümer. (KRAMMER, 2023) Die Phase der Hochgründerzeit zeichnet sich durch eine stark gewinnorientierte Bauweise aus,



Huberplan von 1773, © ViennaGIS



Stadtplan von 1858, © ViennaGIS



Generalstadtplan von 1912, © ViennaGIS

die „Gründerzeit-Wohnmaschinen“ (PSENNER, 2023) hervorbrachte. Die Architektur der sich meist außerhalb des Gürtels befindenden Arbeiterzinshäuser ist eine serielle Architektur, bei der die gleichen Grundrisse leicht modifiziert oder lediglich gedreht hunderte Male zum Einsatz kamen. (PSENNER, 2023) Die Fassadengestaltung der Gründerzeit folgte einem, zumeist die griechische Antike referenzierenden Kanon, bei dem die Fassadenschmuckelemente als Massenware produziert und in Katalogen bestellbar waren.

Die Stadtmorphologin Angelika Psenner beschreibt das historische Wiener Stadtparterre als „Verknüpfungsstruktur, welche die verschiedenen Sphären der Stadt miteinander verband. Dabei fiel der Erdgeschossfassade die zentrale Rolle einer Membran zu, deren Permeabilität über eine entsprechende Gestaltung sichergestellt wurde.“ (PSENNER, 2023) Große Fenster und Türöffnungen zu straßenseitigen Gassenlokalen und Werkstätten vermehrten die Besucher*innenfrequenz. Die öffentliche Nutzbarkeit des Eingangsbereiches bis 22 Uhr inklusive Foyer, Stiegenhaus und Bassenagang verzahnte den halböffentlichen und den öffentlichen Raum. Ein markantes Detail hierfür ist, dass die Hausbesitzer*innen rechtlich dazu verpflichtet waren, Spucknäpfe für die Öffentlichkeit bereit zu stellen. (PSENNER, 2023) Während der Nachtstunden blieben die Haustore versperrt, wobei allein die Hausmeister*innen die Schlüssel und somit Verfügungsgewalt über Kommen und Gehen hatten.

Im Wien des 19. Jahrhunderts war es rechtlich streng geregelt, dass der öffentliche Raum nicht zum Abstellen privaten Eigentums genutzt werden durfte. Kutschen mussten daher in die Innenhöfe verbracht werden. In unserem Fallbeispiel wurde dies durch eine nicht mehr existente Hauseinfahrt in der Theresianumgasse erreicht. Die Kutschen wurden im Hof

abgestellt und die Pferde waren in einem kleinen Wirtschaftsgebäude untergebracht, in dem sich auch heute noch historisches Pferdegeschirr finden lässt.

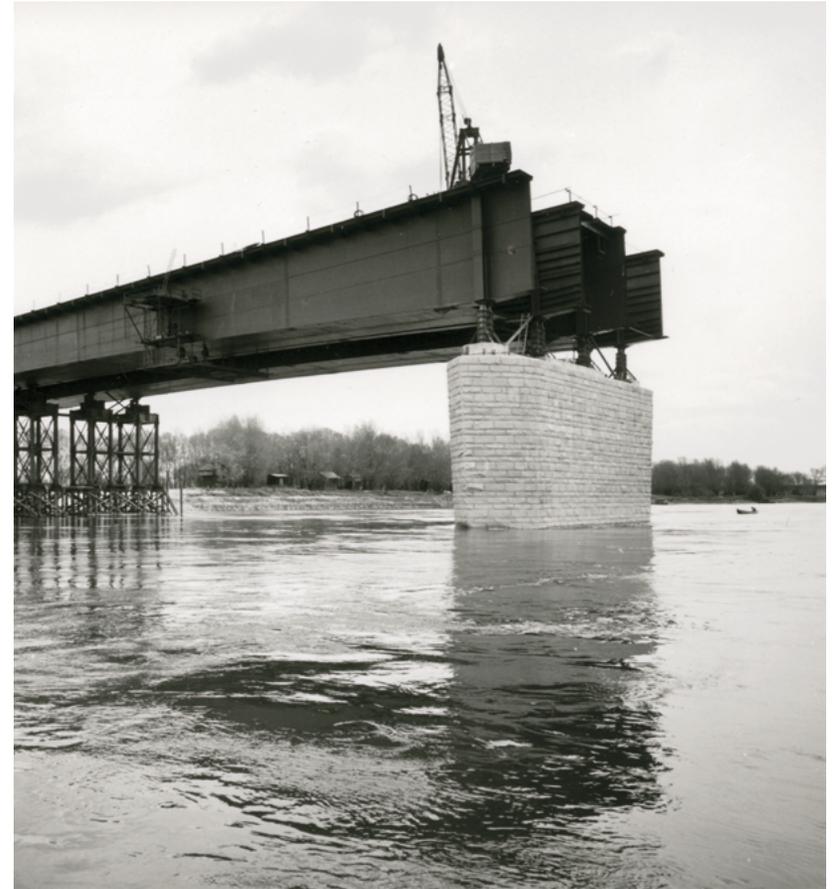
Eine wesentliche Zäsur im Verständnis von öffentlichem Raum geschah während des Nationalsozialismus, als die Straßenverkehrsordnung von 1938 in Kraft trat und eine starke Hierarchisierung der Verkehrsteilnehmer*innen zugunsten von Kraftfahrzeugen stattfand. Infolgedessen ist heute der Straßenraum vorrangig als Verkehrsfläche für motorisierten Individualverkehr gestaltet. Der primäre Fokus der Straßenverkehrsordnung StVO gilt nach wie vor dem ungestörten Verkehrsfluss von Kraftfahrzeugen statt einer demokratischen Nutzung des öffentlichen Raums. Angelika Psenner spricht von einer „Untergrabung der ursprünglichen Auffassung von öffentlichem Raum als Allgemeingut“, die sich ab 1938 vollzogen hat. Sie plädiert dafür, dass es „in Bezug auf die Nutzungsmöglichkeiten von städtischem Straßenraum um einen Akt der Rückerstattung gehen muss.“ (PSENNER, 2023) Psenner schließt aufgrund fundierter Analyse historischer Entwicklungen auf anzustrebende Nutzungen und verwendet damit eine Methode, die dem Reverse Imagining ähnelt. Zugunsten einer lebenswerten Stadt für alle sollte zukünftig der De-Hierarchisierung des öffentlichen Raums Priorität eingeräumt werden und dabei der Fußgerverkehr, der nichtmotorisierte Individualverkehr und der Aufenthalt im öffentlichen Raum aufgewertet werden.

Die Praterbrücke

Erbaut 1967–1970 als Teil der Stadtautobahn A23

Die rasant voranschreitende Auto-Mobilisierung der 1960er-Jahre in Österreich korreliert stark mit dem deutschen „Wirtschaftswunder“, das von der Wechselwirkung zwischen Auto- und Rüstungsindustrie profitierte und durch das dicht ausgebaute Autobahnnetz der Nationalsozialisten beschleunigt wurde. 2024 markiert das hundertjährige Bestehen der ersten Autobahn, die 1924 als futuristisches Projekt Mailand mit den Seen Lago di Como und Lago di Maggiore verband und vom Faschisten Piero Puricelli errichtet wurde. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war das Automobil vorrangig ein Spielzeug für Reiche und diente für Ausflüge auf das Land, was zu häufigen Gefährdungen von Kindern und Tieren im Umland von Städten führte und gewaltvolle Auseinandersetzungen mit der Landbevölkerung hervorrief. Ein Ziel der ersten reinen Autostraßen war, exklusiven Raum für den Autoverkehr zu schaffen und „den Pöbel fernzuhalten“. Die erste deutsche Autobahn als kreuzungsfreie Kraftfahr-Straße wurde erst 1932 zwischen Köln und Bonn eröffnet. Im Nationalsozialismus kam der Idee des motorisierten Individualverkehrs große Bedeutung zu. Bereits 12 Tage nach der Machtübernahme von Adolf Hitler 1933 besuchte dieser eine Automesse, um dort erstmals staatliche Subventionen für die Autoindustrie anzukündigen. (JÖRG & KUNZE, 2024) Heute wird kein anderes Verkehrsmittel so stark subventioniert wie das Auto. (KNOFLACHER, 2013)

Die Praterbrücke wurde als „vierte Donauquerung“ zwischen 1967 und 1970 errichtet. Sie ist Teil der Stadtautobahn A23, genannt Südost-Tangente, die auf dem „Planungskonzept für Wien“ (1961) von Roland Rainer fußt und es zum Ziel hatte,

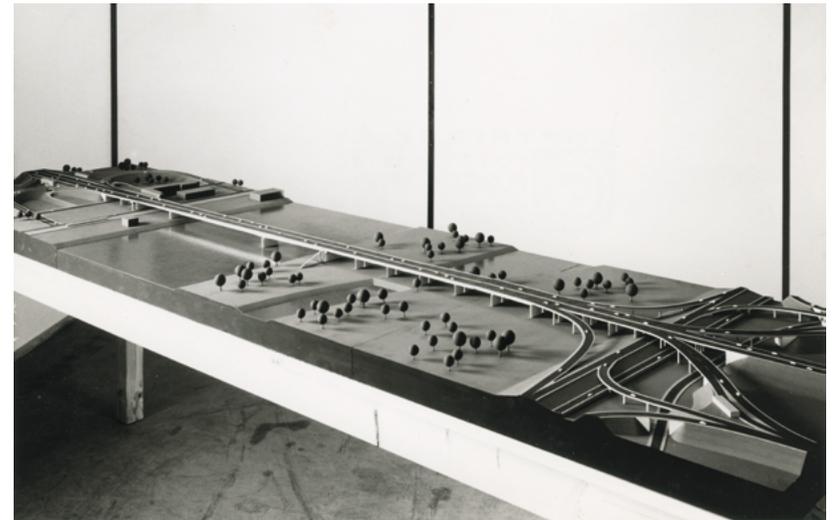


Konstruktion der Hohlkästen bis zum Strompfeiler, 23.4.1969 © ASFINAG Archiv

eine übergeordnete Straßenverbindung näher an den Stadtkern zu legen. Das Planungskonzept für Wien basiert auf Rainers jahrzehntelanger Beschäftigung mit der Auflockerung der Stadt, was in zahlreichen Publikationen bis zurück zur NS-Zeit nachverfolgbar ist. Bereits 1936 bewarb er sich mit Verweis auf seine NSDAP-Mitgliedschaft in Berlin bei der Bau- und Finanzdirektion, wo er bis 1938 blieb. 1942, wieder in Wien, publizierte er, „dass die besonders ungünstigen Wohnverhältnisse nicht nur

auf die Entwicklung Wiens zur Residenzstadt zurückzuführen sind, sondern auch auf den starken Anteil, den artfremde Völker mit geringen Wohnungsansprüchen an der Zusammensetzung der Monarchie hatten.“ (RAINER, 1942) Seit den 1990er-Jahren wird Rainers Vergangenheit kontrovers diskutiert (Architekturzentrum Wien, 2018), 1993 bezeichnete er sein Engagement als „vorübergehenden politischen Irrtum“. (FORVM, 1993)

Fachlich wurden seine im Planungskonzept von 1961 formulierten Forderungen nach „Auflockerung zu dicht verbauter Stadtgebiete“ und „Verdichtung zu locker verbauter Stadtgebiete“ (RAINER, 1962) mit geplanter Umsiedlung großer Teile der Wiener Bevölkerung in die südlichen und östlichen Erweiterungsgebiete weder von ihm noch von einer breiteren Öffentlichkeit infrage gestellt. Die projektierten Veränderungen lagen schließlich seit der Charta von Athen 1933 voll im Trend, die die Trennung von Wohnen, Arbeiten, Erholen und Bewegen propagierte. Die Errichtung einer übergeordneten südöstlichen Transversale für den Schnellverkehr zur Entlastung des innerstädtischen Verkehrs schien zudem eine logische und nötige Konsequenz der Motorisierung, und ist, wie Rainer im Planungskonzept ausführt, „zugleich die Weiterführung des Landstraßer Gürtels über Sankt Marx zur vierten Donaubrücke. (...) [Sie] soll nicht zuletzt die Reichsbrücke entlasten (...)“. Aufgrund fehlender historischer Straßengerippe im Bereich des Donaustromes sind „aber auch ergänzende tangentielle Verbindungen der westlichen und südlichen Randbezirke [über die Donau] unabhängig von der sprunghaft wachsenden Motorisierung schon längst nötig.“ (RAINER, 1962) Rainer ging allerdings von einem Stagnieren des LKW-Verkehrs aus und erwartete, dass künftig nur jeder zweite Haushalt einen PKW besitzen wird. Dass eine so prominente Straße wie die A23 wesentlich mehr Verkehr anziehen und erzeugen wird, war noch



© ASFINAG Archiv

nicht im Bereich des Vorstellbaren. Rainer prognostizierte für die Praterbrücke eine tägliche Belastung von 10 000 KFZ (RAINER, 1962); 1983 zählte man 77 000 KFZ pro Tag (KREUZER, 2012) und heute sind es bereits über 200 000, davon 15 000 LKW (KFZ über 3,5t) – womit die Praterbrücke eine der meistbefahrenen Straßen Europas ist. (ASFINAG, 2024)

Die Praterbrücke gliedert sich in vier Abschnitte: Prater Hochstraße, Kaibrücke, Strombrücke und Flutbrücke. Von Betonstehern getragen, zieht die Prater Hochstraße eine 720 Meter lange Schneise durch einen Abschnitt des grünen Praters, der bereits seit 1929 als Parkschutzgebiet unter Bauverbot stand. (KREUZER, 2012) Die ursprünglich auf V-Trägern stehende Hochstraße wurde im Zuge einer Generalinstandsetzung Ende der 1990er-Jahre abgetragen und neu errichtet. An die Prater Hochstraße anschließend bildet die 80 Meter lange Kaibrücke den Übergang zur Strombrücke – einer 413 Meter langen Stahlbrücke, die zwischen Handelskai und Donauinsel

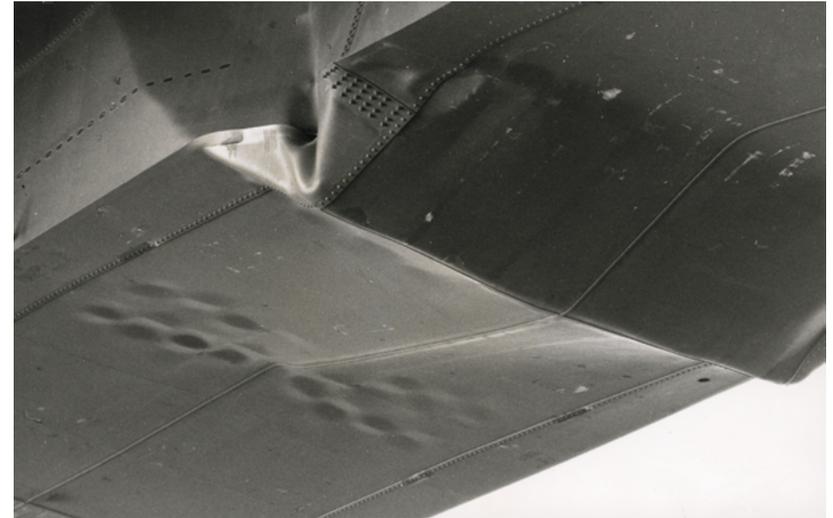


Begehung der Brückenhohlkästen, Stelle des Knicks, 2023 © Christoph Weber

den Donaustrom überspannt. Sie ist der prominenteste Teil der Praterbrücke. Die tragende Konstruktion besteht aus zwei Hohlkästen aus Stahl mit einer Höhe von 4,5 Metern und einer Breite von 7,5 Metern, die für Wartungszwecke begangen werden können.

Die Strombrücke ist auch als Knickbrücke bekannt – benannt nach einem Schaden, der sich während der Errichtung zutrug. Am Abend des 6.11.1969, wenige Stunden nachdem der Brückenschlag vollbracht war und die Praterbrücke erstmals von Ufer zu Ufer reichte, wirkten derartige Kräfte auf den Stahl der Hohlkörper, dass sich diese abrupt deformierten. Die Brücke war geknickt und kurz davor, einzustürzen.

Die später herangezogenen Gutachter*innen kamen zu dem Schluss, dass eine Verquickung unvorhersehbarer Umstände zu dem Schaden geführt hat. (ARCHIV DER ASFINAG) Bis heute bestehen aber auch Gerüchte, dass es versäumt wurde, die Gleitlager an den Pfeilern zu aktivieren, nachdem der Brückenbogen geschlossen wurde. Die temperaturbedingten



Detailaufnahme des Knicks vom 6.11.1969 © ASFINAG Archiv

Materialspannungen wurden daher direkt in die Konstruktion geleitet, wofür diese nicht ausgelegt war. Der Knick ist noch heute als Senkung in der Brückengeometrie erkennbar.

Die Strombrücke wird von drei Pfeilern getragen, die aus Stahlbeton gefertigt und mit Granitblöcken ummantelt sind. Laut der Einschätzung des Architekturhistorikers Roberto Gargiani handelt es sich bei dem Granit um reine „Bekleidung“, die technisch nicht nötig wäre. Aus geologischer, über das Funktionieren als Brückenpfeiler hinausgehender Perspektive könnte der Granit jedoch wesentlichen Anteil daran haben, ob von den Pfeilern in fernen Zukünften noch Spuren erkennbar sind. Der Pfeiler S2, der sich als einziger im Donaustrom befindet, ist für Spekulationen auch insofern wesentlich, da er in künftigen Tragwerkskonstruktionen wiederverwendet werden und weiterhin zum Einsatz kommen könnte. Im Allgemeinen wird bei Stahlbrücken mit einer Nutzungsdauer von etwa 70 Jahren gerechnet, nach der die Konstruktion aufgrund von

Materialermüdungen erneuert werden muss. Derzeit garantiert die ASFINAG die Sicherheit der Strombrücke bis ins Jahr 2035 und geht davon aus, dass bis dahin ein neues Brückentragwerk errichtet wird.

Auf dem Pfeiler S/F trifft die Strombrücke auf die Flutbrücke, die aus Spannbeton gefertigt ist. Die Flutbrücke verlief ursprünglich über das Inundationsgebiet der Donau und heute über die Donauinsel und das „Entlastungsgerinne“ bzw. die „Neue Donau“.

1996/97 wurde die Praterbrücke um etwa 1,8 Meter gehoben. Grund dafür war der höhere Wasserpegel, der mit dem Bau des Kraftwerks Freudenua einhergehen würde. Zudem wurde die Brücke um zwei Fahrbahnsuren auf derzeit acht, einen Radweg und einen Gehweg erweitert.

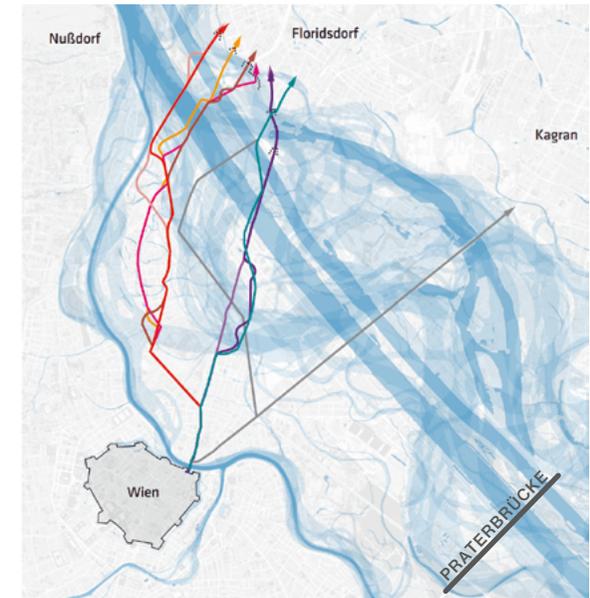
Die Donau-Flusslandschaft war bis ins 19. Jahrhundert durch ein Geflecht aus dynamisch wandernden Flussarmen mit stark schwankenden Wassermengen geprägt. Große Quantitäten an Geschiebe, Schwebstoffen und Totholz schwemmen aus dem alpinen Raum in das Wiener Becken und gestalteten eine vielfältige Flusslandschaft, die durch gewundene, mäandernde Arme, Schotterbänke und temporäre sowie stabile Inseln gekennzeichnet war. Historische Analysen zeigen wiederkehrende Prozesse von Erosion und Ablagerung, im Zuge derer sich Flussbögen ausweiteten, bis sie ein Maximum erreichten und dann wieder begradigt wurden. Diese Änderungen im Flussverlauf können als „Pulsschläge“ der Donau verstanden werden, zwischen denen jeweils 100 bis 130 Jahre lagen und deren Formen und Auswirkungen sich bis ins 15. Jahrhundert nachvollziehen lassen. (HOHENSINNER & HAUER, 2020 I)

Bis zur Industriellen Revolution ist die Geschichte der Stadt Wien von den beständigen Bewegungen des Flusses geprägt: von dynamischen „Flussverkehrsstraßen“, die sich

Abb. 5.43
Querungen der Wiener Donau-
landschaft und Schanzanlagen am
nördlichen Brückenkopf seit 1529

- 1529
- 1547-1565
- ca. 1569
- 1606 und 1632*
- 1623*
- 1663-1683
- 1690-1704
- 1704-1875
- 1875 bis heute
- Schanzen am nördlichen Ufer

* Zeitstellung bzw. Lage unsicher



© Wasser Stadt Wien 2019

erweiterten oder verlandeten, rechtlichen Streitereien über den Besitz sich verschiebender oder gänzlich verschwindender Inseln, Fortifikationen, die durch das Wandern des Flusses verletzlich wurden, und Häusern, Straßen und ganzen Dörfern, die von der Donau ergriffen wurden und als Teil ihres Geschiebes einverleibt wurden.

Die ersten Brückenverbindungen über die Donau bei Wien wurden erst Anfang des 15. Jahrhunderts errichtet. Entgegen dem heutigen Verständnis von Donaubrücken als monumentale Bauwerke, handelte es sich bei den historischen Wiener Donauquerungen um eine Vielzahl von Stegen und Hochwegen, die die Inseln zwischen den einzelnen Flussarmen verbanden und dabei beachtliche Längen erreichten. Severin Hohensinner und Friedrich Hauer führen aus: „Um im Jahr 1565 von der Stadt zum nördlichen Donauufer zu gelangen,

benötigte man sechs Brücken mit insgesamt rund 1390 m Länge, dazu noch 21 ‚Durchläufe‘ – auf Holzpfählen errichtete Hochwege – mit einer Gesamtlänge von 990 m und dazwischen erhöhte Verbindungsstraßen. Zusammen hatten die Brücken und Durchläufe damals eine beeindruckende Länge von ca. 2380 m.“ (HOHENSINNER & HAUER, 2020 II) Die Brücken wurden regelmäßig neu errichtet. Zum einen, da sie von Hochwässern und Eisstößen zerstört wurden, zum anderen, da sich der Flussverlauf so änderte, dass Brücken über trockenes Land führten. Dies erklärt auch, dass bis ins 19. Jahrhundert alle Donaubrücken bei Wien ausschließlich aus Holz gebaut waren. (HOHENSINNER & HAUER, 2020 II)

Ab dem beginnenden 18. Jahrhundert befand sich Wien in einer intensiven Hochwasserphase, die bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts andauerte und die Bevölkerung nicht nur mit Sommerhochwässern, sondern auch durch Eisstöße und Winterhochwässer in bisher unbekannter Art bedrohte. Der Ursprung für die Häufung liegt vermutlich einerseits in klimatischen Veränderungen, andererseits in Veränderungen der Landnutzung: Wachsende Städte und die beginnende Industrialisierung hatten enorme Abholzungen verursacht. Zudem führte die Etablierung neuer Feldfrüchte, wie die des Erdapfels, zu veränderten Arten, Felder zu bewirtschaften. Als Folge konnten die Böden weniger Wasser aufnehmen und der verstärkte Oberflächenabfluss füllte den Donaustrom. (HOHENSINNER & HAIDVOGL 2020) Nachdem der Bau zahlreicher Dämme nicht zu ausreichendem Schutz der Stadt geführt hatte, wurde 1850 eine Kommission für eine Donauregulierung eingesetzt, deren Auftrag es war, eine langfristige Lösung auszuarbeiten. Nach jahrelangem Abwägen verschiedener Varianten wurde die Donauregulierung in Form eines gewaltigen Durchstichs entschieden. Dies schien nicht nur

aus wasserbaulicher Sicht sinnvoll, sondern war durch die Annäherung des Stroms an die Stadt und die Schaffung des Handelskai auch für das Transportwesen von großem Interesse.

Für die Umsetzung des Bauvorhabens wurde die französische Firma „Castor, Couvreur et Hersent“ gewonnen, die zuvor mit dem Bau des Suezkanals beschäftigt war.

Die Donauregulierung wurde von 1870 bis 1875 umgesetzt und war eine wasserbauliche Herausforderung, wie sie Wien noch nie gesehen hatte. Zwei Durchstiche, mit einer Gesamtlänge von 9 Kilometern, mussten ausgehoben und ein parallel verlaufendes Inundationsgebiet mit 475 m Breite geschaffen werden. Etwa 16,4 Mio. m³ Bodenmaterial wurden dafür ausgehoben und bewegt. Zudem mussten Tausende meterlange Holzpfiler aus dem Flussbett gezogen werden, die bis dahin Bestandteile historischer Querungen und Wasserbaumaßnahmen waren. (HOHENSINNER & HAUER, 2020 I) Die Donauregulierung beendete das jahrtausendalte Mäandern der Donau im Wiener Umland. Statt einer Vielzahl an dynamischen Kehren war es von nun an eine gerade Linie, die die Beziehung von Stadt und Fluss auszeichnete. Erstmals hatte die Donau klare Grenzen und ihre Nutzbarkeit hinsichtlich urbaner und industrieller Interessen war deutlich gestiegen.

1873 wurde die Stadlauer Ostbahnbrücke fertiggestellt. Bis zum Ersten Weltkrieg folgten ihr vier weitere. 1905 kam es zur Eingemeindung von Floridsdorf und die Stadt Wien griff erstmals auf das linke Stromufer über.

Die Donauregulierung schützte vor Hochwässern, erleichterte die Mobilität von Menschen und Waren und ermöglichte es, die Stadt auf beide Flussufer auszuweiten. Ihre wasserbaulichen Folgeprojekte im 20. Jahrhundert waren die Donauinsel, die 1988 fertiggestellt wurde, und das Kraftwerk Freudenu, das seit 1997 in Betrieb ist.



Vorbereitung des Spannstahles affin zur Momentenlinie, 24.10.1967 © ASFINAG Archiv

Der Donaudurchstich und die folgenden Wasserbauten brachten allerdings auch diverse ökologische Folgeerscheinungen mit sich. Neben dem Verlust von Biosphäre und der Verunmöglichung der Laichwege diverser Fischarten wie den Donau-Stören, ist das Vertiefen der Talsohle der Donau von besonderer Bedeutung. Die Begradigung und Einengung des Flusses führten zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und einer damit einhergehenden Erhöhung der Abrasion von Sohlmaterial. Der Umstand, dass seit den ersten Stromkraftwerken der 1970er-Jahre kaum noch natürliches Geschiebe über den Fluss transportiert wird, erhöht das Problem dramatisch. Die Folgen sind das Austrocknen von Auegebieten und das Sinken des Grundwasserspiegels. (HOHENSINNER, 2020) Gegenwärtig wird versucht, mithilfe von Geschiebemanagement dem Eintiefen des Flusses entgegenzuwirken. Eine Flotte an Schiffen ist damit beschäftigt, Geschiebe auszubaggern, um es flussaufwärts zu transportieren und dann wieder dem Strom zuzufügen.

Zudem werden unterhalb des Kraftwerks Freudenau jährlich zusätzliche 244 000 m³ Schotter geeigneter Körnung in die Donau geschüttet. (HABERSACK ET AL., 2021) Eine langfristige Lösung für das Ausbleiben des Geschiebes ist gegenwärtig nicht in Sicht. (HOHENSINNER, 2020)

Die im Zuge der Industrialisierung vollzogene Donau-regulierung markiert eine Änderung in der Wechselbeziehung von sozio-ökologischem Metabolismus und dem Wassersystem der Stadt. Die Leistungen, die zuvor von Flüssen und Bächen erbracht wurden, wurden zunehmend von neuen, auf fossilen Brennstoffen basierenden Technologien übernommen und von den Gewässern getrennt. (GIERLINGER ET AL., 2016) Bauwerke wie die Praterbrücke helfen nicht nur Personen, über den Strom zu gelangen, sondern sind für den überregionalen Transport von Waren entscheidend. Gerade angesichts der gegenwärtigen Pläne um den Bau eines Autobahntunnels unter der Donau und einem Naturschutzgebiet – der eine lediglich kurzfristige Entlastung der Praterbrücke bedeuten würde – ist eine gesellschaftliche Diskussion hinsichtlich der Kostenwahrheit von Güterverkehr wesentlich. Durch den weiteren Ausbau des bereits massiv subventionierten Straßenverkehrs wird eine perverse Facette des Kapitalismus verstärkt, die es gewinnbringend macht, Produkte tausende Kilometer zu transportieren, um sie einem weit verzweigten System von Verarbeitungs- und Verpackungsprozessen zuzuführen.

Vertreter*innen aus Politik und Wirtschaft argumentieren, dass eine weitere Autobahn globale Warenströme stärker an die Stadt Wien bindet und die Region wirtschaftlich besserstellen würde. Angesichts einer dringend erforderlichen sozial-ökologischen Transformation stellt sich jedoch die grundsätzliche Frage, wie viele Waren zur Erreichung eines guten Lebens für alle transportiert werden und wie viele

Tonnenkilometer lediglich zur Steigerung des Bruttoinlandsproduktes gefahren werden.

Eine gänzlich andere Perspektive auf die Diskussion fügt der Geologe Peter Haff mit dem Konzept der Technosphäre als globalem System hinzu: „Ein Netz von Straßen, Wegen, Rohren, Eisenbahnen, Flugrouten und Schifffahrtswegen unterstützt den Ferntransport von Masse und Energie und erinnert an die Zirkulation der atmosphärischen und ozeanischen Strömungen. Indem sie sich zu einem globalen Phänomen entwickelt hat, hat sich die Technosphäre mit den klassischen Sphären zu einem autonomen System der Erde entwickelt, das ohne direkte menschliche Kontrolle funktioniert.“ (HAFF, 2014)

Angesichts der für die Menschheit dringenden Notwendigkeit, einen Weg zu finden, die wachsende und sich beschleunigende Technosphäre zu bändigen, versucht das Projekt Reverse Imagining Vienna, die Akkumulation spezifischer anthropogener Baustoffe im gesamten sozial-ökologischen Kontext zu problematisieren und mit künstlerisch spekulativer Forschungspraxis Zukunftsmüdigkeit zu überwinden, Handlungsspielräume für die Zukunft zu erweitern und ein besseres Verhältnis mit der uns umgebenden Materie zu finden.

Verbaute anthropogene Materialien im Gründerzeithaus

Im Gebäude in der Favoritenstraße wurden fünf relevante Materialien identifiziert: Ziegel, Holz, Glas, Kalkstein und Kunststoff.

Ziegel — Das Gemäuer des Hauses ist aus Ziegeln errichtet. In der Baugenehmigung des Hauses wird festgelegt, dass diese im Keller unverputzt zu halten sind. Auch die Zwischendecke zum Dachboden ist aus Ziegeln gepflastert und folgt damit der Baubestimmung von 1829 (der ersten Gesetzessammlung zur Regulierung des privaten Bauwesens) hinsichtlich des Brandschutzes. Die im Gebäude gefundenen Ziegel ließen sich durch das Datensystem im Wiener Zieglmuseum klassifizieren. Anhand der Ziegelpunzen ließ sich nachweisen, dass einerseits Ziegel aus dem k. k. Ziegelwerk am Wienerberg (damals geleitet von Alois Miesbach – daher A·M), andererseits aus den Öfen von Alexander Simonet (A·S) am Laaer Berg und Inzersdorf stammen. Im Haus finden sich aber auch diverse andere Ziegel, die für Adaptionen und Anpassungen seit 1848 verwendet wurden und als Zeitmarker fungieren.

Wie üblich zur damaligen Zeit wurden drei unterschiedliche Ziegelformate verwendet, die je nach Anwendung im Kellergeschoss, für das Mauerwerk oder für die Zwischendecke zum Dachboden gesetzt wurden.

Holz — Holz wurde als Dippelbäume in der Decken-Tragkonstruktion, dem Dachstuhl, für Türen und Fensterrahmen sowie für Böden (außer in Küchen und Gängen, wo sie aus Stein waren) verwendet. In der repräsentativsten Wohnung in der Bel-Etage wurde beispielsweise das sogenannte Versailler Parkett aus Eichenholz verlegt. Zum Zeitpunkt der Erbauung war Holz

ein etablierter Baustoff, der den Jahrhunderten standhalten konnte und dessen Gefahren durch Brandschutzbestimmungen entgegengewirkt wurde.

Aus dem Archiv der Baupolizei geht hervor, dass sämtliche Fensterrahmen und Türen ausgetauscht wurden und im Laufe der Zeit kleinere Instandhaltungen vorgenommen wurden. Da sich aus dem Archivmaterial auch nachvollziehen lässt, dass das Gebäude im Zweiten Weltkrieg teilweise beschädigt wurde, scheint es naheliegend, dass einige Hölzer der Grundstruktur ausgetauscht wurden und aus der Zeit nach 1945 stammen.

Glas — Es ist nicht eindeutig, welche Art von Glas anfangs in den Fenstern des Hauses verbaut wurde, da es über den ursprünglichen Auftrag keinen Nachweis gibt. Genauso wenig sind Bilder vorhanden, die aufgrund des Farbstiches der ursprünglichen Fenster Rückschlüsse auf deren Ursprung ziehen lassen. Ein Bombeneinschlag im Innenhof 1945, der in den Archiven des Magistrates belegt ist, lässt davon ausgehen, dass zu diesem Zeitpunkt jede intakte Glasscheibe zu Bruch gegangen ist.

Kalkstein — *Leithakalk*: Es ist anzunehmen, dass die aus Kalkstein gefertigten Stufen des Gründerzeithauses aus den Brüchen in Mannersdorf stammen. Leithakalk zählt zu den Neogenen, also relativ jungen Gesteinen, die vor etwa 16–14 Mio. Jahren in der Paratethys, einem sehr seichten Meer im Wiener Becken, durch Sediment-Ablagerungen in Atoll-artigen Inseln gebildet wurden.

Nach der Fertigstellung der Südbahn 1857 wurde Kalkstein aus Steinbrüchen rund um Triest importiert. Der Mannersdorfer Kalksteinbruch wurde dadurch als Quelle für Naturstein

abgelöst. Er ist aber bis heute der wichtigste Kalksteinlieferant für Zementherstellung in Ostösterreich.

— *Solnhofener Plattenkalk*: Das Erscheinungsbild und die charakteristische Verwendungssituation deutet darauf hin, dass die Fußbodenplatten in den halböffentlichen Gängen Solnhofener Kalkplatten sind. Die makroskopischen Eigenschaften hinsichtlich Körnigkeit, Homogenität und Farbigekeit führen zu einer eindeutigen Zuweisung. Zusätzlich wurde ein Dünnschliff angefertigt und analysiert.

— *Kalkputz*: Der Kalkputz der Fassade wurde nicht bestimmt, es liegt jedoch nahe, dass es sich um ein lokales Produkt handelt und beispielsweise aus dem Steinbruch Rodaun stammt, da es galt, Transportwege so weit wie möglich zu vermeiden. Ziegelsichtige Fassaden bildeten in Wien seit jeher die Ausnahme, und für Natursteinfassaden war die Materialbeschaffung und -bearbeitung oft zu kostspielig, sodass die meisten Fassaden verputzt wurden. Für das Haus in der Favoritenstraße wurde ein Kalkputz verwendet, da zur Erbauungszeit noch keine anderen Mörtelbindemittel als Kalk verfügbar waren.

Kunststoff — Im Haus in der Favoritenstraße befinden sich im Vergleich zu thermisch sanierten Gründerzeithäusern und Neubauten wenig Kunststoffe, da eine Dämmung aus Styropor oder Styrodur nicht vorhanden ist. Primär ist es die Haustechnik, die Kunststoff in Form von Wasserverrohrungen oder auch Ummantelungen von Kabeln aufweist. Des Weiteren befinden sich mehrere Schichten Farbe auf der Fassade, die seit den 1960er-Jahren weitgehend auf Kunststoffen basieren. Zudem wurden bei Renovierungsarbeiten für einige der hofseitigen Fenster Fensterrahmen aus Kunststoff verwendet.

Verbaute anthropogene Materialien in der Praterbrücke

In der Praterbrücke über die Donau wurden fünf relevante Materialien identifiziert: Kunststoff, Stahl, Granit, Asphalt und Beton.

Kunststoff — Die größte Menge Kunststoff, die sich in der Praterbrücke findet, besteht in den Anstrichen, die die Hohlkästen der Stahlbrücke vor Korrosion schützen. Die Fläche der beiden 413 m langen, 4,5 m hohen und 7,5 m breiten Stahlkörper beträgt ungefähr 39 800 m². Auf der Fahrbahnoberfläche unterhalb des Asphalts beträgt die Lackschichtdicke 3 mm. An den anderen Flächen lassen Schichtdickenmessungen auf eine durchschnittliche Stärke von 0,5 mm schließen. Daraus ergibt sich, dass Lacke mit einem Gesamtvolumen von 35,5 m³ auf der Brücke aufgetragen sind. Bei einem geschätzten Gewicht von 1,1 kg pro Liter entspricht dies etwa 39 000 kg.

Asphalt — Aus dem Archiv der ASFINAG lässt sich entnehmen, dass der Straßenbelag der Brücke nur 2 cm dünn auf das Stahlblech aufgetragen wurde. Dabei wurde spezieller Asphalt verwendet, um die Gewichtsbelastung der bereits durch den Knick malträtierten Brücke möglichst gering zu halten. Im Jahr 2000 wurde der Asphalt vollständig erneuert. Die genaue Herkunft des Asphalts wurde nicht eruiert.

Granit — Der für die Verkleidung der Brückenpfeiler verwendete Granit stammt aus dem Steinbruch Neuhaus in Plöcking, wo er vor 340 bis 300 Mio. Jahren gebildet wurde. Dokumente aus dem Archiv der ASFINAG geben als Lieferanten das „Granitwerk Anton Poschacher“ an, das seinen heutigen Firmensitz im Nachbarort von Mauthausen hat. Eine detailliertere

Auseinandersetzung mit der Firma Poschacher und ihrem Verhältnis zum KZ Mauthausen findet sich im Kapitel *Neun anthropogene Materialien*.

Stahl — Die Stahlbrücke besteht laut Bestellscheinen aus etwa 2060 Tonnen Stahl. In der Betonbrücke wurden 37 Tonnen Spannstahl verbaut.

Den Archiven der ASFINAG ist zu entnehmen, dass der für den Bau der Betonbrücke benötigte Spannstahl für den Spannbeton von der deutschen Stahlfirma Krupp und der Stahl für den Bau der Strombrücke von der österreichischen Stahlfirma voestalpine Stahl Donawitz GmbH bezogen wurde. Nachforschungen bei VOEST ergaben, dass der Stahl für die Brücke in Linz erzeugt wurde und in einem 200-t-Siemens-Martins-Ofen erschmolzen wurde. Laut Angaben des Geschichtclubs der Voestalpine wurde dieser in den 1960er-Jahren meistens mit 100 % Schrotteinsatz betrieben. Genauere Informationen zu Herkunft und Zusammensetzung lassen sich nicht mehr finden.

Beton — Drei der vier Abschnitte der Praterbrücke sind primär aus Beton gefertigt: die Prater Hochstraße, die Kaibrücke und die Flutbrücke. Der verwendete Zement stammt von der Firma Perlmooser – dem damals größten Zementproduzenten Österreichs. Er wurde mit hoher Wahrscheinlichkeit aus Kalkstein des Mannersdorfer Steinbruchs am Leithagebirge gebrannt und hat damit denselben geologischen Ursprung wie die Steinstufen des Gründerzeithauses. Neben Zement beinhalten die in den Brückenpfeilern und den Spannbetonelementen verarbeiteten Betone zwei verschiedene Zuschlagstoffe unterschiedlicher Herkunft: einerseits feiner kantiger Quarzsand, der vermutlich aus dem Raum Melk

stammt, andererseits abgerundeter Flusskiesel, der aufgrund seiner Zusammensetzung (Quarzgestein, Dolomit, Kalkstein, Hornstein) auf eine Herkunft aus der Donau schließen lässt. 1996 wurde Perlmooser von der französischen Firma Lafarge übernommen, die 2015 mit der Schweizer Firma Holcim fusionierte. 2024 ist die Holcim AG der weltweit drittgrößte Produzent von Zement.

Johannes Weber

Probenanalysen ausgewählter Baustoffe

UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Favoritenstrasse 17 & Praterbrücke

Begutachtung und Bilddokumentation der Proben im Eingangszustand mittels Digitalmikroskopie.

Herstellung polierter petrografischer Dünnschliffe normal zur Oberfläche, nach Vakuumimprägnierung mit blau eingefärbtem Epoxidharz.

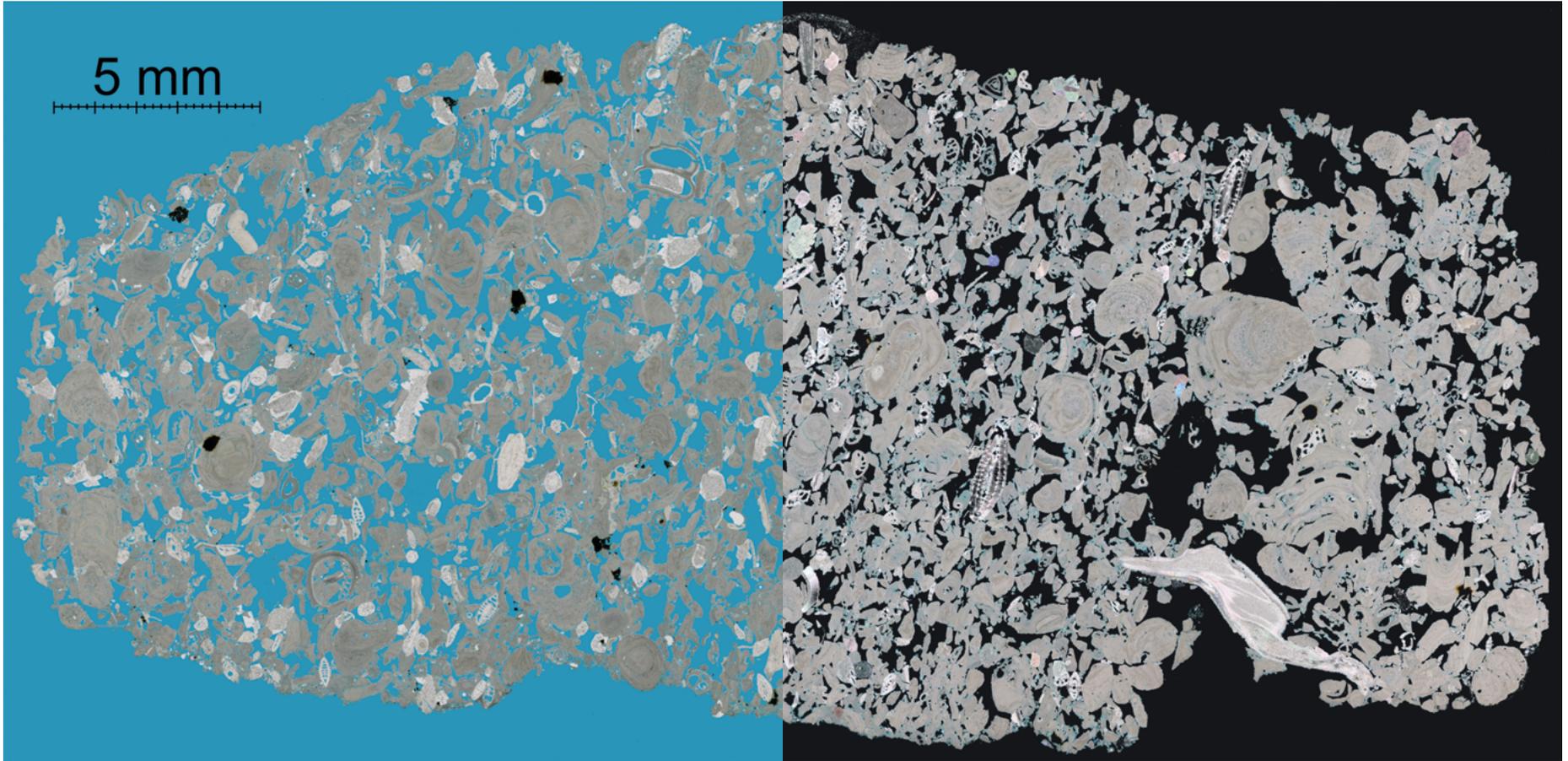
Scan der gesamten Dünnschliffe im Durchlicht (parallele und gekreuzte Polarisatoren) mittels Digitalmikroskopie.

Untersuchung der Dünnschliffe im Polarisationsmikroskop (Auflicht/Durchlicht).

Untersuchung ausgewählter Schlibfbereiche im Rasterelektronenmikroskop (REM, Niedrigvakuumbetrieb) gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX).

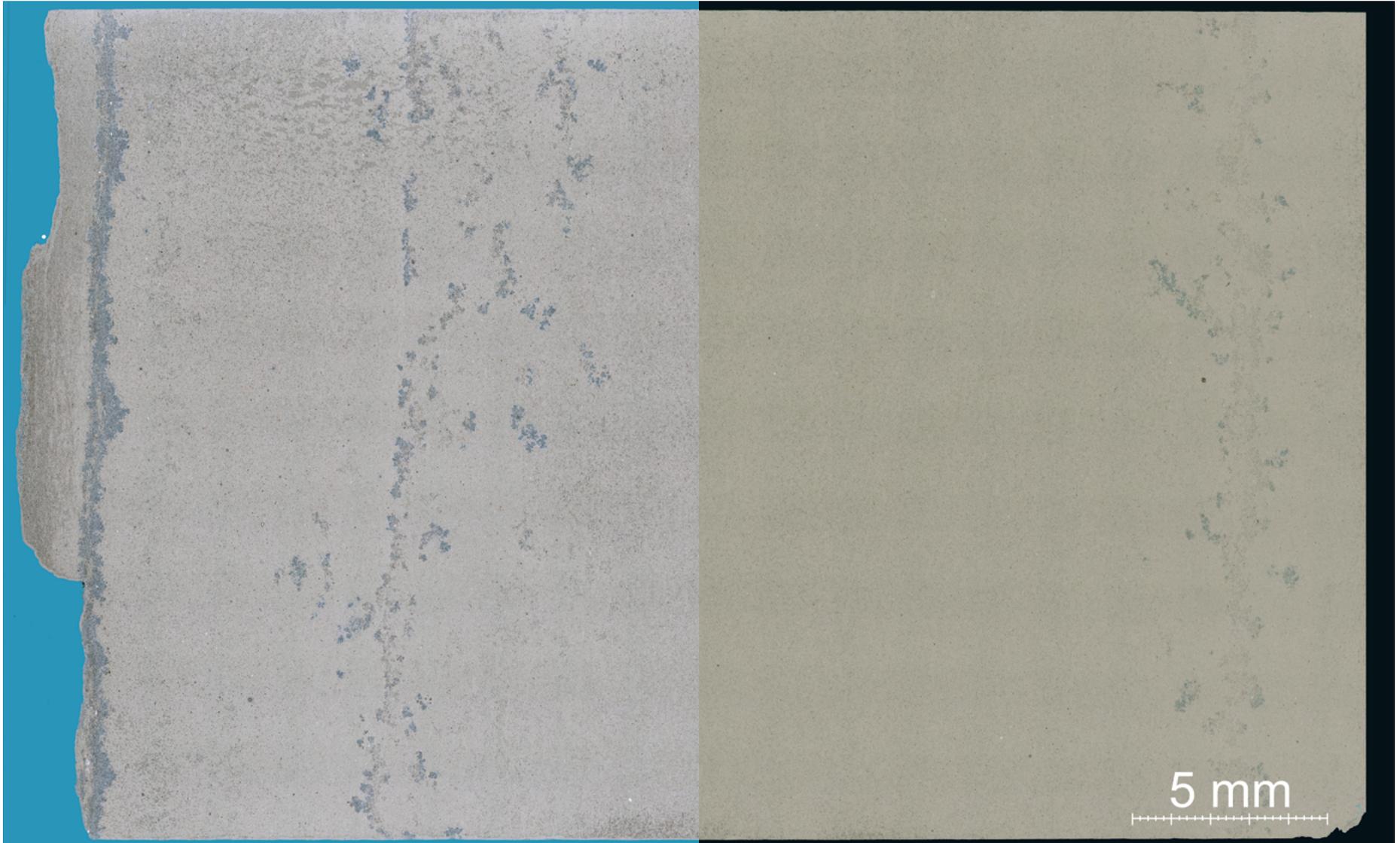
Favoritenstrasse 17

Untersuchung von Bruchstücken im Rasterelektronenmikroskop (REM, Hochvakuumbetrieb, Goldbedampfung) gekoppelt mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX).



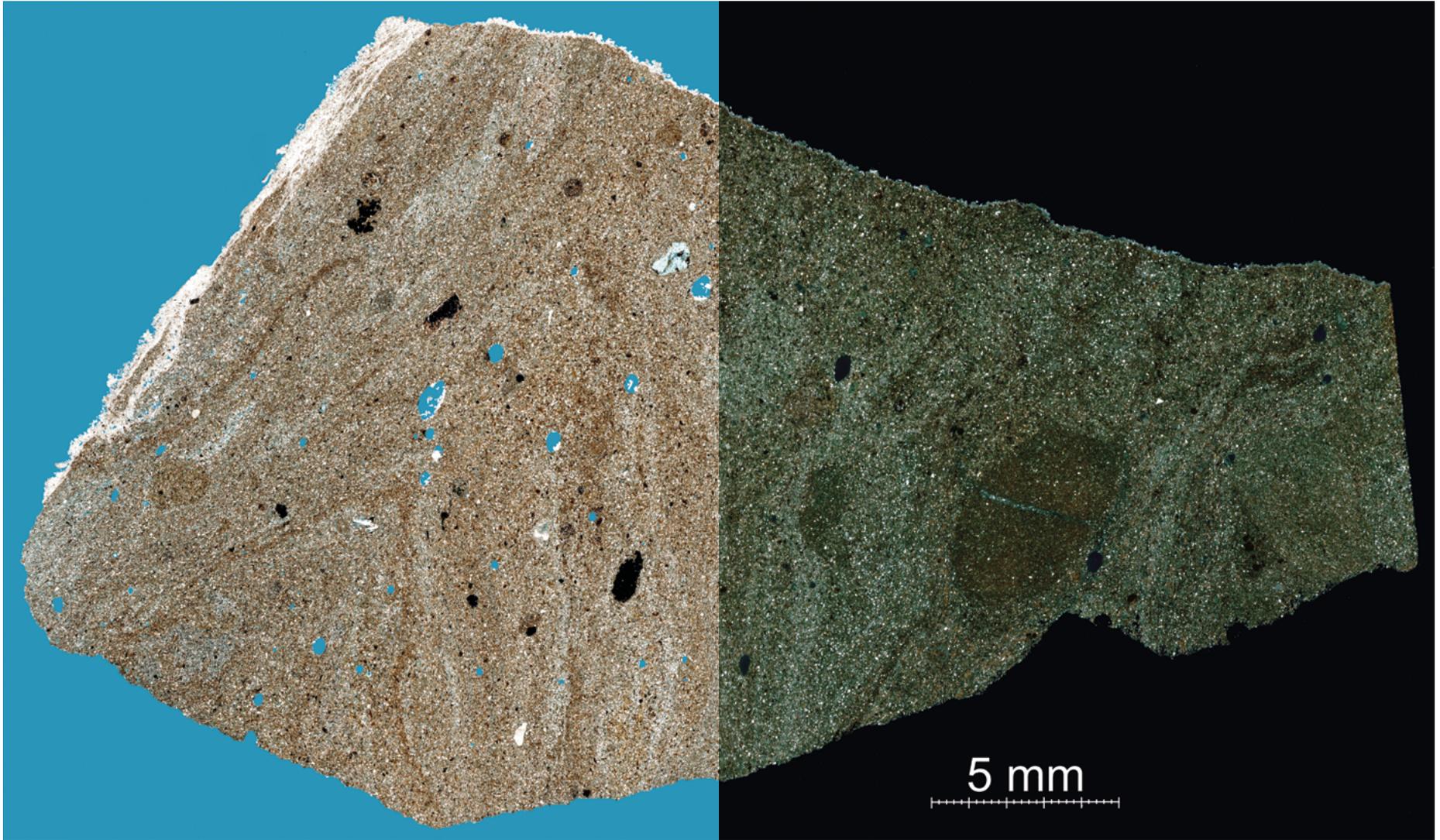
Naturstein profiliert, vmtl. ehemalige Treppenstufe des Gründerzeithauses – Biokalkarenit (RIV-F-1)

Dünnschliff, Durchlicht, Digitalmikroskopie; links: parallele Polarisatoren, rechts: gekreuzte Polarisatoren



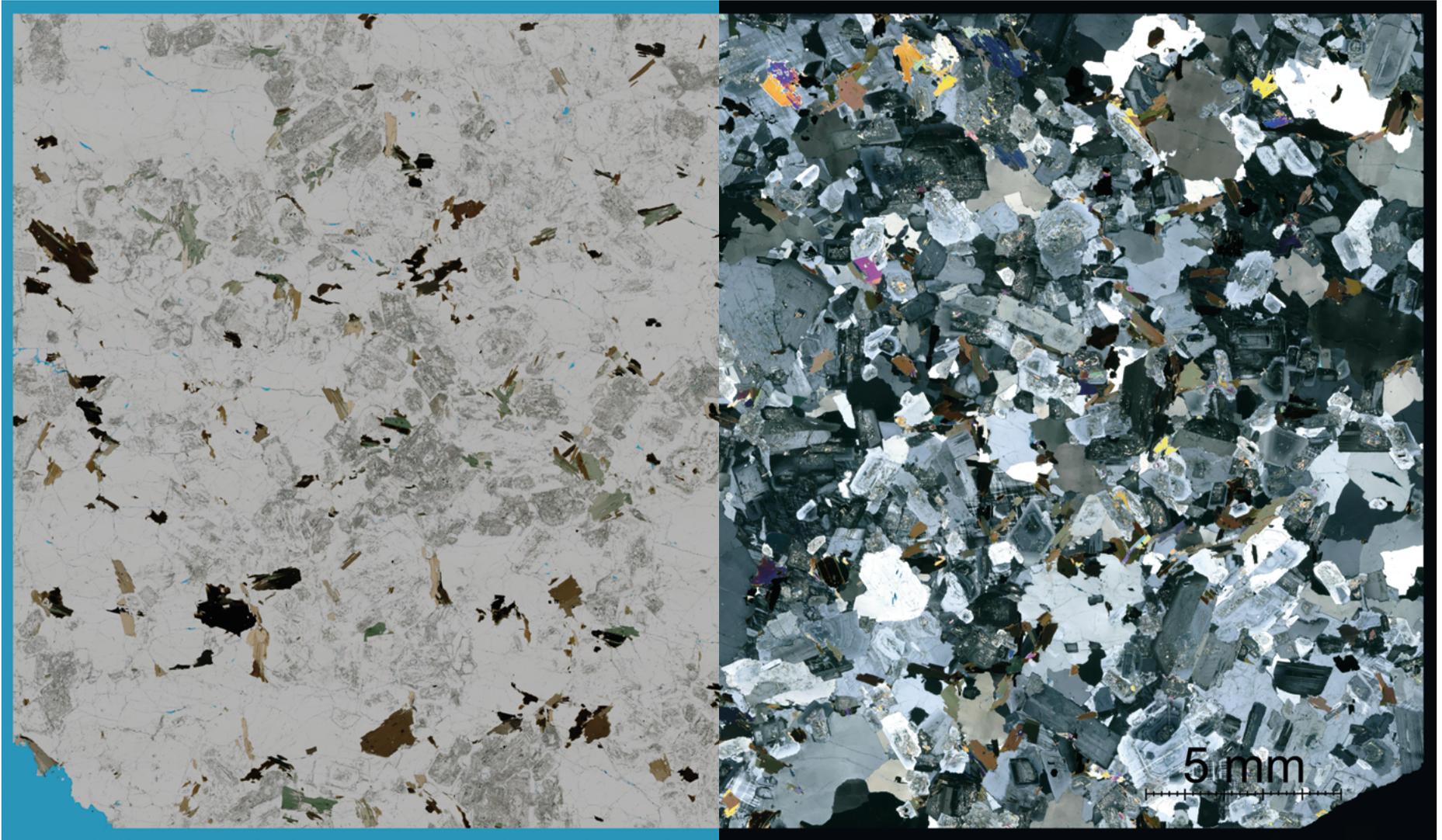
Naturstein Bodenplatten – Solnhofener Plattenkalk, Gründerzeithaus (RIV-F-2)

Dünnschliff, Durchlicht, Digitalmikroskopie; links: parallele Polarisatoren, rechts: gekreuzte Polarisatoren



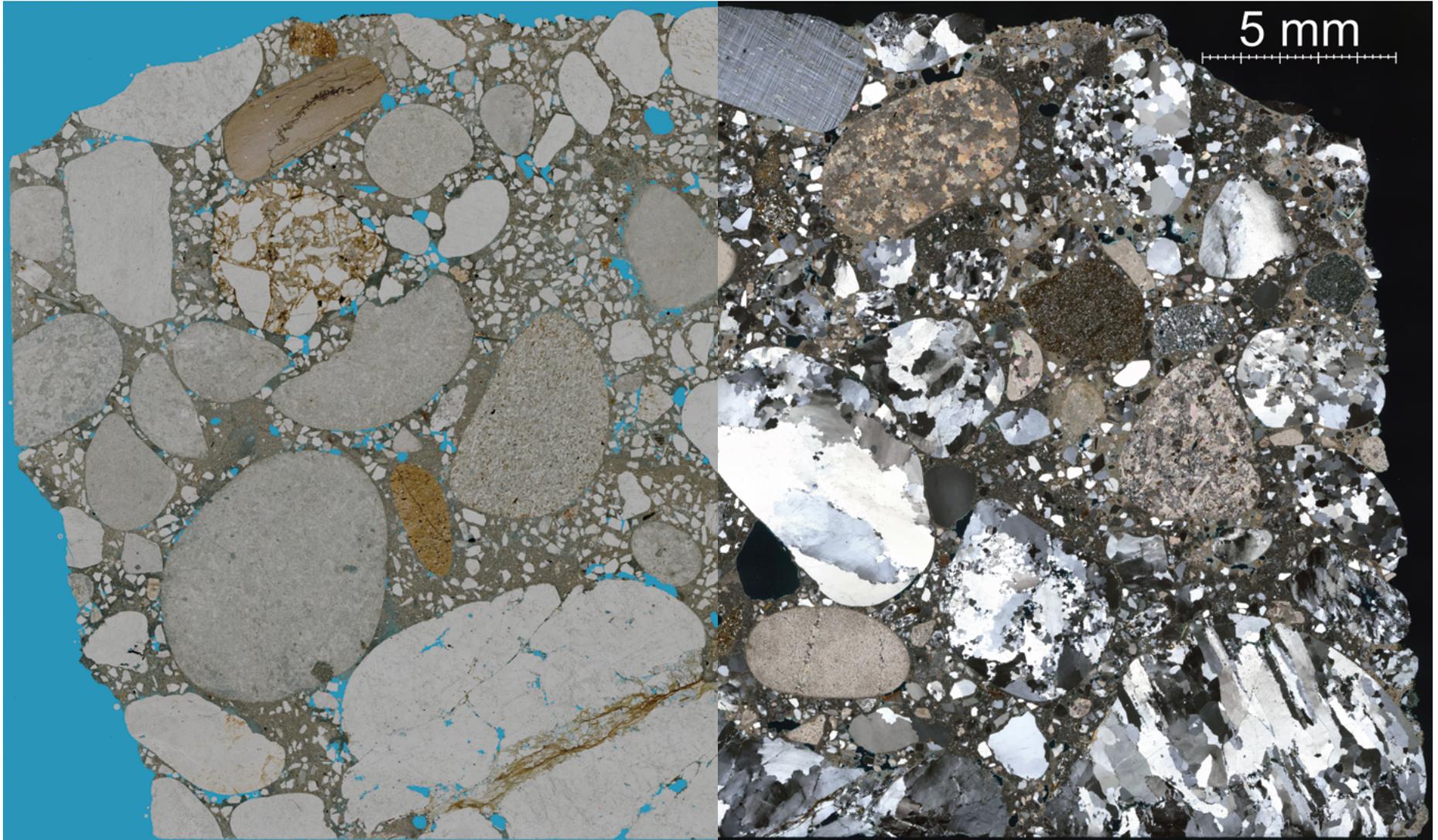
Mauerziegel, Fundament, Gründerzeithaus (RIV-F-4)

Dünnschliff, Durchlicht, Digitalmikroskopie; links: parallele Polarisatoren, rechts: gekreuzte Polarisatoren



Granit des Brückenpfeilers (RIV-DB-4)

Dünnschliff, Durchlicht, Digitalmikroskopie; links: parallele Polarisatoren, rechts: gekreuzte Polarisatoren



Beton I, Spannbeton, Flutbrücke (RIV-DB-1)

Dünnschliff, Durchlicht, Digitalmikroskopie; links: parallele Polarisatoren, rechts: gekreuzte Polarisatoren

Naturstein profiliert, vmtl. ehemalige Treppenstufe; Biokalkarenit

RIV-F-1: Probe aus Abbruch, Lagerung im Keller

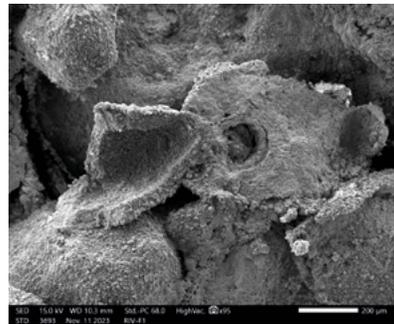
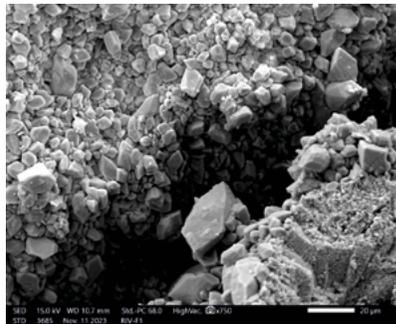


STEINSORTE: Biokalkarenit aus der Gesteinsformation der Leithakalke, vmtl. aus dem Bruchgebiet Au-Loretto (geol. Alter: Sarmatium = 12,7 bis 11,6 Mio Jahre)

BESCHREIBUNG: detritärer Leithakalk, vorw. aus abgerollten Bruchstücken von Kalkrotalgen und Foraminiferen, 1–1,5 mm Korngröße, gute Sortierung; diagenetische Zementierung mit Calcit, jedoch zahlreiche Zwickelporen bis 1 mm und vereinzelte intrapartikuläre Poren

MINERALBESTAND: ausschließlich Calcit, CaCO_3

POROSITÄT: 23,5 V.-%



RIV-F-1: Bruchfläche, REM: Sparitischer Kornzement (*links*) und Schalenbruchstücke (*rechts*).

Naturstein Bodenplatten; Solnhofener Plattenkalk

RIV-F-2: Probe aus Abbruch, Lagerung im Keller



STEINSORTE: Solnhofener (auch „Kehlheimer“) Plattenkalk aus dem Bereich Solnhofen-Eichstätt-Kehlheim (Mittelfranken und Oberbayern); seit dem Mittelalter auch in Wien zahlreich für Bodenplatten und Grabreliefs verwendet (geol. Alter: Malm/Oberjura = 150–145 Mio. Jahre)

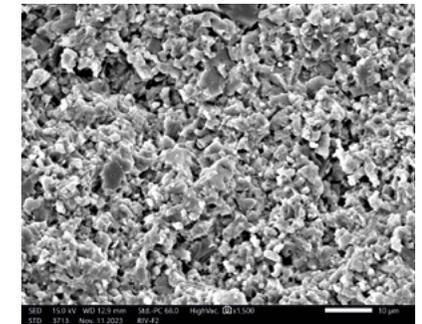
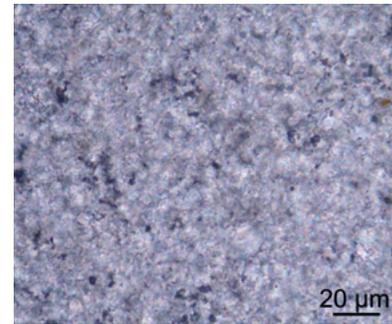
BESCHREIBUNG: Cremefarbener, extrem feinkörniger und homogener Kalkstein, als Lagunensediment aus Kalkschlamm gebildet. Die Matrix besteht großteils aus xenomorphen, mikritischen Calcitkristalliten von 2–5 μm Größe, nur randlich der wenigen Makroporen können durch Rekristallisation ca. 10 μm erreicht werden. Dadurch entzieht sich der Stein einer petrografischen Begutachtung im Lichtmikroskop.

Die Platten sind durch Spaltung gewonnen und ev. fein geschliffen. Die Tendenz zum plattenförmigen Abheben ist im Mikrogefüge nicht erkennbar

MINERALBESTAND: ausschließlich Calcit, CaCO_3 , mglw. geringe Mengen sehr feiner Tonminerale

POROSITÄT: sehr niedrig, nur geringe kapillare Saugfähigkeit

QUELLEN: https://de.wikipedia.org/wiki/Solnhofener_Plattenkalk



RIV-F-2: Dünnschliff, PLM – selbst bei höchster Vergrößerung (hier: 1000-fach) sind die einzelnen Calcitkristalle im Lichtmikroskop nicht erkennbar. (*links*) Bruchfläche, REM: Calcitmatrix (*rechts*)

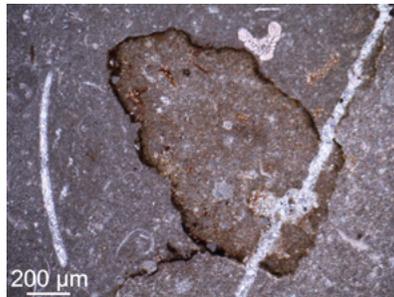
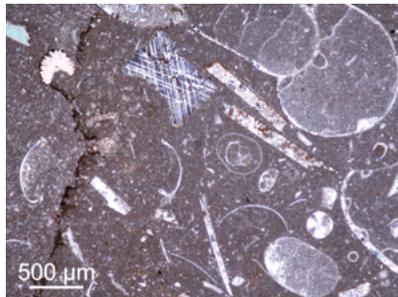
Naturstein Bodenplatten; Adneter Stein

RIV-F-7: Probe aus Abbruch, Lagerung im Keller



STEINSORTE: Adneter Kalkstein („Salzburger Marmor“) vom Typ Lienbach aus dem Bereich Adnet südl. der Stadt Salzburg; seit der Römerzeit und dem Mittelalter österreichweit u.a. für Bodenplatten und Grabreliefs verwendet; häufig auch im Schachbrettverband mit Kehlheimer Platten (geol. Alter: Lias/ Unterjura = 200–175 Mio. Jahre)
BESCHREIBUNG: Durch Eisen und Mangan rot gefärbter, i.a. feinkörniger Knollenkalk als Riffsediment aus Kalkschlamm gebildet. Die Matrix besteht großteils aus xenomorphen, mikritischen Calcitkristalliten von unter 10 µm Größe, in die Fossilschalen und calcitverfüllte Fossilkerne eingebettet sind. Typisch sind die etwas dunkler gefärbten Knollen,

die von toniger Substanz und/oder Manganhäutchen überzogen sind. Sie bilden die Ursache der charakteristischen Ausbrüche an frei bewitterten bzw. begangenen Oberflächen.
MINERALBESTAND: fast ausschließlich Calcit, CaCO₃, mit geringen Mengen von Eisen- und Manganoxid und Tonmineralen
POROSITÄT: sehr niedrig, nur geringe kapillare Saugfähigkeit
QUELLEN: KIESLINGER, A. (1951). *Gesteinskunde für Hochbau und Plastik*. S. 120 f. Österr. Gewerbeverlag
https://de.wikipedia.org/wiki/Adneter_Marmor



RIV-F-7: Dünnschliff, PLM, gekreuzte Polarisatoren – durch Eisen und Mangan rot gefärbte, mikritische Kalkmatrix mit zahlreichen Fossilschalen, vv. Crinoiden, und mit Calcit gefüllten Hohlräumen (*links*) bzw. von Manganoxid und Tonen begrenzte Knollen und ausgeheilten Klüften (*rechts*)

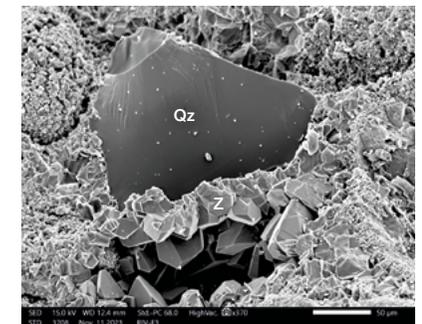
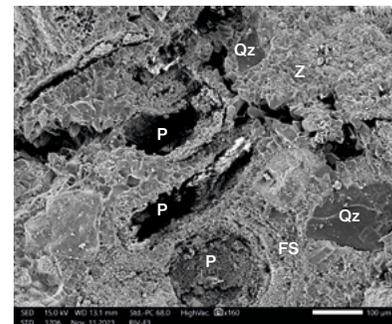
Naturstein Mauerwerk Fundament; Kalkarenit

RIV-F-3: Probenentnahme vor Ort



STEINSORTE: quarzführender Kalkarenit vom Typ „Türkenschanz-Sandstein“ (die Herkunft von einem Bruch im Bereich des heutigen Türkenschanzparks ist wahrscheinlich, aber nicht gesichert); die Abbaue dürften vom Mittelalter (gotische Madonnen des Stephansdoms und der Minoritenkirche; Mauerwerk der Heiligenstädter Kirche) bis zur Verbauung des Cottageviertels um die Wende zum 20. Jh. in Betrieb gewesen sein. Geologisches Alter des Steins: Känozoikum, ca. 12 Mio. Jahre.
BESCHREIBUNG: gelblicher, feinkörniger Bio-Kalkarenit mit zahlreichen marinen Fossilschalen und vielen detritären Quarzkörnern von ca. 0,2 mm, die oft die Kerne von Ooiden bilden, was auf eine

strandnahe Sedimentationsfazies hinweist. Ausgeprägte Zementation durch Calcit.
MINERALBESTAND: Ca. 76% Calcit, CaCO₃ (Fossilien, Ooidschalen und Kornzement) und 24% detritäre Silikat Körner (vorw. Quarz, SiO₂)
POROSITÄT: ca. 9,5 V.-%
QUELLEN: <https://boku.ac.at/baumat/iag/arbeitsgruppen-forschungsschwerpunkte/natursteingarten/tuerkenschanz-sandstein>



RIV-F-3: Bruchfläche, REM-Korngefüge mit diagenetischen Lösungsporen (P), Fossilschalen (FS), calcitischen Anwachssäumen um Quarz (Qz) und sparitischem Kornzement (Z).

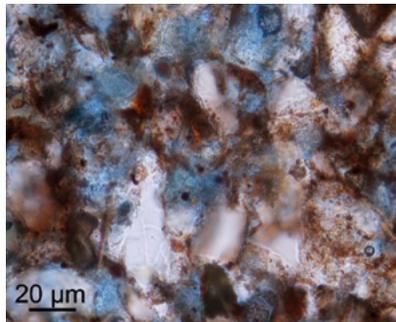
Mauerziegel Fundament

Mauerziegel, Probenentnahme vor Ort (RIV-F-4)

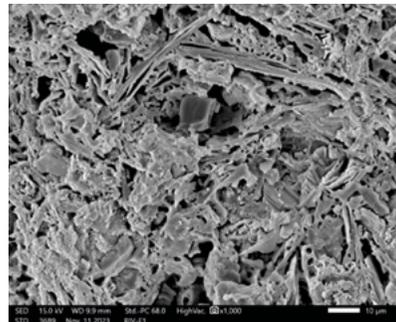


BESCHREIBUNG: dunkelroter, sehr fester und homogen-feinkörniger keramischer Ziegel; die Textur des Scherbens entspricht der zur Entstehungszeit üblichen manuellen Durchmischung und Formgebung. Die Feinkörnigkeit und Homogenität sind für die erkennbar hohe Festigkeit entscheidend, da der Sintergrad des Ziegels nicht besonders hoch ist. Gipskruste auf der Oberfläche (aus abrinndem Wasser ausgeschieden)

POROSITÄT: Makroporen: ca. 0,7 V.-%; die zahlreichen, sehr feinen Mikroporen der Matrix (μm bis sub- μm Porendurchmesser) können mit der Bildanalyse nicht quantifiziert werden, dürften aber nur bei langandauernder starker Durchfeuchtung kapillaraktiv wirksam sein.



RIV-F-4: Dünnschliff, PLM-Scherbengefüge mit feinem Quarz in Matrix aus Tonen, feinem Glimmer und Eisenoxid (*links*); Bruchfläche, REM-Scherbengefüge. (*rechts*)



Mauermörtel

RIV-F-5: Mörtel, Probenentnahme vor Ort



BESCHREIBUNG: bräunlicher hydraulischer Kalkmörtel

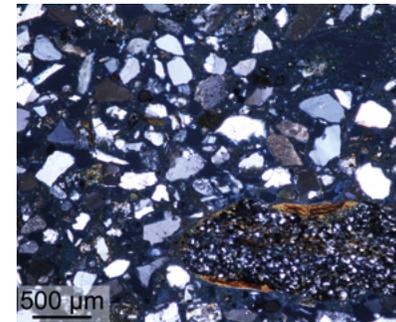
MISCHUNGSVERHÄLTNIS:

Bindemittel: 39,6 V.-%; Zuschlag: 60,4 V.-%

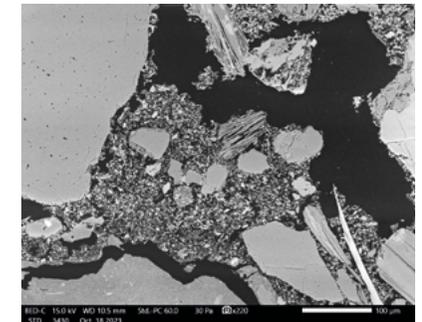
BINDEMITTEL: Natürlich hydraulischer Kalk mit gelegentlichen Kalkspatzen (Hinweis auf kurzzeitigen Löschvorgang)

ZUSCHLAG: Bach- oder Grubensand aus kantengerundetem Silikatsand (vorw. Quarz, etwas Glimmer) < 0,4 bzw. max. 1 mm und wenig gut gerundetem Grobsand (eisenschüssiger feiner Sand- bzw. Siltstein) bis max. 3 mm

POROSITÄT: ca. 20 V.-% kapillaraktive Gefügaporen



RIV-F-5: Dünnschliff, PLM gekreuzte Polarisatoren; die sehr dunklen Interferenzfarben des Bindemittels entsprechen dem hydraulischen Charakter des Mörtels (*links*); REM: Mörtelgefüge (*rechts*).



Spannbeton Flutbrücke; Beton I.

RIV-DB-1: Probenentnahme vom Pfeiler S/F
auf der Donauinsel



BESCHREIBUNG: typischer

Konstruktionsbeton

MISCHUNGSVERHÄLTNIS:

Bindemittel: 16,7 V.-%

Feinsand: 15,6 V.-%

Flussskies: 63,8 V.-%

Luftporen: 3,9 V.-%

MÖRTELGEFÜGE: bindemittelgestützt

BINDEMITTELTYP: Portlandzement,
mögliche Herkunft: ehem. Perlmooser
Zementwerk Mannersdorf, feingemahlener
PZ-Klinker, ca. 50 µm

MATRIXGEFÜGE: trotz zahlreicher
unhydratisierter Klinkerrelikte gute
Entwicklung einer dichten Hydratmatrix

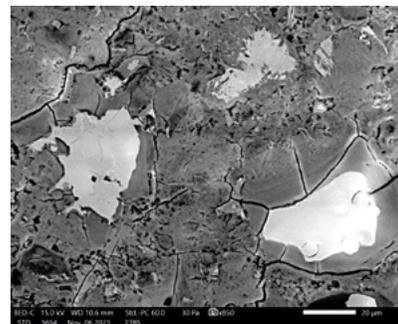
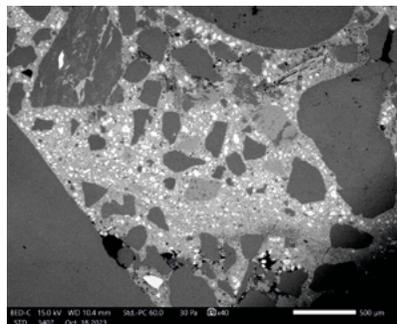
ZUSCHLAG: 1. kantiger Quarzsand um ca.
0,2 mm, mögliche Herkunft: Raum Melk
(„Melker Sande“); 2. unsortierter, gut
gerundeter Flussskies – Quarzgesteine,

Dolomit, Kalkstein, Hornstein: wahrschein-
liche Herkunft: Donauschotter. ca. 2 mm
bis 10 mm

POROSITÄT: Makroporen: einige kugel-
förmige Luftporen und linsenförmige
Verdichtungsstellen

KAPILLARPOROSITÄT: keine

SEKUNDÄRE UMSETZUNGEN: teilweise
Karbonatisierung bis in mehrere cm Tiefe,
vollständig nur in wenigen mm von der
Oberfläche



RIV-DB-1: Dünnschliff, REM Bindemittel mit zahlreichen kleinen Klinkerrelikten (weiß) und Quarzsand (links); Klinkerrelikte (weiß) in dichter Hydratmatrix (rechts).

Brückenpfeiler Strombrücke; Beton II.

RIV-DB-2: Probenentnahme auf dem Pfeiler S2
in der Donau



BESCHREIBUNG: typischer

Konstruktionsbeton

MISCHUNGS-VERHÄLTNIS:

Bindemittel: 20,8 V.-%

Feinsand: 15,7 V.-%

Flussskies: 61,3 V.-%

Luftporen: 2,2 V.-%

MÖRTELGEFÜGE: bindemittelgestützt

BINDEMITTELTYP: Portlandzement,
mögliche Herkunft: ehem. Perlmooser
Zementwerk Mannersdorf, gröber
gemahlener PZ-Klinker mit bis zu
ca. 150 µm, etw. Hüttensand

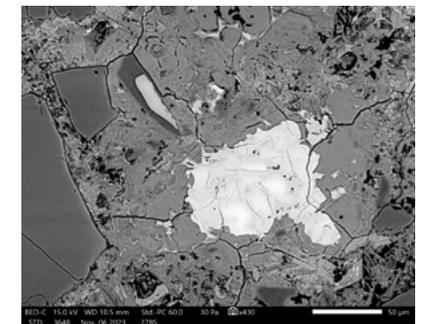
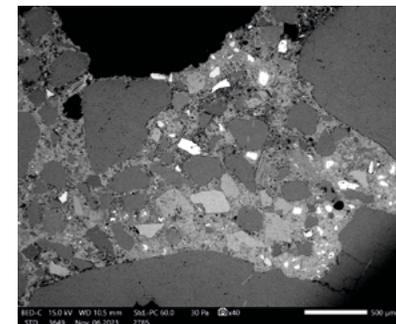
MATRIXGEFÜGE: trotz zahlreicher
unhydratisierter Klinkerrelikte gute
Entwicklung einer dichten Hydratmatrix

ZUSCHLAG: 1. kantiger Quarzsand um
ca. 0,2 mm, mögliche Herkunft: Raum
Melk („Melker Sande“); 2. unsortierter,

gut gerundeter Flussskies – Quarzgesteine,
Dolomit, Kalkstein, Hornstein: wahr-
scheinliche Herkunft: Donauschotter.
ca. 3 bis 40 mm

POROSITÄT: Makroporen: einige kugel-
förmige Luftporen und linsenförmige
Verdichtungsstellen

KAPILLARPOROSITÄT: keine
SEKUNDÄRE UMSETZUNGEN: teilweise
Karbonatisierung in unregelmäßigen
Zonen bis in mehrere cm Tiefe



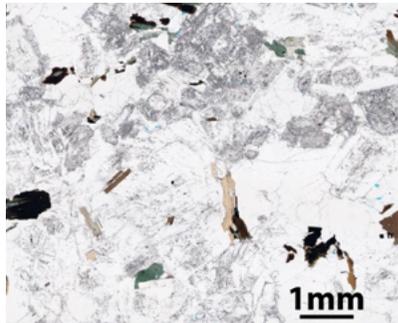
RIV-DB-S2: Dünnschliff, REM – Bindemittel mit zahlreichen kleinen Klinkerrelikten (weiß) und Quarzsand (links); Klinkerrelikt (weiß) und Hüttensand (li.o) in dichter Hydratmatrix (rechts).

Naturstein Brückenpfeilerbekleidung; Neuhauser Granit

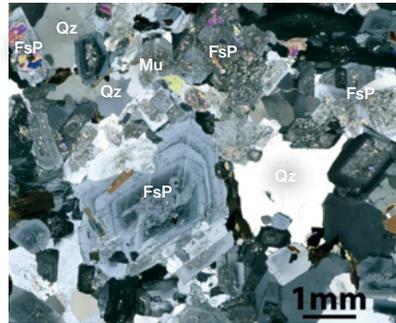
Probenentnahme am Pfeiler S2 in der Donau (RIV-DB-4)



BESCHREIBUNG: mittelkörniger hellgrauer
Granit vom Typ Neuhaus (OÖ)



RIV-DB-4: Dünnschliff, links: Detail parallele Polarisatoren; rechts: gekreuzte Polarisatoren – Qz=Quarz, Fsp=Feldspat (tw. Plagioklas), Mu=Muskovit.



Opening 30 Apr 2024, 19:00
Finissage 29 May 2024, 18:30

Exhibition opening hours
Mon-Fri 11:00-18:00
Open Saturday 4 May, 10:00-18:00

Reading nights of participating authors
(18:30)

8 May with Jakob Preiterhofer, Fiston Mwanza Mujila. Performance by Nikolaus Eckhard and friends
15 May with Julia Grillmayr, Nika Pfeifer
22 May with Neslihan Yakut, Ann Cotten
29 May with Veronika Franz, Severin Fiala, Elias Hirschi

Since 2020, the global stock of man-made mass has exceeded the total sum of biomass on Earth – around 90 percent of which is building materials. In the project *Reverse Imagining Vienna*, two sculptors and nine writers took a Viennese Gründerzeit building and the Prater Bridge as material and speculative anchors in which to gain perspectives on sustainable relationships with inanimate matter. Referring to so-called *reverse engineering*, the two structures were deconstructed and recomposed in a historical, materialanalytical, poetic and visionary way using *reverse imaging*.

The exhibition *Reverse Imagining Vienna* is the final presentation of the artistic research project of the same name. Sculptures, scientific analyses of nine anthropogenic materials, which are most relevant to the case studies, and the first volume of a publication containing the resulting literary contributions are on display.

Participating researchers: Angelika Penner, Barbara Laa, Filipa L. Sousa, Fridolin Krausmann, Jan Zalasiewicz, Johannes Weber, Josepha Edbauer, Michael Wagreich, Peter Fichtinger, Sebastian Hafner, Tanja Traxler, Tess Posch

Project management and sculpture
Christoph Weber, Nikolaus Eckhard

Special thanks to Bundesdenkmalamt – Katharina Mauerbach

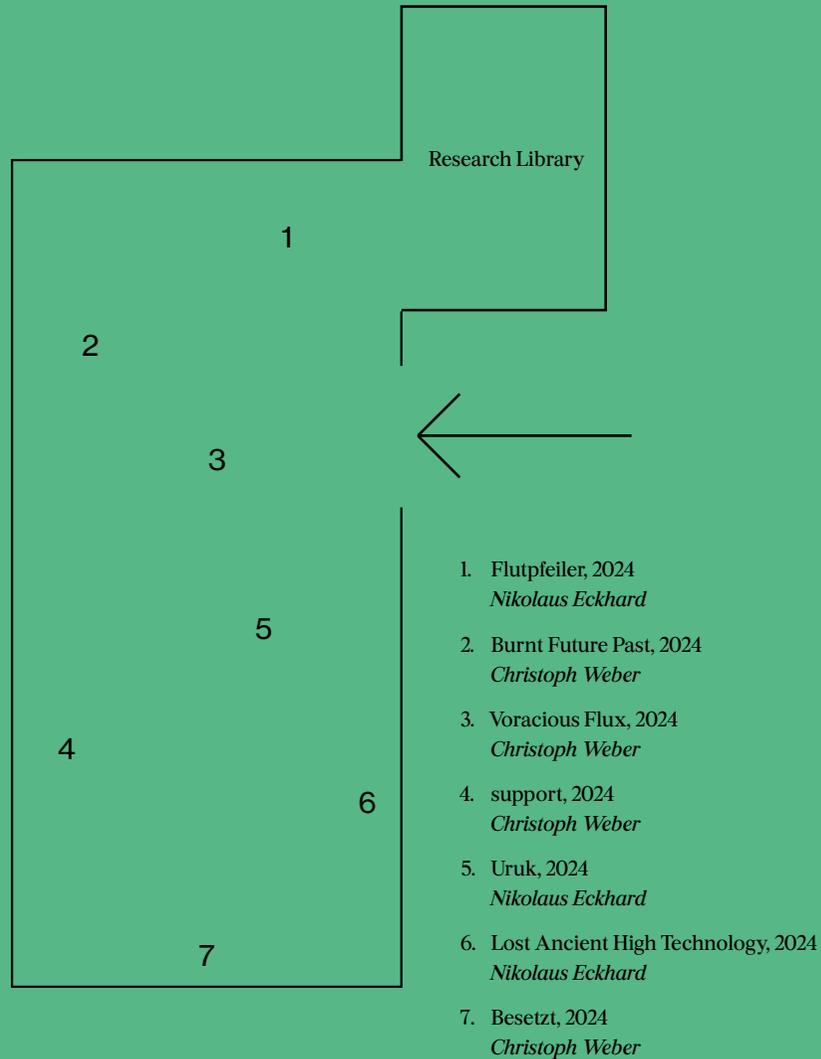
AIL is an experimental space and a platform for projects at the intersection of art, science and public research, run by the University of Applied Arts Vienna. AIL is located at Otto Wagner-Platz 2/3 and is home of Cash Exchange. More info: www.ail.at

EXHIBITION
2–29 May 2024

Re-verse Imag- ining Vienna

Anthropogenic
Mass and Its
Speculative Futures
Angewandte Interdisciplinary Lab
Georg-Coch-Platz 2, 1010 Wien
ail.angewandte.at

Ausstellung im Angewandte Interdisciplinary Lab







DAS
GRÜNDERZEITHAUS
(7:24 min., o.T.)
Filmstills



DIE PRATERBRÜCKE
(6:13 min, o.T.)
Filmstills







Nikolaus Eckhard Flutpfeiler, 2024

Skulptur/Performance
Holz, Beton 184 × 215 × 90 cm

Performer*innen: Lisa Jäger, Leon Höllhumer,
Nikolaus Eckhard, Michael Holzmüller, Hannah
Heiermann, Sigrid Gerl, Christoph Freidhöfer

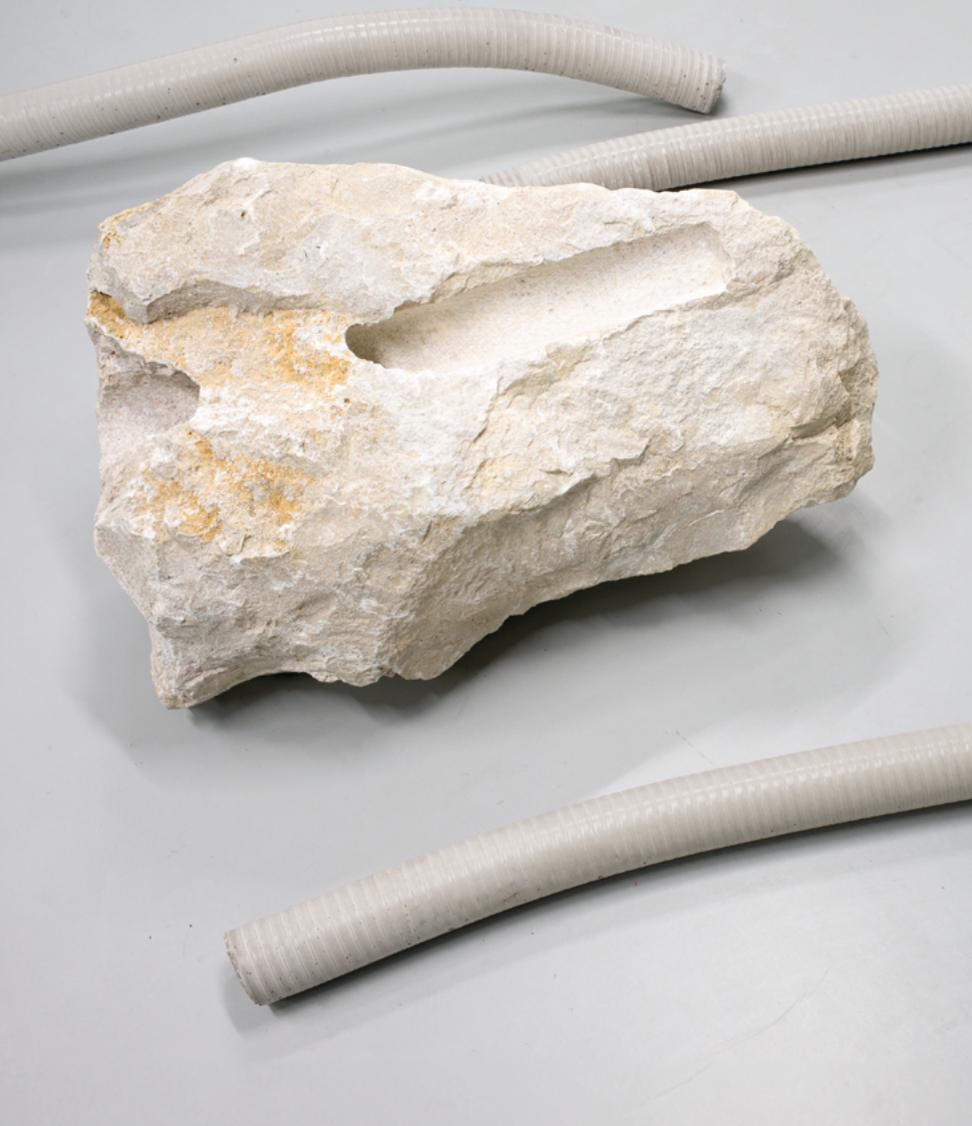
Die Arbeit rekonstruiert ein Element der Betonschalung, die 1968 für den Bau der Praterbrücke Verwendung fand. Die Pfeiler der Flutbrücke, die sich heute auf der Donauinsel und dem Entlastungserinne befinden, verweisen in ihrer Formensprache auf Schiffe, die quer zur Fahrtrichtung der Autos fahren und nach weiterer Expansion der wachsenden Stadt streben. Mittlerweile ist das Verkehrsaufkommen so erhöht, dass ein Autobahntunnel unter der Donau als vermeintliche Entlastung geplant wurde. Die Betreiber der Brücke gehen davon aus, dass ab Mitte der 2030er Jahre die Praterbrücke neu gebaut werden muss, um weiterhin als eine der am stärksten befahrenen Autobahnen Europas dienen zu können. Die Skulptur/Performance verknüpft die historische Baustelle der 1960er mit gegenwärtigen Protestkulturen und der Aussicht auf eine kommende Baustelle für eine neue Autobahnbrücke.

Bei der Performance am 8. Mai wurde die Baustelle im Kleinen in den Ausstellungsraum geholt. Beton wurde frisch gemischt und die Körper der Performer*innen intra-aktion mit den Schalungsbrettern und dem schnell aushärtenden Material gestellt. Ein Prozess zwischen halten und gehalten werden in dem die Körper Teil der Schalung werden; Mineralisches und Organisches berühren sich und formen einander. Schweißtropfen fließen, flüssiger Stein erhärtet, Körperteile müssen aus dem Stein geschlagen werden.









Christoph Weber
Voracious Flux, 2024

Mannersdorfer Kalksteinbrocken mit Extraktions-Bohrloch, Beton
Gesamtdimension etwa (H)64 × 650 × 200 cm

In *Voracious Flux* wird mit der Angleichung von Bohrllochdurchmesser und Betonwurmdicke zunächst ein formaler Zusammenhang zwischen Extraktion und Materialstrom hergestellt. Der üblicherweise für die Absaugung von Zement eingesetzte Polyurethanschlauch wurde zu überdimensionierten Würmern ausbetoniert, die als Fossilien der Technosphäre und als Relikte eines gefräßigen Materialflusses extraktivistischer Gesellschaften gelesen werden können. Kalkstein wird für die Zementherstellung im Umfang einiger tausend Tonnen täglich aus dem Leithagebirge gesprengt und unter Zugabe von Ton bei 1450 °C zu Zementklinker gebrannt und schließlich zu Zement vermahlen. Die Kalksteinextraktion stellt eine der größten Massenbewegungen der industriellen Verarbeitung dar, die Auswirkungen auf die Biodiversität sind gravierend und die CO₂ Emissionen der Zementindustrie betragen rund 7 % der globalen CO₂ Emissionen.



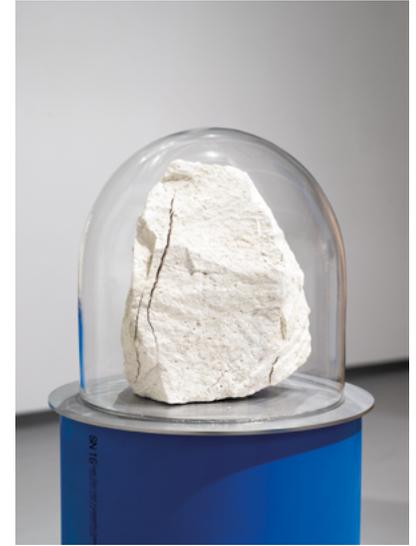
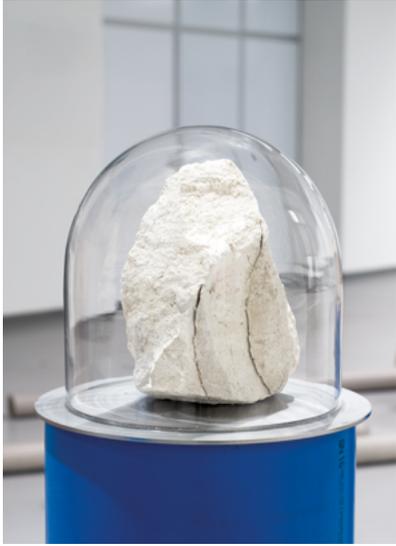




Christoph Weber Burnt Future Past, 2024

Kalksteinkarkasse (Gebrannter Kalkstein, Mannersdorf),
Glassturz, Edelstahl, PP-Regenwasserrohr
10.6 kg CaO & 6.4 kg CO₂ Emissionen, (H) 125 × 43 × 43 cm
16.3 kg CaO & 9.1 kg CO₂ Emissionen, (H) 130 × 43 × 43 cm
22.2 kg CaO & 13 kg CO₂ Emissionen, (H) 130 × 43 × 43 cm

Für die Serie *Burnt Future Past* wurden Kalksteinbrocken etwa 40 Stunden lang, bei 900 °C, entsprechend einer seit über 11500 Jahren bekannten Methode gebrannt. Gebrannter Kalk wird mit Wasser gelöscht und gemeinsam mit Sand zu Kalkmörtel gemischt und wurde laut heutigem Wissensstand als Vorläufer von Beton für die Herstellung harter Böden erstmals in Göbekli Tepe in der heutigen Türkei eingesetzt. Kalkstein, der sich in Mannersdorf am Leithagebirge vor 16–14 Mio. Jahren aus Kalkrotalgen und Muscheln gebildet hat, ist organischen Ursprungs und hat einen hohen Anteil an gebundenem CO₂, das beim Brennvorgang freigesetzt wird. Aus den Steinbrocken, auch Kalziumkarbonat (CaCO₃) genannt, entweichen bis zu 40% des Gewichts in Form von CO₂ Emissionen. Der Kalkstein behält zunächst seine Form, es entstehen jedoch tiefe Risse und die Farbe ist größtenteils entwichen. Diese Branntkalk-Karkasse (CaO) dürstet nach Wasser und zerfällt innerhalb weniger Tage in kleine Stückchen, wenn sie der Luft die Feuchtigkeit entziehen kann. Unter Luftabschluss bleibt die Form jedoch erhalten und der Branntkalk kann zu einem späteren Zeitpunkt gelöscht werden. Die Arbeiten thematisieren die Auswirkungen des (Ver-)Brennens fossiler Rohstoffe und die Schutzbedürftigkeit der Lithosphäre. Der Titel verweist auf die Tatsache, dass menschliche Gesellschaften durch die exzessive Verbrennung fossiler Rohstoffe die planetarische Vergangenheit – die Geo-Geschichte – künftiger Generationen verbrennt, in einer Verdrehung des Zeitpfeiles jedoch letztlich die Zukunft selbst vergeht.







Christoph Weber support, 2024

Solnhofener Kalksteinplatte aus dem allgemein zugänglichen Bodenbereich des Gründerzeithauses, Stahlstange (Bohrverlängerung für Extraktionssprengungsbohrungen im Mannersdorfer Kalksteinbruch), Gummikeil, Holzkeil
Gesamtdimension etwa (H) 374 × 210 × 40 cm

support verbindet den Beton der Brücke mit den Bodenplatten des Hauses – den Mannersdorfer Kalkstein der Zementherstellung mit dem Solnhofener Plattenkalk aus Süddeutschland. In Fiston Mwanza Mujilas Text über das Gründerzeithaus wird die Favoritenstraße im Jahr 2436 von sintflutartigen Regenfällen in mehrere Abschnitte zerrissen. „Nur die gepflasterten Gehwege (gestützt von langen Eisenstangen) sind noch da.“ Die Arbeit nimmt darauf Bezug und klemmt eine Bodenplatte aus dem Gründerzeithaus mit einer gebrauchten Stahlstange aus dem Steinbruch in Mannersdorf von unten gegen einen Unterzug und eine Wand im Ausstellungsraum. Die Stange ist eine Verlängerung für den Bohrer, mit dem 10 cm dicke und bis zu 20 m tiefe Löcher in den Kalksteinberg gebohrt werden, in die der Sprengstoff für die Extraktion eingebracht wird.

Die Geste des Pressens nimmt auch Bezug auf die andere typische Verwendungsweise des Solnhofener Plattenkalks – die Lithografie. Genauere Information zur Herkunft und Besonderheit des Solnhofener Kalkes finden sich im Kalksteindossier in den letzten Kapiteln des Buches.





Nikolaus Eckhard

Uruk, 2024

100 gravierte und glasierte Ziegelsteine zu je 24,5 × 6,5 × 11,5 cm;
Installationsgröße ca. 130 × 100 cm (im Laufe der Ausstellung verschwindend)

Die Menge an Wasser auf dem Planeten ist heute dieselbe wie schon immer. Aktuelle Extremwetterereignisse reduzieren zwar nicht die globale Wassermenge, erhöhen aber die Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser bewegt. Der derzeitige Verlauf der Donau um Wien folgt dem „Donaudurchstich“ der 1870er Jahre: eine gerade Linie, die vor Überschwemmungen schützt und Wasser schnell in Richtung Meer weiterleitet, anstatt es möglichst lang zu halten und dem Grundwasser zu überführen.

Noch am Ende des 19. Jahrhunderts bewegte die Donau bis zu einer halben Million Kubikmeter Geschiebe und 8 Mio. Tonnen Letten pro Jahr an der Stadt vorbei. Zeitgenössische Verbauungen und Kraftwerke haben den Millionen Jahre alten Geschiebefluss der Donau beendet. Als Konsequenz davon gräbt sich der Fluss immer tiefer und nimmt dabei den Grundwasserspiegel mit. Derzeit gibt es kaum Geschiebe abseits von jenem, das im Zuge des „Geschiebemanagements“ in der Schifffahrtsrinne ausgebaggert und flussaufwärts wieder in den Fluss geschüttet, oder von Extern zugeführt wird.

Uruk beschäftigt sich mit Zusammenhängen von anthropogenen und geologischen Masseströmen und der Frage, wie Informationen langfristig weitergegeben werden können. Zweiteres nimmt Anleihen bei Julia Grillmayrs Text, der Religion als Vermittler und Erhalter von vitaler Information beschreibt. *Uruk* verwendet Lehm als Informationsträger und mythologische Figuren als Bedeutungsträger. Dabei wird eine Zukunft imaginiert, in der die Renaturalisierung der Donau von größerer Bedeutung ist als der Bestand derzeitiger Ziegelbauten: aus Mauerziegeln werden Schalen als Gaben für die Donau angefertigt. Die Schalen im Fluss überspülen Uferverbauungen, sinken, werden zermahlen und lagern sich als Letten an einem anderen Ort wieder an. Die Längsseiten der Ziegel zeigen Rekonstruktionen von 4 Momenten des Donauverlaufs der letzten 500 Jahre. Auf der Unterseite ist eine Interpretation des Frauenfrosches – einer Figur, die im Donauroum seit mindestens 3300 Jahren bekannt ist und noch Ende des 19. Jahrhunderts Teil der Marienverehrung war. Auf der Oberseite steht die Eintagsfliege als Symbol von Biodiversität und Verbindung zu der ältesten bekannten schriftlichen Erzählung: dem Gilgameschepos. Eine Parabel auf Leben und Vergänglichkeit an deren Anfang und Ende eine Beschreibung der Stadt Uruk und der doppelt gebrannten Tonziegel seiner Mauern steht. Dazwischen die Vergänglichkeit der Eintagsfliege.

Im Laufe der Ausstellung wurden die 100 gravierten Ziegelsteine an Besucher*innen vergeben und die Installation löst sich auf. Im Rahmen der wöchentlichen Lesungen gab es die Möglichkeit, einen Ziegelstein mitzunehmen und im Gegenzug eine positive Assoziation hinsichtlich einer nahen oder fernen Zukunft zu hinterlassen.







Nikolaus Eckhard

Lost Ancient High Technology, 2024

PVC Rohr, Beton, Kupfer, Holz, gebrannter Ziegel
zwei Objekte zu je 30 × 150 × 30 cm

Die beiden Skulpturen re-interpretieren eine Maschine, die schon vor mindestens 5000 Jahren in Ägypten genutzt wurde, um in Stein zu bohren. Aktuell haben diverse pseudowissenschaftliche Theorien großen Anklang, die aus der handwerklichen Raffinesse und materiellen Feinheit alter ägyptischer Stein-gefäße schließen, dass sich diese nicht mit der damals vorhandenen Technologie hätten herstellen lassen. Als Erklärung wird eine Kultur imaginiert, die technisch auf einem ähnlichen Stand war wie heutige Industriegesellschaften, mitsamt Diamantsägen und elektrischem Strom.

Lost Ancient High Technology rekonstruiert die historischen Maschinen mit zeitgenössischen Materialien, die sich im Gründerzeithaus finden lassen. Es wurden Ziegelsteine zu Schalen gebohrt (bisher keine davon schwimmfähig).



Christoph Weber

Besetzt, 2024

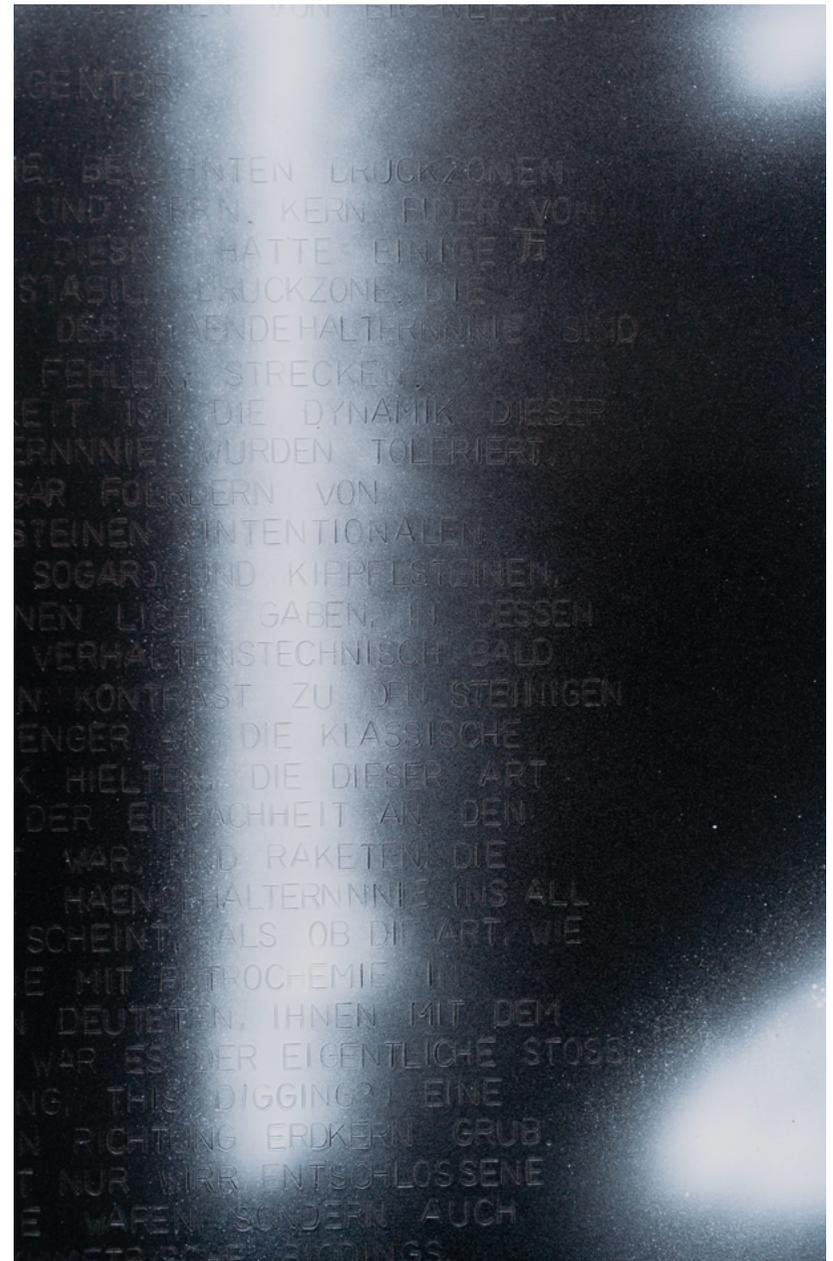
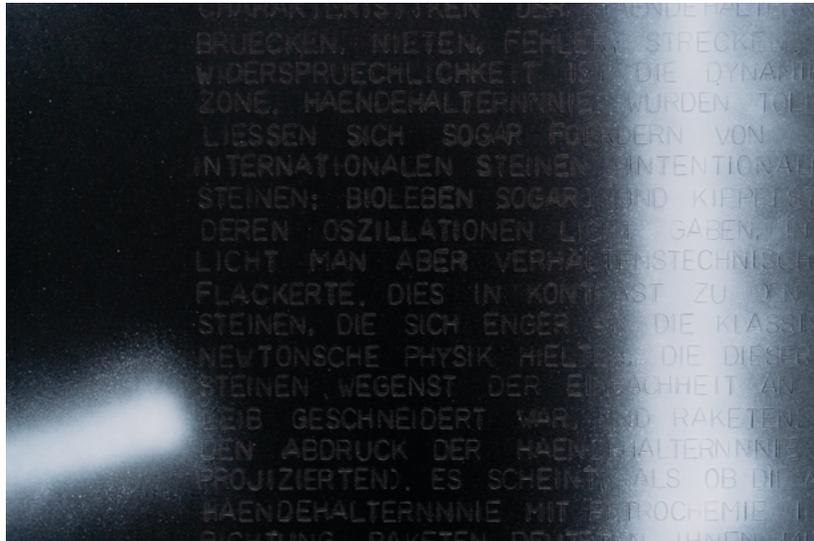
bezugnehmend auf Julia Grillmayr und Ann Cotten

Stahl, Sprühfarbe, eingeschlagener Text

Vier 15 mm starke Stahlplatten zu je 220 × 73 cm

Gesamtdimension etwa (H)220 × 352 × 17 cm

Auf vier überkopf-großen, an die Wand gelehnten Stahlplatten prangt der Schriftzug „BESETZT“ in weißer Sprühfarbe. Besetzungen gebauter Strukturen zeugen von divergierenden gesellschaftlichen Interessen, sind aber oft nur von kurzer Dauer in der sonst längeren Existenz der umkämpften Struktur. Inszenierte Abstände zwischen den vier Platten verweisen auf den bereits in das Material eingeschriebenen Zugriff der Verwertungsindustrie. Stahl kann im Gegensatz zu Beton recycelt werden. Eine nicht mehr für den KFZ-Verkehr gebrauchte Stahlbrücke anders zu verwenden, als sie wieder einzuschmelzen, ist in unserer Gesellschaft nicht vorgesehen. In Julia Grillmayrs Text „Alles, was hohl ist, wird früher oder später bewohnt“ wurden die meterhohen Hohlräume der stählernen Tragkonstruktion der ehemaligen Autobahnbrücke von einer Gruppe besetzt, die die Knickbrücke zu einer Pilgerstätte des Toxic Temple gemacht haben. Ihre Protagonist*innen sind Anthropozän-Natives, die mit fiktiven Archäologien der Zukunft groß geworden sind. Sie kommen folgendermaßen zu Wort: „Wir haben gelernt, dass wir die Vergangenheit genauso inszenieren können (und müssen) wie eine mögliche Zukunft.“ Die Arbeit *Besetzt* ist dementsprechend wie ein Bühnenbild aus einer gegenwärtigen Zukunft zwischen der Zeit von Grillmayrs Text im Jahr 2050, das bereits Vergangenheit wurde, und dem Jahr 12000 von Ann Cottens Textsegment, das sich mit Schlagbuchstaben in die ferne Zukunft hämmert. Das Gedicht „im park“ von Ernst Jandl, bei dem wieder und wieder nach einem freien Platz auf der Parkbank gefragt wird „bitte ist hier frei / nein hier ist besetzt / danke / [...] ist hier frei / nein besetzt / danke / [...] ist hier frei / bitte / danke“ referenziert einen anderen Aspekt des „Besetzens“. Wie in der Einleitung zu diesem Band besprochen, muss die Angst vor dem Verlust der Zukunft und die scheinbar immer aussichtsloser werdende Suche nach einem freien Platz in der Zukunft überwunden werden. Diesen freien Platz zu besetzen, beschreibt eine Möglichkeit der Bildenden Kunst und der Literatur, sich in einen Prozess der sozial-ökologischen Transformation einzuschreiben.







*Josepha Edbauer,
Peter Fichtinger,
Sebastian Hafner,
Tess Posch,
Christoph Weber,
Nikolaus Eckhard*
Anthropogene Materialien
im Spaceship Earth

Wir leben in einer erdgeschichtlichen Epoche, in der der Mensch zum entscheidenden geologischen Faktor der Gegenwart geworden ist. Im Laufe des Großteils der Menschheitsgeschichte war die globale Biomasse – das Gewicht aller Bäume, Pflanzen, Algen, Sträucher, Bakterien und Tiere (einschließlich der Menschen) – um Dimensionen größer als jene Masse, die vom Menschen hergestellt oder bewegt wurde. Das Jahr 2020 markierte diesbezüglich einen Wendepunkt. Mit 1,1 Billionen Tonnen war die Summe der vom Menschen geschaffenen anthropogenen Masse größer als die globale Biomasse aller lebenden Materie. Die Technosphäre übersteigt die Biosphäre. Es sind Materialien für Gebäude und Infrastrukturen wie Beton, Ziegel oder Asphalt, die diese Entwicklung vorantreiben (ELHACHAM ET AL., 2020).

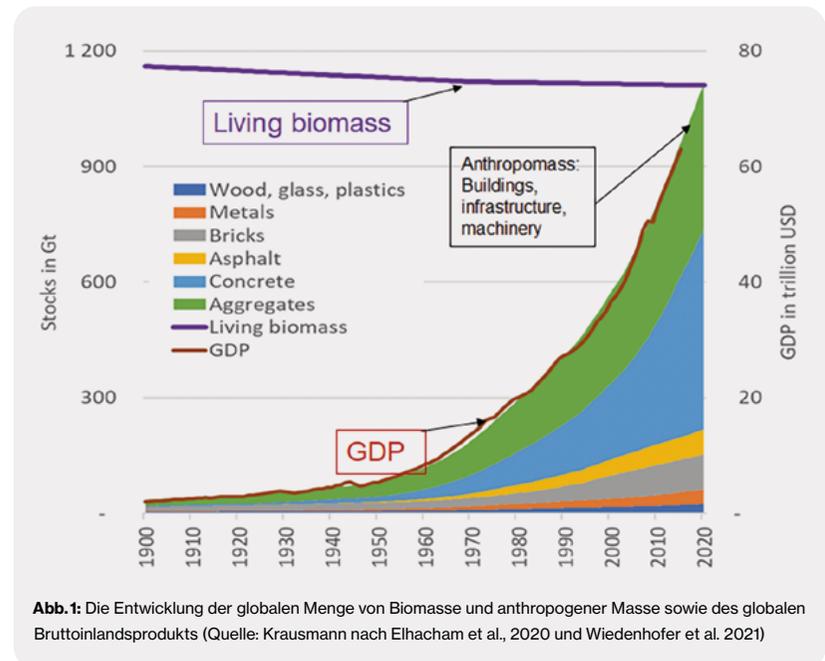


Abb. 1: Die Entwicklung der globalen Menge von Biomasse und anthropogener Masse sowie des globalen Bruttoinlandsprodukts (Quelle: Krausmann nach Elhacham et al., 2020 und Wiedenhofer et al. 2021)

Die Abnahme der Gesamtheit der lebenden Biomasse und die exponentielle Zunahme der anthropogenen Masse auf der Erde steht dabei in Zusammenhang mit dem globalen Bruttoinlandsprodukt (GDP), dem nach wie vor primären Wohlstandsindikator. Es ist parallel mit dem Anwachsen an Gebäuden und Infrastrukturen gestiegen. (Abb. 1)

Unsere Wirtschaftsweise und unser Wohlstand sind an die Entnahme von Rohstoffen, den Verbrauch von Materialien sowie an stetiges Wachstum gekoppelt. Die damit verbundenen sozial-ökologischen Problemstellungen können angesichts der gegenwärtigen Klimakrise nicht länger ignoriert werden. Wieviel Ressourcen braucht es, um ein gutes Leben für alle zu ermöglichen?

Weltraumperspektive

Die Metapher des *Spaceship Earth* – ein abgeschlossenes System, in das Material und Energie als Input hineinfließen, dort umgesetzt oder abgelagert werden und es als Output, etwa Abfallströme, wieder verlassen – geht auf den Architekten R. Buckminster-Fuller zurück und ist Ausgangspunkt einer Forschungsarbeit des Instituts für Soziale Ökologie Wien. Hier wurden Stoffströme der globalen Wirtschaft von 1900 bis 2015 untersucht (HAAS ET AL., 2020). Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl Input- als auch Output-Ströme des „Raumschiffs Erde“ im untersuchten Zeitraum stark gewachsen sind: Während im Jahr 1900 der Massenstrom-Input der globalen Wirtschaft 7,6 Gigatonnen pro Jahr (Gt/a) ausmachte, stieg er 2015 auf 95 Gt/a um das 12-Fache an. Auch der Material-Output, also jene Mengen, die das Raumschiff als Abfälle und Emissionen wieder verlassen, stieg im gleichen Zeitraum um das 9-Fache. Wie in folgender Darstellung erkennbar ist, hat sich auch die Zusammensetzung der Stoffströme gravierend verändert.

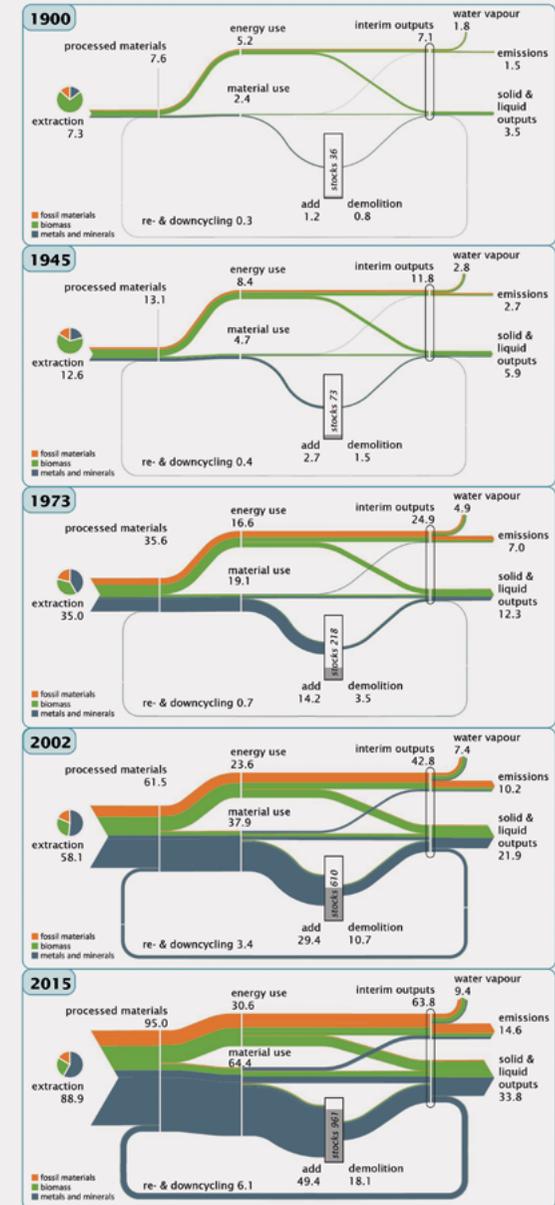


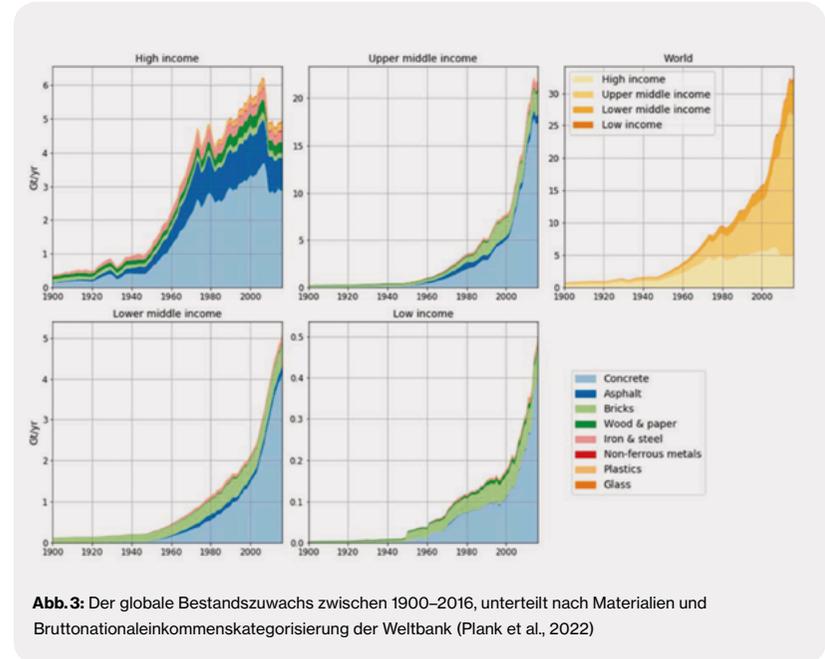
Abb. 2: Globale sozial-metabolische Flüsse von Fossilen Energieträgern, Metallen und Mineralien sowie von Biomasse (Quelle: Haas et al., 2020)

Während Biomasse im Jahre 1900 noch die dominante Ressource war, prägten 2015 aufgrund der gestiegenen Bautätigkeit vor allem Metalle, Mineralien und fossile Energieträger die globalen Stoffströme. Nicht nur der enorme Rohstoffkonsum verdeutlicht sich, sondern auch der Umstand, dass sich Materialien immer mehr in Beständen ablagern. Gerade Metalle und Mineralien sind beim Aufbau von Gebäuden und Infrastrukturen mittel- bis langfristig an diese gebunden. Diese enormen urbanen Lager wurden vor allem in der Phase der *Great Acceleration* nach 1945 in Europa und den USA aufgebaut. Nach einer Phase der Stabilisierung auf hohem Niveau ist das neuerliche Anwachsen der Stoffströme auf das Wachstum in aufstrebenden Ökonomien wie China und Indien zurückzuführen, wenngleich das Anwachsen des Ressourcenbedarfs pro Kopf immer noch von den Industrieländern dominiert wird (HAAS ET AL., 2020).

Der Wechsel von einer Biomasse-basierten Materialumsatz-Ökonomie zu einer Material-Bestands-Ökonomie ist untrennbar mit der verstärkten Nutzung von fossilen Materialien als Energieträger verbunden. Diese haben im letzten Jahrhundert ebenfalls stark an Bedeutung gewonnen und tragen auch zur Abnahme der globalen Zirkularitätsrate bei: Die Verbrennung von Materialien schließt in der Regel ihre Kreislaufführung aus (HAAS ET AL., 2020).

Globale Ressourcenzuwächse

Der Trend des ungebremsen Rohstoffkonsums ist ungebrochen, eine Entwicklung, die in erster Linie von der Bauwirtschaft geprägt ist. Die Bedeutung von Baumaterialien, wie Beton oder Asphalt, hat seit Mitte der 1940er-Jahre in allen Regionen der Welt massiv zugenommen. Unterteilt man Ländergruppen nach Wirtschaftsleistung, lassen sich jedoch Unterschiede feststellen:

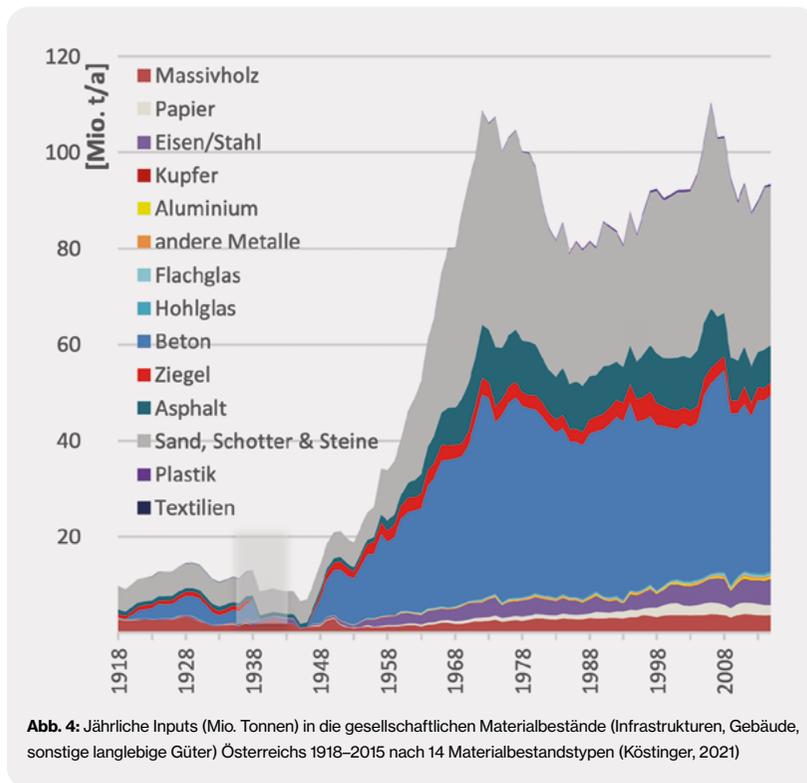


Einerseits in Bezug auf den Zeitpunkt, zu dem sich die Material-Inputs vervielfachten (PLANK ET AL., 2022); andererseits eröffnet ein genauer Blick auf die Skalierung der obigen Grafik (Abb. 3) massive Abweichungen in den absoluten Mengen der Material-Inputs, da diese in reichen Industrieländern (High income group) ungleich höher sind als in Ländern des Globalen Südens (Low income group).

Zudem variiert auch die Bedeutung einzelner Materialgruppen. Beton nahm im Lauf der Zeit überall den Platz von Holz und Ziegel als dominante Bauressource ein. Im Gegensatz zu reichen Ländern nehmen Ziegel in einkommensschwachen Ländern noch immer eine bedeutendere Rolle ein. Asphalt und Metalle finden vornehmlich in reichen Staaten Verwendung (PLANK ET AL., 2022).

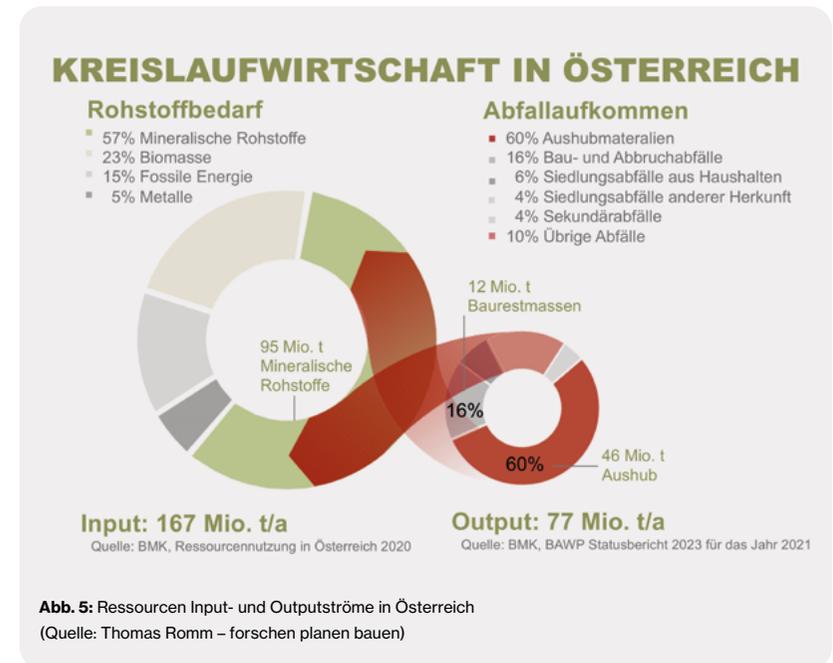
Die Materialgrundlage Österreichs

Auch in Österreich zeigt sich ein ähnliches Bild in Bezug auf die Materialzusammensetzung der Bestände. Die untenstehende Grafik (Abb. 4) veranschaulicht die Mengen an Baumaterialien, die jährlich in Österreichs gebaute Umwelt fließen. Seit dem Bauboom der Wirtschaftswunderzeit haben sich die Material-Inputs auf hohem Niveau stabilisiert. Bis in die 1940er-Jahre blieben Ziegel und Holz dominante Bauressource. Seither ist eine Vervielfachung der gebauten Masse zu beobachten, bei der sich Beton als primäres Baumaterial abzeichnet. (KLEEMANN ET AL., 2017; KÖSTINGER, 2021; PLANK ET AL., 2022).



Die Grenzen der Kreislaufwirtschaft

Die massive Akkumulation von Materialien in Gebäuden und Infrastruktur führt zur Entstehung von riesigen urbanen Minen: Menschengemachte Lagerstätten für Sekundärrohstoffe, deren Wiedernutzung das Ziel der Kreislaufwirtschaft darstellt und im Sinne der Ressourcenschonung ist. Doch die urbanen Lager wachsen rasant und kontinuierlich. Eine Entwicklung, die mit Kreislaufwirtschaft inkompatibel ist, wie ein Blick auf Ressourcenbedarf und Abfallströme in Österreich zeigt. Hierzulande belaufen sich die nationalen Abfallströme, also die potenziellen Sekundärrohstoffe, auf 60 Mio. Tonnen und machen damit nicht einmal ein Drittel des Gesamtbedarfs von 200 Mio. Tonnen an Ressourcen pro Jahr aus. Führt man sich diesen Umstand grafisch vor Augen (Abb. 5), wird es



umso deutlicher, dass selbst eine hypothetisch vollständige Verwertung aller Output-Ströme und Abfälle unseren gewaltigen Ressourcen hunger nicht stillen könnte.

In Österreich werden derzeit rund 12 % aller Materialien zirkulär bewirtschaftet, was in etwa den EU-Durchschnitt darstellt. In den Niederlanden wird der Spitzenwert von über 30 % erreicht (BMK, 2021). Einer vollständigen Verwertung aller Ressourcen-Outputströme wird von den Gesetzen der Thermodynamik Grenzen gesetzt: Kreislaufwirtschaft ist ein energieintensiver Prozess, der mit dem mühevollen Sammeln, Trennen und Wiederaufbereiten von Sekundärrohstoffen verbunden ist – man denke in Bezug auf die Bauwirtschaft an Verbundmaterialien wie Stahlbeton oder Gipskartonplatte mit Metallverstärkung. Höhere Recyclingquoten können daher oft einen erhöhten Energiebedarf bedeuten. Dabei gilt: Kein Prozess kann Materialien vollständig in ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzen, da immer ein Teil der Energie und Materialien unwiederbringlich verloren geht. Eine hundertprozentige Kreislaufwirtschaft ist nur in der Theorie möglich (HAAS ET. AL., 2020).

Viel wichtiger wäre es, das Anwachsen des urbanen Lagers zu verlangsamen, um Input- und Output-Ströme in ein Gleichgewicht zu bringen (HAAS ET. AL., 2020). In der Debatte um Kreislaufwirtschaft konzentrieren sich die Bemühungen verstärkt auf Re-Use und Recycling von Stoffströmen, zweifellos wichtige Strategien, doch dieses Verständnis von Kreislaufwirtschaft ist zu eng gefasst. Anstatt Materialien immer schneller im Kreis zu führen, braucht es einen Fokus auf die Langlebigkeit von Produkten und Beständen.

Parlauf von Wissenschaft und Kunst

In den folgenden Dossiers wurde versucht herauszufinden, wie sich diese globalen Trends im Hinblick auf konkrete

Bauobjekte und darin verbaute Materialien abbilden. Die mit dem gesellschaftlichen Wandel von einem agrarischen zu einem industriellen Stoffwechsel verbundenen Fragestellungen wurden kulturhistorisch und sozial-ökologisch beleuchtet. Der kritische, faktenbasierte Blick in die Vergangenheit als Grundlage für das Entwerfen von spekulativen Zukünften im Anthropozän – abstrakt, dystopisch, utopisch und poetisch.

ZIEGEL

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Ziegel ist tonhaltiger Lehm, ein in allen Teilen der Welt vorkommendes, feinkörniges Material. Lehm entsteht aus verwittertem Gestein und befindet sich unterhalb der Humusschicht. Neben variierenden Mengen von Feldspat, Quarz und Eisenoxiden stellen Tonminerale wie Illit oder Kaolin die Hauptbestandteile in der Zusammensetzung der Bodenart dar (CALCINS, 2009). Der prozentuale Anteil an Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) beeinflusst die Plastizität des Tons. Tone mit hohem Kaolingehalt werden als fettige Tone bezeichnet. Sie weisen eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit auf, wodurch sie leichter

zu verarbeiten sind (KORONEOS & DOMPROS, 2007).

Für die Herstellung von Ziegel wird tonhaltiger Lehm mit 10–15 Gewichtsprozent Wasser vermennt, in eine entsprechende Form gebracht, getrocknet und anschließend in einem Ofen bei Temperaturen von bis zu 1100 °C gebrannt. Eine österreichische Anlage auf neuestem Stand der Technik verbraucht bis zu 0,1 m³ Wasser pro Tonne Ziegel (FALLMANN & WEISS, 2018).

Durch die hohen Temperaturen und die Dehydrierung verglasen die Tonminerale und verbinden die verschiedenen Elemente des Ziegels zu einem widerstandsfähigen Material (HIERLI & MATTHEL, 2008).



Abb. 6: Filmstill aus „Zum Vergleich“ ©Harun Farocki GbR

HISTORISCHES

Der Ziegel, der weltweit verbreitet ist, zählt zu den ältesten von Menschenhand hergestellten Produkten. Das steinarme Mesopotamien mit hohen Tonvorkommen hatte eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der Ziegeltechnologie. Dort wurden schon in der Frühzeit luftgetrocknete Lehmziegel (Adobes) verwendet, bevor später gebrannte Ziegel zum Einsatz kamen (BIRKET-SMITH, 1963). Frühe kulturhistorische Theorien gingen davon aus, dass die Technik von dort aus globale Verbreitung fand. Heute weiß man, dass der Fortschritt sich nicht nur auf diese Region beschränkte, sondern parallel auch in anderen frühen Zivilisationen angewendet und weiterentwickelt wurde, denn ähnliche Entwicklungen lassen sich auch auf dem afrikanischen Kontinent, in Mittelamerika oder in Nordamerika nachvollziehen. In Europa brachten die Römer Ziegelbauten in den Umlauf, indem sie Ziegel an ihren zahlreichen Militärstationen produzierten. Diese Tradition wurde von germanischen und slawischen Völkern übernommen und verbreitete sich besonders durch die Gründung von Klöstern und Städten in Mitteleuropa. Die ältesten luftgetrockneten Lehmziegel fand man in Catalhöyük, einer Siedlung, die zwischen 9100 und 8050 Jahren vor der heutigen Zeit in Anatolien existierte (ZDZIEBLOWSKI, 2022). Die frühesten Funde von gebrannten Ziegeln im Indus (lt. aktuellem Forschungsstand) lassen sich auf etwa vor 4200 Jahren datieren (IGLAUER, 1974).

→ *Herstellung im 19. Jahrhundert*
Die Auswahl geeigneter Materialien für die Ziegelproduktion beruhte noch im

19. Jahrhundert auf dem sinnlichen Erfahrungswissen: Erfahrene Ziegler*innen erkannten den geeigneten Ton durch Berührung und Geschmack sowie durch die Farbe des Lehms (NEUMANN / SCHALLER 1874). Pflanzenarten wie der Bauernsenf, Huflattich, Gänserich, Tausendgüldenkraut und insbesondere das sogar so genannte „Lehmveilchen“ weisen als Bioindikatoren auf etwaige Tonbestände im Boden hin. Ihre Blütezeit markiert den Frühlingsbeginn und den Start der Ziegelschlag-Saison (IGLAUER, 1974).

Das Ziegelschlagen galt als Familienarbeit. Die Ziegel wurden an einem massiven Tisch, dem Schlagtisch, produziert. Die Formen dafür, die sogenannten Mödeln, bestanden aus Holz (später im 19. Jahrhundert auch aus Eisen) und wurden gleichzeitig verwendet, um das Ziegelzeichen des jeweiligen Werkes direkt in den Ziegel zu prägen. Gestrichene Ziegel mussten anschließend aufgestellt werden, um von allen Seiten zu trocknen, das sog. Aufreiben war ein zeitintensiver Prozess, der stark von Umwelteinflüssen abhängig war. Nach dem Trocknen wurden die Ziegel in Ringöfen gebrannt. Eine Person konnte an einem Tag etwa 1000 Ziegel herstellen. Die Qualität der Ziegel wurde von den jeweiligen Baumeistern überprüft, wobei für besondere Bauten und Fassaden nur die besten Ziegelschlagenden qualifiziert genug waren, um den Qualitätsstandard zu gewährleisten. Besonders die Herstellung von Dachziegeln erforderte viel Geschick, da die Oberfläche glatt genug sein musste, um wasserfest zu sein – aber gleichzeitig leicht genug für die Dachkonstruktion und schwer genug, um nicht auf Wind und Stürme zu reagieren.

Das Brennen der Ziegel fand ursprünglich in Feldöfen nahe der Baustelle statt. In Österreich setzte sich ab 1865 der von Heinrich Drasche eingeführte Ringofen durch, der die Effizienz der Ziegelproduktion deutlich steigerte (IGLAUER, 1974).

Die kaum mechanisierte Ziegelproduktion bedeutete für Arbeiter*innen körperliche Schwerstarbeit. Durch die städtebauliche Modernisierung Wiens stieg die Nachfrage nach dem Baustoff Ziegel ins schier Unermessliche (WOHN-SERVICE WIEN GES.M.B.H, 2014). Ein Großteil der Ziegelarbeiter*innen stammte aus Böhmen und Südmähren. Sie kamen als Wander- und Saisonarbeiter*innen nach Wien. Mangelnde sanitäre und hygienische Bedingungen bei der Unterbringung sowie Mangelernährung zeichneten die Situation der Arbeiter*innen aus, die mit gesundheitlichen Risiken konfrontiert waren. Berufsbedingte Krankheiten wie Rheumatismus, Gicht und Gelenkentzündungen (hervorgerufen durch das Lehtreten im kalten Wasser) waren weit verbreitet (WOHNSERVICE WIEN GES.M.B.H, 2014). Ruhr, Cholera, Blattern und Typhus sorgten für hohe Sterberaten unter den Ziegelarbeiter*innen. Auch die Kindersterblichkeit lag weit über dem damaligen Durchschnitt. Die Koppelung von Wohn- und Arbeitsplatz ermöglichten der Unternehmensleitung die Kontrolle und Disziplinierung ihrer Arbeiter*innen. Lohn wurde nicht in Form von Geld, sondern in Form von Blechmarken ausgezahlt, die nur in den werkseigenen Kantinen und Gasthäusern gegen Lebensmittel und Naturalien, meist mangelnder Qualität, eingetauscht werden konnten (WOHNSERVICE WIEN, 2014). Die Geschichte der Ziegelherstellung in Wien und damit auch

die Geschichte des modernen Wiens, steht in der Gründerzeit in Verbindung mit Ausbeutung und Unterdrückung. Eine Geschichte, die sich bis in die Zeit unter der nationalsozialistischen Herrschaft fort schreibt: Im Werk der Wienerberger Ziegelfabrik befand sich ein Lager für italienische und jugoslawische Zwangsarbeiter*innen (BUNDESDENKMALAMT, 2022).

→ *Regionalgeschichte*

Im Wiener Raum konnten das Tethysmeer, das Tertiäre Meer und insbesondere das Pannonische Meer Lehmschichten in den Böden bilden. Die Meere wurden durch Flüsse mit Süßwasser gespeist und mit Schotter und Letten angereichert. Durch Erosion und Druck bildeten sich über die Zeit Schichten aus Ton und Kalk. Der sog. Congerien-Tegel bildet den Untergrund des heutigen Wiens (IGLAUER, 1974). Römische Einflüsse brachten die Technik des Ziegelbrennens nach Mitteleuropa, bevor sie nach dem Zerfall des Römischen Reiches im 6. Jhd. in Vergessenheit geriet und erst in der Gotik erneut auflebte (BILEK-CZERNY, 2008). Die ersten Quellen von Wiener Ziegeleien stammen aus dem Jahr 1276. Der Verkauf wurde zunächst über eine Stätte am Hohen Markt geregelt, bis 1686 eine gesetzliche Preisregulierung eingeführt wurde. Ziegelbrennereien waren bis 1757 um die Stadt und deren Vororte verstreut, bis durch einen kaiserlichen Befehl das Stadtbild bereinigt werden musste. Die Ziegelproduktion geht Hand in Hand mit der Verdrängung der Wälder rund um den Wiener- und Laaerberg. Ab 1764 wurde deswegen versucht, Steinkohle als alternativen Brennstoff zu verwenden, verpflichtend

wurde diese Regelung jedoch erst ab 1800. Ab 1820 begann Alois Miesbach auf dem Wiener Gebiet kleine Ziegelfabriken zu erwerben, um sie unter seiner Leitung zusammenzuführen. Diese Fusion wurde 1869 zur Wienerberger Ziegelfabriks- und Baugesellschaft transformiert, die im Laufe des 19. Jahrhunderts zur größten Ziegelfabrik der Welt heranwuchs und immer noch die Basis der heutigen Großindustrie bildet (IGLAUER, 1974).

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

→ *Die Ziegelindustrie und ihre Auswirkungen auf lokale Ökosysteme*

Bis in die 1940er-Jahre blieben Ziegel neben Holz die Hauptbestandteile der Wiener Gebäude. Seither wird der Ziegel durch Beton als primäres Baumaterial abgelöst (KLEEMANN; LEDERER ET AL., 2017). Die Ziegelindustrie am Wienerberg und Laaer Berg veränderte Landschaft und Ökosysteme. Aufgrund der geologischen Bedingungen gab es auf den steppenartig bewachsenen Hügeln des Wienerberges wenig Grundwasser und keine Oberflächengewässer. Daher blieb diese Gegend bis Ende des 19. Jahrhunderts weitgehend unbesiedelt. Das Gebiet wurde hauptsächlich als Weideland genutzt. Danach folgte der Ziegelboom, der merkbare Spuren in der Landschaft hinterließ (HOHENSINNER & HAUER, 2019).

Noch heute stellen Auswirkungen auf Habitate und lokale Ökosysteme beim Lehmabbau zentrale Umweltfolgen in der Ziegelproduktion dar. Lebensräume in der Umgebung von Abbaugebieten sind häufig von Bodenerosion betroffen, was wiederum Auswirkungen auf die Biodiversität hat. Staub und Feinpartikel gelangen

in die Luft und stellen eine Belastung für umliegende Ökosysteme, wie etwa Gewässer, und nicht zuletzt auch ein Risiko für Arbeiter*innen dar. Feinpartikel, auch wenn sie nicht toxisch sind, gelangen leicht in die Lunge und bringen Spätfolgen und Krankheiten mit sich (CALCINS, 2009).

In Österreich, speziell in Nieder- und Oberösterreich, überschneiden sich zudem jene Flächen, auf denen fruchtbarer Boden zu finden ist, mit jenen Regionen, in denen Lehm abgebaut wird. Die für eine wirtschaftliche Verwertung in Frage kommenden großen Tonlagerstätten liegen in der Molassezone des Alpenvorlandes sowie im Wiener Becken (Weber, 2012). Die Problematik ist jedoch nicht so eklatant wie in Ländern des Globalen Südens wie etwa in Indien. Hier verstärkt die Extraktion von Lehm für die Ziegelproduktion Erosionsprozesse (HIERLI UND MAITHEL, 2008). Das durchschnittliche Einkommen indischer Landwirt*innen ist so gering, dass Sie zur Überbrückung der Trocken-saison auf die kurzfristigen Profite aus dem Verkauf des (Lehm-)Bodens angewiesen sind (NOLL, 2015). Gleichzeitig gehen die Erträge durch die Bodendegradation um bis 62% bei Reis und 67% bei Kartoffeln zurück (NATH ET AL. 2018). Bedenkt man, dass Indiens agrarische Flächen pro Kopf aufgrund von Bevölkerungswachstum und Klimawandel weiter sinkt und die Ziegelproduktion den Ernteertrag sowie die Qualität des fruchtbaren Bodens stark beeinträchtigt, wird das Risiko für die sozio-ökonomischen Auswirkungen von Landnutzungskonflikten im Zusammenhang mit der Ziegelproduktion deutlich (NATH ET AL., 2018).

Weitere Umweltauswirkungen ergeben sich aus dem Transport von



Abb. 7: Filmstills aus: Vergleich über ein Drittes ©Harun Farocki GbR

Rohstoffen und Ziegelsteinen, da dafür große Mengen an Diesel benötigt werden. Für das Jahr 2008 wurden die damit verbundenen CO₂-Emissionen auf 180 Mio. Tonnen geschätzt, was etwa einem Drittel der CO₂-Emissionen der weltweiten Luftfahrtindustrie zu diesem Zeitpunkt entspricht (HIERLI & MAITHEL, 2008).

→ Die zentrale Rolle von Energie in der Ziegelproduktion

Die Baukonjunktur in der Gründerzeit in Wien war Auslöser für einen gestiegenen Brennholzbedarf, der zum Teil durch Bestände in den Donau-Auen, vorrangig aber durch den Wienerwald gedeckt wurde.

Bereits ab 1765 wurden finanzielle Anreize zur Förderung von Kohle sowohl in Ziegeleien und in der Eisenverarbeitung gesetzt. Durch diesen Wechsel des Hauptenergieträgers verringerte sich auch der Nutzungsdruck auf die umliegenden Wälder. Um 1840 wurden noch 90% der Energie für den Betrieb technischer Anlagen aus Holz(-kohle) gedeckt. In den 1880ern waren es kaum mehr als 20%. Das Holzzeitalter ging zu Ende und die Energiewende in Richtung der fossilen Epoche war

eingeläutet (JOHANN & PSARAKIS, 2005).

Der Brennprozess und die dabei eingesetzten fossilen Energieträger sind bis heute ein Knackpunkt in der Herstellung von Ziegeln. Auch wenn moderne Anlagen größtenteils anstelle von Kohle mit Gas befeuert werden, so ist die Graue Energie (*Embodied Energy*), also der gesamte Energieeinsatz von Vorprodukten, Rohstoffgewinnung bis hin zu den Produktionsprozessen, bei Ziegel um mehr als das Doppelte größer als bei Betonmauerwerk (CALCINS, 2009). Eine energie- und ressourceneffiziente Maßnahme wäre die Verwendung von Hohlziegeln. Diese weisen einen geringeren Energieverbrauch beim Brennvorgang auf, einen geringeren Materialverbrauch und eine verbesserte Isolierung, was wiederum zu geringerem Kühl- und Heizenergiebedarf führt. (HIERLI & MAITHEL, 2008).

In einigen Ländern des Globalen Südens ist Mineralkohle heute noch Primärenergieträger für die Ziegelherstellung. Umweltauswirkungen sowie Energieintensität sind dabei auch höher (NOLL, 2015). Andererseits sind die Prozesse der Ziegelherstellung in diesen

Ländern deutlich weniger industrialisiert als in Ländern des Globalen Nordens.

→ Ziegelproduktion und Kreislauffähigkeit und End-of-Life

Ziegelsteine können grundsätzlich mehrmals wiederverwendet werden. Voraussetzung ist eine sortenreine Trennung, die beim Einsatz von Mörtel erschwert wird. Kalkmörtel, der vor Mitte des 20. Jahrhunderts eingesetzt wurde, ist leichter vom Ziegel zu trennen (CALCINS, 2009). Ziegelbruch aus dem Hochbau kann zerkleinert und zu Ziegelsplitt verarbeitet werden. Dieser wird als Zuschlagstoff für die Produktion von Mauerwerksteinen, Beton und Leichtbeton, aber auch für Füllungen, Schüttungen und Estrich eingesetzt. Ziegelfractionen, die kaum oder nicht mit Beton und Mörtel vermischt sind, können als hochwertiger Ziegelsplitt für Drainageschichten sowie im Garten- und Landschaftsbau bspw. für Dachbegrünungen eingesetzt werden. Die gute Wasserspeicherfähigkeit ist eine vorteilhafte Eigenschaft als Zuschlagstoff bei der Herstellung von Pflanzsubstraten (BAUSTROFF RECYCLING VERBAND, 2022).

Auch wenn Ziegel als Baustoff eine hohe Graue Energie aufweist, so liegen seine Vorteile in der Langlebigkeit. Ziegel können in unterschiedlichen Strukturen immer wieder verwendet werden. Außerdem steht der hohen Grauen Energie in der Herstellung ein relativ geringer Energieaufwand beim Aufbau von Ziegelkonstruktionen gegenüber. Verglichen mit Betonkonstruktionen ist die Aufbringung von Ziegel ein zu einem geringeren Grad industriell gebundener Prozess (CALCINS, 2009). Ein Umstand, der in der Ära des Roten Wiens dazu führte, dass sich

Siedlungsgenossenschaften in Selbstorganisation und Eigenleistung Wohnraum und Baustoffe (be-)schaffen konnten.

Mit einem Global Warming Potential von 523,0 kg CO₂ eq/m³ trägt einfach gebrannter Ziegel zur mittleren Erwärmungswirkung der Erdatmosphäre bei. Die Wiederverwendung von Ziegel weist mit 13,7 kg CO₂ eq/m³ ein deutlich geringeres Global Warming Potential auf. Auch ungebrannte Lehmziegel und Rammed Earth bilanzieren mit 91,8 kg CO₂ eq/m³ bzw. 9,6 kg CO₂ eq/m³ deutlich besser (CINARK – CENTRE FOR INDUSTRIALISED ARCHITECTURE, The Royal Danish Academy, 2024).

HOLZ

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Holz bezeichnet das harte, tragfähige Gewebe der Sprossachsen (Stamm, Äste und Zweige) von Bäumen und Sträuchern. Es besteht zu ca. 50 % aus Kohlenstoff, 40 % Sauerstoff und 6 % Wasserstoff sowie kleinere Anteile Stickstoff. Des Weiteren können Farbstoffe, Öle, Gerbstoffe und Harze, die den Geruch und die Widerstandsfähigkeit beeinflussen, bis zu 10 % der Inhaltsstoffe ausmachen (VOLZ, 2013). Auf molekularer Ebene besteht es zu 40–50 % aus Cellulose, 20–30 % aus Hemicellulose und 20–30 % aus Lignin.

Lignin ist ein sehr komplexes und variables Biopolymer. Lignifizierung bezeichnet die Verholzung der Pflanzenzellwand: Lignin füllt den Raum zwischen den Zellulosefasern aus, stärkt die Zellwand, macht sie wasserundurchlässig und auch für Mikroorganismen schwer abbaubar. Die Anteile des Lignins und der Hemicellulose sind bei Nadel- und Laubhölzern unterschiedlich (VOLZ, 2013).

HISTORISCHES

Der Wald als Lebensgrundlage und Holz als bevorzugtes Material und Energie-lieferant sind seit jeher eng mit dem menschlichen Dasein verbunden. Eines der ältesten Zeugnisse der menschlichen Holzverarbeitung stammt aus Sambia und belegt die frühzeitliche Nutzung von Holz als Werkstoff (DÖNGES, 2023).

In Zentraleuropa galten Bäume bei den Kelten und Germanen als heilig und wurden als Wohnstätten der Götter verehrt. Bis weit ins 19. Jahrhundert betrachtete man Bäume in Bräuchen als lebendige Wesen, denen man mit Respekt begegnete, etwa durch Entschuldigungen vor dem Fällen. Zahlreiche Naturdenkmäler reihen sich bis heute in diese Traditionen: Bäume prägen Landschaftsbilder und tragen persönliche Wertvorstellungen und kulturelles Erbe in sich. In überlieferten Sagen und Märchen symbolisiert der Wald den Übergang in das Unbewusste (HÖRMANN, 1991).

Ein Baum ist eine mehrjährige Pflanze mit verholztem Stamm und einer Krone, die sich ständig verändert und wächst. Erst wenn man einen Baum fällt, entsteht das Material Holz, das sich über Jahrhunderte als vielseitiger Werkstoff bewährt hat. Es ist leicht zu verarbeiten und wurde vor allem in alpinen Regionen als Baustoff bevorzugt. Im Hochmittelalter spielte Holz eine zentrale Rolle im Bau von Kirchen und Befestigungen, bis diese Strukturen vorwiegend aus Stein errichtet wurden. Die Existenz von offiziellen Verordnungen zur Holznutzung reicht bis ins 13. Jahrhundert zurück. Regeln und Auflagen wurden immer wieder an regionale Gegebenheiten und das zeitgenössische Wissensniveau angepasst, um den jeweiligen Bedingungen gerecht zu werden, während zusätzliche mündliche Überlieferungen eine wichtige Informationsquelle darstellten. Tatsächlich

gibt es transkulturell einen Konsens, dass Holz, das von September bis Januar gefällt wird, besonders hart und haltbar ist. Bereits in altgriechischen und römischen Quellen finden sich Empfehlungen, wie und wann sich der optimale Zeitpunkt des Baumschneidens gestaltet – vor allem orientierte man sich am Mond und der Jahreszeit:

*„Fällst du dein Holz bei Neumonds-nacht, bleibt es fest und voller Kraft.“
(überlieferte Bauernregel)*

Dennoch ist eine beträchtliche Menge an Aberglauben in diesen Überlieferungen erhalten (HÖRMANN, 1991).

→ Herstellung

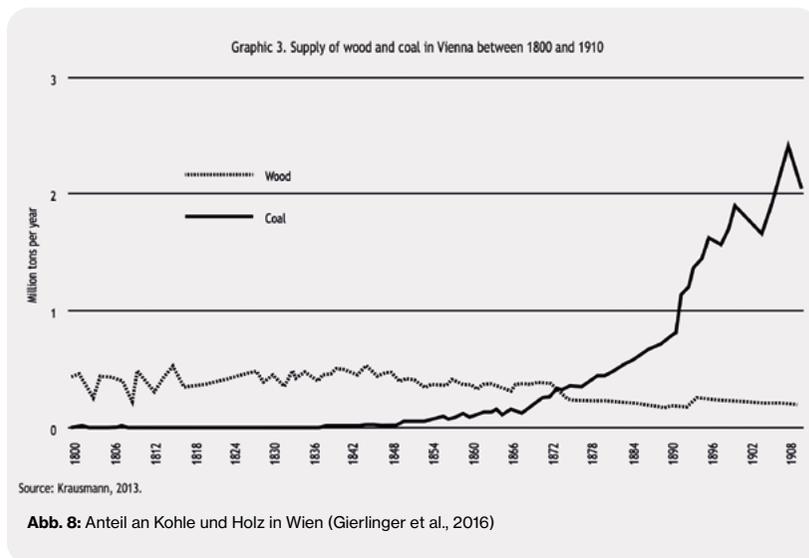
Österreichs Wälder brachten Arbeit und Lebensunterhalt. Holzknechte waren oft nur saisonal tätig und fanden transregional Arbeit. Die Bedingungen waren einfach: Man lebte in abgelegenen Blockhütten oder Sölden, ausgestattet mit Feuerstellen und Schlafpritschen. Die Holzarbeit selbst war eine Teamleistung: Der Forstmeister markierte die Bäume, andere fällten sie mit einer Zugsäge, ein Weiterer kümmerte sich um das Entfernen von Ästen, während noch ein Weiterer die Rinde vom Baum schälte, die später an Ledergerber verkauft wurde. Holz ist ein universelles Material, es wurde und wird für alles genutzt – „von der Wiege bis zur Totentruhe“ (HAIDING, 1958). Mit harter Arbeit schaffte eine Person bei 60 Wochenstunden etwa 3–4 m³ Holz pro Tag. Gefährlich war vor allem das Holzziehen im Winter: Mit schwer beladenen Schlitten, die oft kaum zu bremsen waren, kam es regelmäßig zu tödlichen Unfällen (HÖRMANN, 1991).

Historische Holztrifftanlagen bezeugen die Bedeutung von Holz im Transport- und Bauwesen. Die Infrastruktur war stark von saisonalen Gegebenheiten wie Trockenheit, Hochwasser oder Frost abhängig. Zudem passten natürliche Wasserläufe oft nicht zu den Bedürfnissen der überregionalen Wirtschaft, denn gefällte Baumstämme konnten nur flussabwärts transportiert werden. Um dieses Problem zu lösen, staute man Rinnsale auf oder legte spezielle Kanäle an, wie auch in Wien, um den Holztransport effizient zu gestalten (POPLOW, 2010). Die Nutzung von Gas als Hauptenergieträger begann um 1800 in England, während in Mitteleuropa Holz als Hauptquelle der Industrialisierung diente. Holzknappheit wurde zu einem großen Problem, da es sowohl für Energie als auch als Baumaterial benötigt wurde. Die 1826 gegründete Imperial Continental Gas Association etablierte Gaswerke in Europa, auch in Wien, was den Bedarf an Holz verringerte. Mit der zunehmenden Verwendung von Gas und Eisen konnte der Verbrauch von Holz in vielen Industriezweigen deutlich gesenkt werden (LAUFER & OTTOMEYER, 2008). Österreichs Waldreichtum hat seit jeher eine starke Tradition in der Holzverarbeitung geprägt, und Holz war stets ein signifikanter Wirtschaftsfaktor (HAIDING, 1958).

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

→ Holz und Energie

Historisch begegnet uns Holz in der sozial-metabolischen Betrachtungsweise insbesondere als Energieträger. Aufgrund der Verfügbarkeit von Holz gerade in ländlichen Gebieten war Holz



in Österreich eine bedeutende Primärenergiequelle bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts. Doch auch in den Materialbeständen der gebauten Umwelt war Holz deutlich präsenter. 1920 macht Holz davon noch ca. 19% aus. Im Jahr 2016 waren es weniger als 3% (FRIEDRICH, 2024).

Im Zuge der Industrialisierung, als fossile Energieträger für mehr und mehr technische Prozesse verfügbar wurden, löste Kohle und später Erdöl Holz als Hauptenergiequelle in Österreich ab. Somit konnte die Energieversorgung, da sie von nun an flächenunabhängig war, von den Grenzen des Wachstums entkoppelt werden. Brennholz, ein Energieträger von begrenzter Verfügbarkeit, geringer Energiedichte und hohen Transportkosten, wurde durch einen Energieträger mit hoher Energiedichte abgelöst. Somit sank etwa in Wien der Anteil von Biomasse als Energieträger von 85% auf 20–30%

(GIERLINGER ET AL., 2016). Um diesen Umstand zu illustrieren, rechnete Krausmann (2013) die Menge an zu Beginn des 20. Jahrhunderts verbrannter Kohle in eine hypothetische Waldfläche um, dessen Menge an Brennholz dem Energiegehalt der verbrannten Kohle entspricht. Die Größe jenes hypothetischen Waldes, der 1900 notwendig gewesen wäre, um den Energiebedarf des Vereinigten Königreichs zu decken, wäre dreimal so groß wie die gesamte Landesfläche. In Österreich war diese Entwicklung weniger ausgeprägt, aber selbst hier erreichte die hypothetische Waldfläche ungefähr die Größe des tatsächlichen Landesgebiets zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

Dieser Umstieg des Primärenergie-trägers begünstigte auch Faktoren wie landwirtschaftliche Intensivierung und die Externalisierung von Landnutzung. Die Waldfläche ist dadurch seit Beginn des 20.

Jahrhunderts in Österreich wieder zunehmend. Auch die Kohlenstoffbestände im österreichischen Wald sind damit wieder angestiegen. Heute ist Österreich zu 50% mit Wald bedeckt. Diese Entwicklung lässt sich in den meisten industrialisierten Ländern beobachten und wird in der wissenschaftlichen Literatur *Forest Transition Hypothese* bezeichnet (GINGRICH ET AL., 2007, 2021). Die *Forest Transition Hypothese* versteht die Zunahme von Waldfläche als Nebeneffekt der Industrialisierung und markiert den Übergang zu einem CO₂-emittierenden Energieträgerwechsel: Die Nutzung fossiler Energieträger reduzierte Druck auf die heimischen Wälder Brennholz bereitzustellen. Die Waldfläche nimmt in Konsequenz zu.

Die *Forest Transition Hypothese* beschreibt den paradoxen Umstand, dass die Kohlenstoff-Senkenfunktion der heimischen Wälder aufgrund der Verwendung fossiler Energieträger an Bedeutung gewinnen – eine *fossil-fueled carbon-sink*. Das entlastet die Umwelt weniger, als dass sie negative Effekte der Energienutzung verlagert. Unter diesem Blickwinkel scheinen Maßnahmen zur Förderung der Aufforstung nicht als erfolgversprechende politische Option zur Reduktion von klimaschädlichen Treibhausgasen. Eine nachhaltigere Gesellschaft kann neben umfassender „Dekarbonisierung“ nicht um die Reduktion des Energieverbrauchs herumkommen (GINGRICH ET AL., 2007, 2021).

→ *Holz als Baustoff*

Grün glänzt nicht immer

Holz gewinnt im Zuge der Bemühungen rund um den European Green Deal als Energieträger und als Baumaterial wieder

an Bedeutung. Die Europäische Union definiert Holzverbrennung als klimaneutral, obwohl die CO₂-Emissionen pro produzierter Wärmeeinheit höher sind als bei fossilen Energieträgern wie Kohle oder Gas (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT: *Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz*, 2022).

Auch im Bauwesen wächst die Nachfrage nach Holz. Die OECD prognostiziert einen Anstieg des Materialverbrauchs in der Kategorie Holz- und Holzprodukte bis zum Jahr 2060 um 250% gegenüber dem Jahr 2011 (OECD, 2019).

Der Gebäudebestand der EU wird jährlich um 1% erneuert. Eine hypothetische Deckung des europäischen Baumarkts zu 100% mit Holzprodukten würde etwa 100–400 Mio. m³ Rohholz entsprechen. Dies entspricht mehr als der Hälfte des jährlichen Zuwachses der EU-Wälder oder 50 Mio. m³ mehr als das 2015 in der EU produzierte Industrierundholz (HURMEKOSKI, 2017).

Der hohe Grad an Vorfertigung bei Holzbauprodukten lässt eine modulare Bauweise zu, die sich auch für hochgeschossige Gebäude eignet. Der Primärenergieeinsatz beim Einsatz von Holzprodukten im Hochbau ist um ca. 50% geringer im Vergleich zu mineralischen Baustoffen, wobei die Netto-Treibhausgasbilanz stark von der Verwendung nach dem Ende des Lebenszyklus des Gebäudes abhängt. Der Speichereffekt von Holz ist wirksam, solange es in Verwendung ist. Verrottet es oder verbrennt man es, wird das CO₂ wieder freigesetzt (BÖRJESSON & GUSTAVSSON, 2000).

Gestiegene Nachfrage ruft jedoch industrielle Plantagen auf den Plan, die besonders in Tropenregionen häufig

sind. Sie bestehen oft aus monospezifischen Beständen nicht heimischer Arten (wie Teak, Eukalyptus, Kiefer, Kautschuk, Ölpalme). Plantagen von schnellwachsenden Bäumen können große Mengen Kohlenstoff binden, und das mit Raten, die höher sind als bei natürlichen Sekundärwäldern. Dieser Kohlenstoff kann gebunden bleiben, wenn geerntetes Holz für beständigen Holzbau verwendet wird und die Plantagen erneuert werden. Die Aufforstung von Plantagen bleibt allerdings eine relativ riskante Option für die langfristige Kohlenstoffbindung aufgrund ihrer Anfälligkeit für Schädlingsausbrüche, Wind und Feuer, wodurch gebundener Kohlenstoff in die Atmosphäre freigesetzt wird. Plantagenbäume können bereits nach nur 10 Jahren geerntet werden, wodurch schnell Holz, Brennstoff oder Zellstoff produziert wird, oft auf Kosten anderer Ökosystemleistungen. Im Allgemeinen haben Plantagen eine viel einfachere Struktur und beherbergen weniger Tiere und Pflanzen als einheimische Wälder. Plantagenbäume wachsen oft gut unter harschen Bedingungen, können jedoch auch Böden degradieren. Abhängig von der Umgebung und ihrer Lage in der Landschaft können Plantagen Wasserressourcen verbessern und Überschwemmungen mildern, aber sie können auch große Wassermengen verbrauchen und damit den Wasserfluss in Flüssen und die Grundwasserneubildung verringern. Die Nettoeffekte von Plantagen auf die hydrologische Funktion sind unklar bzw. von ihrem Kontext abhängig (SEAN ET AL., 2017).

→ *Illegale Holzentnahme*

Holzschlägerungen und -entnahmen sind in der EU streng geregelt. Mit dem

Schutzkonzept Natura 2000 verpflichten sich die Mitgliedsstaaten dazu, ökologisch sensible Gebiete vor intensiver Waldbewirtschaftung zu schützen. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Holz als Energieträger und Baustoff kam es in den letzten Jahren verstärkt zu illegalen Holzschlägerungen auf indigenem Land, in Tropengebieten aber auch in Europa (CADENBACH ET AL., 2023). Holzzertifikate sollen garantieren, dass Holz unter menschenwürdigen Bedingungen entnommen wurde, aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung stammt und vor allem legal geschlagen wurde.

In Europa gelten der Nord-Osten Rumäniens und Teile der Ukraine als Brennpunkte des illegalen Holzschlags. Laut Interpol sind rund 50 % des sich dort im Umlauf befindlichen Holzes, schätzungsweise 20 Mio. m³ pro Jahr, illegal geschlagen. In West- und Nordeuropa sind ein Drittel des im Umlauf befindlichen Holzes, teilweise trotz Zertifizierung und EU-weiten Auflagen, illegal geschlagen. Die Auswertung von Satellitenbildern hat ergeben, dass in den betroffenen Gebieten in Rumänien und der Ukraine deutlich mehr Holz geschlagen wird als genehmigt wurde. Dies passiert oft unter dem Vorwand von Verjüngungsschnitten bzw. um Jungbäumen mehr Platz zu geben. Unzureichendes Monitoring, jahrelange Beziehungen und Naheverhältnisse zwischen Prüffirmen und Forstbetrieben, Korruption und mafiöse Strukturen der organisierten Kriminalität bieten Schlupflöcher für illegale Schlägerung. In der sozio-ökonomisch schlechter gestellten Region im Nord-Osten Rumäniens erzeugen große Unternehmen wie Holzwerke oder holzverarbeitende

Betriebe Abhängigkeiten und Druck auf Holzlieferer. Externe Firmen, darunter auch österreichische Firmen profitieren von illegalen Schlägerungen. Diese Abhängigkeiten steigen mit der europäischen Abhängigkeit von Holz und sind weitere Treiber dieser Entwicklung. Die EU hat zwar ein Vertragsverletzungsverfahren wegen illegaler Holzschlägerung eingeleitet, jedoch verschärft sie auch mit einer Subventionspolitik für Holz als saubere Energiequelle das Problem (STEFFENS ET AL., 2023).

Verschärfungen der bestehenden Gesetze, wie zum Beispiel eine engere Definition der Kriterien bei der Verwendung von Holz, werden auf EU-Ebene von Ländern aus Nord- und Westeuropa mit großer holzverarbeitender Industrie blockiert (STEFFENS ET AL., 2023). Derzeit existieren einzelne Initiativen, wie das „Holz von Hier-Zertifikat“, die neben nachhaltiger Waldbewirtschaftung auch möglichst kurze Transportketten vom Wald über die gesamte Verarbeitungskette bis hin zum fertigen Produkt als Kriterium führen.

Deutschland und Italien sind die größten Abnehmer von rumänischem Holz. Derzeit sind in Rumänien 700 Angriffe auf Förster und Umweltaktivisten aktenkundig, mindestens sechs Personen sind dabei ums Leben gekommen (STEFFENS ET AL., 2023).

→ *Rezyklierbarkeit mit Einschränkungen*

Das jährliche Aufkommen von Altholz in Österreich ist steigend, wobei die größte Menge dem Bau- und Abbruchsektor entstammt (HÖHER & STRIMITZER, 2019). Sowohl bei industriell gefertigten Bauprodukten, wie auch bei Altholzfraktionen,

ist jener Anteil, welcher nachträglich mit Schutzmittel behandelt wurde, ebenfalls steigend. Obwohl Holz grundsätzlich ein hohes Kreislaufwirtschaftspotenzial aufweist, verhindern diese organischen bzw. anorganischen Kontaminationen eine Wiederverwendung oder stoffliche Wiederverwertung. Auch für die thermische Verwertung (z.B. Müllverbrennung) bestehen Anforderungen, welche bei entsprechender Aufkonzentration derartiger Schad- und Störstoffe ebenfalls eine thermische Verwertung je nach Anlage ausschließen (BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, 2023). Aktuelle Daten der Holzforschung Austria zeigen, dass bei 95 % von 126 Altholzproben grenzwertbedingt eine thermische Verwertung durch Verbrennung ausgeschlossen werden muss. Das stellt eine Future Waste Thematik dar, die durch den steigenden Anteil an Holzbau in Österreich noch verschärft werden kann. Vor diesem Hintergrund bietet sich die Pyrolyse als Altholzverwertungsmethode an.

Pyrolyse bezeichnet den Vorgang der Verkohlung von organischen Substanzen wie Restholz oder Grün- und Pflanzenschnitt unter hohen Temperaturen und Sauerstoffabschluss. Ein Teil der pflanzlichen Reststoffe verwandelt sich also nicht bei der Verrottung in CO₂, sondern wird stabile, schwer abbaubare, porenreiche Biokohle (SCHEUB ET AL., 2013).

Ein Kilogramm Biokohle speichert ein Vielfaches an CO₂ und kann auch zum Humusaufbau und für die Nährstoffbindung im Boden eingesetzt werden. Anstatt in die Atmosphäre zu gelangen, ist der Kohlenstoff langfristig im Boden eingelagert und kann nicht zur globalen Klimaerhitzung beitragen. Die

Erhöhung des Kohlenstoffgehalts in Böden durch die Beimischung von Biokohle wird vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) als eine der vielversprechendsten (natürlichen) Carbon Capture-Technologien zur langfristigen Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre gelistet (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT: *Regionen und Wasserwirtschaft*, 2022; LEHMANN ET AL., 2006).

Weitere Co-Benefits von Biokohle sind die Steigerung der Erträge bzw. Lebensmittelproduktionskapazität der Böden, eine erhöhte Wasserspeicherkapazität und eine verbesserte biologische Stickstofffixierung (SCHEUB ET AL., 2013).

Zudem können potenzielle Schadstoffe aus Altholzprodukten nach der Pyrolyse mittels Abgasreinigung entfernt werden. Durch die Nutzung des beim Prozess anfallenden heizwertreichen Pyrolysegases kann Biokohle mittels Kraft-Wärme-Kopplung einen Beitrag für eine klimawirksame Kreislauffähigkeit leisten.

GLAS

DIE CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Glas besteht hauptsächlich aus Siliciumdioxid (SiO₂), dem Hauptbestandteil von Sand. Natürliches Glas gibt es schon seit Millionen von Jahren und entsteht, wenn bestimmte Arten von Gesteinen aufgrund von Hochtemperaturereignissen wie Vulkanausbrüchen und Blitzeinschlägen schmelzen und schnell abkühlen. Flachglas, oft als „Soda-Kalk-Siliciumdioxid-Glas“ oder „Soda-Kalk-Glas“ bezeichnet, ist der weltweit am häufigsten verwendete Glas-Typ und besteht in der Regel aus 69–74 % Siliciumdioxid (SiO₂), 5–14 % Kalk (CaO), 10–16 % Soda (Na₂O) und anderen geringfügigen Bestandteilen wie Magnesia (MgO) und Tonerde (Al₂O₃) (HALDIMANN ET AL., 2008).

Glas, das nur Siliciumdioxid und Soda enthält, ist nicht sehr langlebig und neigt dazu, sich im Wasser aufzulösen. Die Zugabe von Kalk erhöht die Haltbarkeit des Glases. Reines Siliciumdioxid-Glas wird immer noch für spezielle Zwecke verwendet, wie zum Beispiel für Weltraumfenster, die Temperaturen von bis zu 1200 °C standhalten müssen. Es gibt andere Arten von Siliciumdioxid-Glas mit einzigartigen Eigenschaften, darunter Borosilikatglas, Bleioxidglas (Kristallglas) und Aluminosilikatglas. Borosilikatglas ersetzt Soda durch Borsäure (B₂O₃) und zeichnet sich durch seine Beständigkeit gegen Temperaturschwankungen aus, weshalb es in Haushaltskochgeschirr

beliebt ist. Bleioxidglas enthält 18–40 % Bleioxid (PbO) anstelle von Soda und weist einen hohen Brechungsindex auf, was es ideal für die Herstellung von Glaswaren macht. Aluminosilikatglas, das Aluminiumoxid und geringe Mengen Kalk, Magnesia und Borsäure, aber sehr wenig Soda enthält, kann hohe Temperaturen aushalten und wird in der Regel zur Herstellung von Glasfasern und glasfaserverstärkten Polymeren verwendet. In der Bauindustrie ist Flachglas, also Soda-Kalk-Glas, die am häufigsten verwendete Art (KHATIB, 2016).

HISTORISCHES

Die älteste bekannte Verwendung von hergestelltem Glas stammt aus etwa 3500 v. Chr. in Ägypten, wo farbiges Glas für Schmuck und Behälter verwendet wurde (O'REGAN, 2014). In der römischen Antike war es bereits üblich, Gebäude und Thermenanlagen mit Glasfenstern auszustatten. Funde aus Pompeji bezeugen Glasfenster bis zu einem Meter Größe, was auf eine fortgeschrittene Technik hindeutet: Erhitztes Glas wurde auf sandbedeckte Platten gegossen, das Resultat war eine matte Oberfläche. Fensterscheiben in Sakralbauten können in Mitteleuropa bis ins 6. Jahrhundert zurückverfolgt werden, während verglaste Fenster in Profanbauten ab dem 11. Jahrhundert belegt

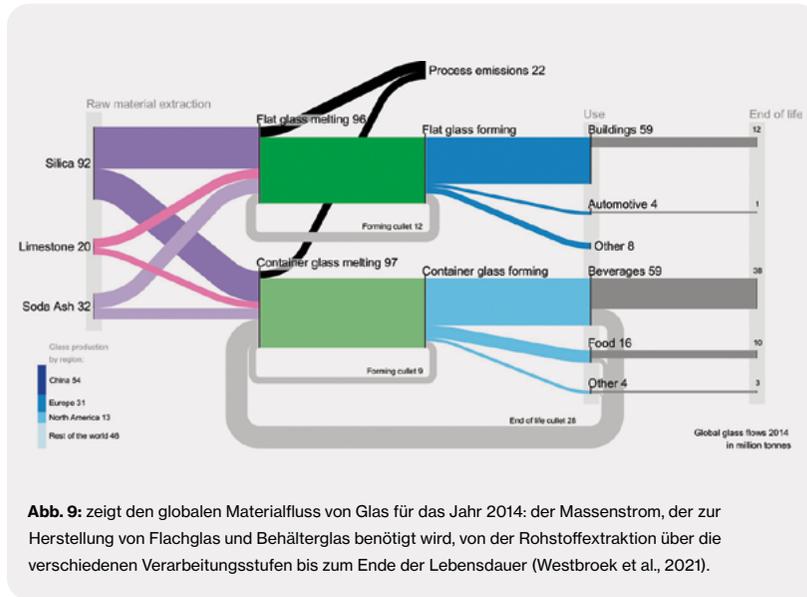


Abb. 9: zeigt den globalen Materialfluss von Glas für das Jahr 2014: der Massenstrom, der zur Herstellung von Flachglas und Behälterglas benötigt wird, von der Rohstoffextraktion über die verschiedenen Verarbeitungsstufen bis zum Ende der Lebensdauer (Westbroek et al., 2021).

sind. Bis zum 18. Jahrhundert wurden bevorzugt sogenannte Butzenscheiben verwendet – runde oder rautenförmige Gläser mit 15–20 cm Durchmesser. Sie waren nicht besonders transparent oder regelmäßig. Mit der Entdeckung der Zylinderglas-Technik konnte man größere Glasflächen herstellen: Dafür wurde ein Zylinder geblasen, aufgeschnitten und geglättet. Im 18. Jahrhundert ersetzte Streckglas diese Technik. 1904 ermöglichte eine Erfindung die direkte Herstellung von Glastafeln, was zur Industrialisierung und Perfektionierung der Glasproduktion führte (TARCSAY, 2009).

→ *Regionalgeschichte*

Die frühesten Glasfunde in Österreich stammen aus der jüngeren Eisenzeit. In der Römerstadt Carnuntum wurden Objekte aus dem 3. Jahrhundert entdeckt,

die die Herstellung von Sodaglas belegen. Zwischen der Römerzeit und dem Hochmittelalter gibt es wenige Hinweise auf lokale Glasproduktion. Ab 1288 sind zahlreiche Wiener Glaser durch Quellen belegt, und es ist anzunehmen, dass Klöster und Baustellen Flachglas für den Eigenbedarf herstellten. Die Glasproduktion war eng mit regionalen Quarz- und Holzvorkommen gekoppelt. Holz wurde nicht nur zum Anheizen der Öfen verwendet, sondern auch zur Herstellung von Pottasche als Flussmittel. Das sogenannte Waldglas, das durch Verunreinigungen oft einen grünlichen oder braunen Farbstich hatte, war weit verbreitet. Vom 15. bis 18. Jahrhundert war das Waldviertel ein Zentrum der Glaserzeugung, stark beeinflusst von der venezianischen und böhmischen Glasmacherei, und fungierte

als Bindeglied der beiden Regionen. Durch den kulturellen Wissenstransfer und den Einsatz importierter Asche aus Spanien gelang es dort, farbloses Glas zu produzieren (POPLOW, 2010; TARCSAY, 2009). Im 18. und 19. Jahrhundert verdrängte die zunehmende Holzverwertung die Glasproduktion und der Fokus verlagerte sich auf den Holzexport (TARCSAY, 2009).

→ *Herstellung*

Glashütten wurden oft direkt auf Waldlichtungen errichtet, um den Bedarf an Holz für die Öfen schnell zu decken. Für die Glasproduktion wurde Kaliumcarbonat aus Pflanzenasche mit Quarzsand im Verhältnis 2:1 vermischt und so lange erhitzt, bis die Mixtur klar wurde. Durch das Eisenoxid im Sand erhielt das so entstandene Glas meist eine grünliche Färbung (POPLOW, 2010). Familien arbeiteten im Schichtbetrieb, ihr Wissen über Glasrezepte wurde mündlich weitergegeben. Wegen des hohen Holzverbrauchs zogen die Glashütten regelmäßig weiter, und die alten, gerodeten Standorte wurden landwirtschaftlich genutzt (KRAKOVSKY, 2022).

Das 1952 von Pilkington entwickelte Floatglasverfahren revolutionierte die Massenproduktion von hochwertigem Flachglas: Für die Produktion von Glasscheiben wird die Glasschmelze schwimmend auf flüssigem Zinn gekühlt. Das so entstandene glatte Glasband wird anschließend über Rollen transportiert und in Scheiben geschnitten. Der kontrollierte Abkühlungsprozess, das sogenannte „Tempern“, ist entscheidend für die Qualität und ermöglicht die Produktion von Spezialgläsern.

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

→ *Treibhausgasemissionen und Wasserverbrauch*

Die Glasindustrie gilt aufgrund ihres hohen Energieanteils pro Produktionseinheit als energieintensive Industrie. Sie verursacht zudem Luft- und Wasserverschmutzung und fällt in Bezug auf die Materialintensität vor allem wegen des Bedarfs an Sand ins Gewicht.

Schmelzöfen spielen eine Schlüsselrolle in Bezug auf Energieintensität und -effizienz der Glasproduktion, da sie den größten Anteil der Energie des gesamten Prozesses verbrauchen. Sie laufen bei durchschnittlichen Temperaturen von 1500 °C bis 1600 °C. So entstehen beispielsweise bei der Herstellung von 1 kg Glas in einem gasbefeuerten Ofen etwa 0,6 kg CO₂, von denen 0,45 kg aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und 0,15 kg aus der Dissoziation von Karbonaten stammen. Der Behälter- und der Flachglassektor (die zusammen 80 % der Glasproduktion ausmachen) erzeugen über 60 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr – mehr als die jährlichen Gesamtemissionen Portugals (FURSZYFER DEL RIO ET AL., 2022). Im Jahr 2021 tragen die CO₂-Emissionen aus der Glasproduktion mit 0,05 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen in Österreich bei (UMWELTBUNDESAMT, 2023).

Wasser wird in verschiedenen Schritten der Glasproduktionskette verwendet. Es wird zur Kühlung in der Kühllofenphase, beim Waschen und als Medium für den chemischen Prozess benötigt. GERBENS-LEENES ET AL (2018) berechneten den grauen und blauen Wasserfußabdruck (WF) entlang der Produktionskette von Flachglas.

Der blaue WF bezieht sich auf den Verbrauch von frischem Grundwasser oder frischem Oberflächenwasser, das während des Produktionsprozesses von Glas benötigt wird, aber auch auf das Wasser, das indirekt für die Herstellung der in der Produktionskette verwendeten Rohstoffe und Energie benötigt wird. So wird zum Beispiel für die in einem Kraftwerk erzeugte Elektrizität Kühlwasser benötigt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Kalk-Natron-Glas (Flachglas) der blaue WF von 5,9l/kg hauptsächlich auf die Herstellung von Soda (46%) und die eingesetzte Energie für die Glasherstellung (36%) zurückzuführen ist. Der graue WF bezieht sich auf das Volumen des Süßwassers, das erforderlich ist, um die in die Süßwasserkörper eingeleiteten Schadstoffe so weit zu verdünnen, dass die Wasserqualität den gesetzlichen oder vereinbarten Anforderungen entspricht. Der graue WF von Glas ist mit 1300 l/kg produziertem Glas 221-mal höher als der blaue WF (GERBENS-LEENES ET AL., 2018).

→ *Glas im Bausektor*

83% des global hergestellten Flachglases wird in Gebäuden verwendet – vorrangig als Fenster (WESTBROEK ET AL., 2021). Größere Fenster ermöglichten eine Vergrößerung der belichteten Fläche in modernen Gebäuden und erhöhten den Komfort in Wohnungen und Büros (SOUVIRON & KHAN, 2021). Jedoch brachte die erhöhte Durchlässigkeit für Sonnenlicht auch die Herausforderung der vergrößerten Wärmezufuhr in Gebäuden mit sich. Die Gebäude-Klimatisierung entwickelte sich als konventionelle technische Lösung, um entstehende Treibhauseffekte zu mildern. Dies ist

jedoch problematisch, denn der Einsatz von Klimaanlage und elektrischen Ventilatoren zur Kühlung machte 2018 fast 20% des gesamten Stromverbrauchs in Gebäuden auf der ganzen Welt aus (IEA, 2018).

Die Nachfrage nach Glasprodukten, insbesondere nach Flachglas für Gebäude, wird den Schätzungen zufolge in Zukunft erheblich steigen. Dies wird zu einem Anstieg des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei der Glasherstellung führen. Die Verfügbarkeit von Glasbruchstücken aus Altglas ist durch die Bestandsdynamik begrenzt. Während Glasscherben für die Herstellung von neuem Behälterglas recycelt werden können, erfüllen sie nicht die Reinheitsanforderungen für die Flachglasproduktion. Daher sind die anfallenden Bruchstücke aus Flachglasprodukten begrenzt. Flachglas wird in absehbarer Zukunft aus neuen Rohstoffen hergestellt werden müssen, um die steigende Nachfrage zu decken (WESTBROEK ET AL., 2021).

→ *Glas Recycling*

Im Gegensatz zu Verpackungsglas ist das Recycling von Flachglas schwieriger. Im Bundesabfallwirtschaftsplan des BMK (2006) wird angenommen, dass 85% des Flachglasabfalls aus Industrie und Gewerbe stammen. Eine Weiterverarbeitung dieser Abfälle zu Glasfasern zur Wärmedämmung ist jedoch nur möglich, wenn ausreichend sortenreines Ausgangsmaterial zur Verfügung steht. Ansonsten wird es deponiert.

Der Altglas-Anteil in künstlich erzeugten Mineralfaserdämmstoffen (KMF) kann bis zu 70% ausmachen. Durch ihre vielfältigen Anwendungsbereiche

sind sie in nahezu allen Gebäudeteilen anzutreffen. Früher setzten einige der anorganischen Stoffe lungengängige, kurzfasrige Stäube frei, die ein krebs-erzeugendes Potenzial aufwiesen. In Österreich führen KMF-Produkte, die ab dem Jahr 1998 hergestellt wurden, in der Regel das RAL-Gütezeichen und gelten somit als nicht krebs-erregend. Bei bereits verbauten Mineralwolldämmstoffen liegen in der Regel keine Informationen über Kennzeichnung und Beurteilung vor. Der RAL-Nachweis (für KMF-Produkte, die ab dem Jahr 1998 hergestellt wurden) ist im Bauteil nicht mehr nachvollziehbar bzw. sichtbar, Rückbaubarkeit und Schadstoff-freiheit sind daher bei Mineralwolle nicht gegeben (BMNT, 2019). Dies stellt eine kritische Future Waste Problematik dar, zumal die Deponieverordnungsnovelle 2021 ein Deponierungsverbot für Dämmstoffe aus künstlichen Mineralfasern vorsieht. KMF-Abfälle, bei denen kein Nachweis über die Nicht-Gefährlichkeit erbracht wird, müssen getrennt oder mit der Abfallschlüsselnummer von Asbest entsorgt werden. Damit besteht das Potential, die Entsorgung von Mineralwolle „massiv zu verteuern“ (WKO, 2020). Bereits jetzt belaufen sich die Entsorgungskosten von Mineralwolle auf ein Vielfaches der Gesteigungskosten.

Floatglasscherben, die beim Glasherstellungs- und Verarbeitungsprozess als Verschnitt anfallen, können, wenn sie sortenrein und sauber gesammelt werden, in den Floatwannen wieder eingeschmolzen werden. Die Flachglas-scherben, welche diese Anforderungen nicht erfüllen, werden als gewerblicher Abfall entsorgt und nehmen rund 85% des in Österreich gesammelten Flachglases

ein. Dies entspricht 37 000 Tonnen (BMK, 2006). Das aus nicht-gewerblichen Abfällen gesammelte Flachglas macht 6500 Tonnen aus. Für die gewerblichen Flachglasabfälle ist von einer gänzlichen Verwertung der anfallenden Abfälle (z.B. für die Herstellung von Glasfasern, die vor allem zur Wärmedämmung eingesetzt werden) auszugehen. Für die restlichen Flachglasabfälle ist derzeit von einer Depo-nierung oder von einem Downcycling auszugehen. Eine Verwertungsmöglichkeit besteht z.B. zu Glasperlen bzw. Reflexions-perlen für Straßenmarkierungen (MÖTZL & SCHNEIDER ET AL., 2011).

KALKSTEIN

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Kalkstein ist ein Karbonat-Sedimentgestein, das aus Kalziumkarbonat (CaCO_3) und in einigen Fällen aus Magnesiumkarbonat (MgCO_3) als sekundärem Bestandteil besteht – letzteres Gestein wird als Dolomit bezeichnet und ist oft nur schwer von reinem Kalkstein zu unterscheiden. Kalk entsteht durch die Verbindung von gelösten Kalziumionen mit Karbonat in Sedimentablagerungen über lange Zeiträume hinweg. Die Sedimentation von Kalziumkarbonat erfolgt durch organische und anorganische Mechanismen. Der organische Mechanismus umfasst eine Vielzahl von Organismen, die Schalen und Skelette bilden oder Karbonat absondern (z. B. Muscheln, Schnecken, Brachiopoden, Korallen, Schwämme, verschiedene Algen), während der anorganische Mechanismus die direkte Ausfällung aus dem Meer- und Binnenwasser umfasst (GANAPATHI & PHUKAN, 2020). Dadurch können Kalksteine sehr unterschiedliche Gefüge aufweisen, von hochporösen Formationen aus Fossilschalen oder deren Bruchstücken, die durch sekundären Kalzit-„zement“ nur schwach gebunden sind, bis zu dichten, extrem feinkristallinen Kalksteinen, die sich aus feinstem Kalkschlamm gebildet haben.

Kalkstein hat heutzutage zahlreiche Verwendungszwecke: als Hauptausgangsstoff von Zement, als Rohstoff in der Glas- und Metallverarbeitungsindustrie,

als Zuschlagstoff für den Straßenunterbau, als Baumaterial, als chemischer Rohstoff für die Kalkherstellung, als Bodenverbesserer, für die industrielle Wasseraufbereitung und vieles mehr. Aufgrund der hohen Nachfrage nach Kalkstein wird er weltweit in sehr großen Mengen abgebaut (GANAPATHI & PHUKAN, 2020; PLANK ET AL., 2022, 2022b).

HISTORISCHES

Die Verwendung von Kalkstein war wesentlich für die architektonische Entwicklung von diversen Kulturen. Die frühesten bekannten Funde von Kalkstein als Baumaterial stammen aus der Jungsteinzeit, etwa 11600 Jahre vor Heute, als Menschen anfangen Kalkstein zur Herstellung von Gebäuden und Skulpturen zu verwenden. In Anatolien, der heutigen Türkei, wurde eine Monumentalbauanlage entdeckt, die aus Kalksteinblöcken errichtet wurde. Außerdem wurde Kalkstein in der frühen ägyptischen Architektur genutzt, ein prominentes Beispiel ist die 4500 Jahre alte Cheops Pyramide, die mit Kalkstein verkleidet wurde. Auch in Europa wurde der Stein früh genutzt, besonders in den prähistorischen Monumenten der Megalithkultur, etwa bei Stonehenge, wo einige der Steine aus Kalkstein bestehen (CURRY, 2008).

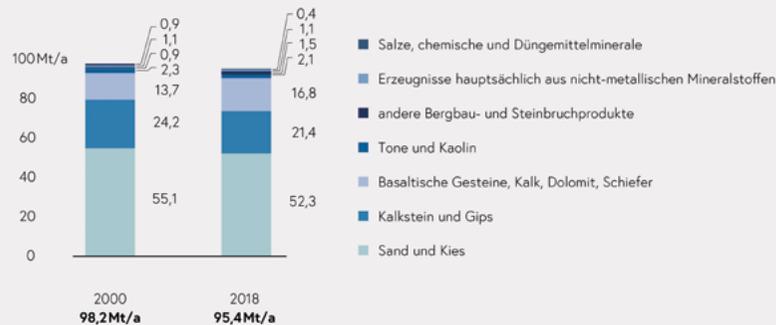
Gegen Ende des 18. Jahrhunderts fand man durch die Entwicklung der Lithografie eine neue Aufgabe an Kalksteine. Das



Abb. 10: Versteinertes Archaeopteryx, Quelle: Paläontologisches Museum München, Bild 1392927425

Druckverfahren ermöglichte industrielle Fertigung zu günstigen Preisen und war das erste Verfahren für die Produktion von farbigen Massenmedien. Dafür wurden Kalksteinplatten mit besonders feiner Körnung als *Lithografieplatten* benötigt. Eine weltweit zentrale Stellung darin hat der aus dem heutigen Bayern stammende Solnhofener Plattenkalk, aus dem auch die Bodenfliesen des Gründerzeithauses bestehen. Solnhofener Kalkplatten werden seit dem 2. Jahrhundert lokal abgebaut. Nutzungen des Materials, wie etwa in der Hagia Sofia in Konstantinopel, legen nahe, dass es sich um ein überregional sehr geschätztes Material gehandelt hat. Im 16. Jahrhundert wurde der Steinbruch erstmals gesetzlich reguliert, so stand es etwa jedem Hausbesitzenden in Solnhofen

zu, auf die Steinbrüche zuzugreifen. Prominent ist Solnhofener Plattenkalk nicht nur unter Architekt*innen und Lithograf*innen, sondern auch unter Paläontolog*innen, denn bisher wurden in ihm rund 750 Tier- und ca. 25 Pflanzenarten in Form von Versteinerungen nachgewiesen. Am bekanntesten ist der Fund des Urvogels Archaeopteryx. Der Saurier markiert den Übergang von Flugsauriern zu Vögeln, durch die Konservierung in dem extrem feinen Sand konnten auch Federn nachgewiesen werden (MATERIAL-ARCHIV, 2015). Der Solnhofener Plattenkalk gehört zum frühen Tithonium und ist etwa 150 Mio. Jahre alt. Die gesamte Serie dieser Kalke wurde in einem Zeitraum von 500 000 Jahren oder weniger abgelagert.



Erläuterung: Der DMC („domestic material consumption“, Inlandsmaterialverbrauch) berechnet sich aus der Inlandsentnahme+Importe-Exporte. Vor allem in den Gruppen höher verarbeiteter Güter, wo nur Handelswaren berücksichtigt werden, können negative Werte entstehen, wenn die Exporte übersteigen.

Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen.

Abb. 11: Verbrauch nicht-metallischer Mineralstoffe nach Sub-Gruppen, 2000 und 2018 (Eisenmenger et al., 2020). Quelle: Ressourcennutzung in Österreich 2020, Band 3, BMK

→ Regionalgeschichte

Mit dem Ausbau der Wiener Ringstraße Ende des 19. Jahrhunderts stieg der Bedarf an Steinen schlagartig: An Natursteinen für repräsentative Fassaden, an Sandstein für Bodenplatten und Treppenstufen, an Kalk für Mauermörtel und Verputzen der zahlreichen Neubauten. Durch die Sammlung der k.k. geologischen Reichsanstalt, die sich heute in der Kartause Mauerbach befindet, lassen sich die verwendeten Steine anhand der Proben oft präzise zuordnen (STINGL, 2007).

In Wien und Umgebung gab es mehrere Steinbrüche, die heute allesamt stillgelegt sind: Im heutigen 23. Wiener Gemeindebezirk befindet sich der ehemalige Steinbruch Mauer-Antonshöhe, in dem schon während der Jungsteinzeit Rohmaterial für die Werkzeugherstellung gewonnen wurde und damit als das älteste Industriedenkmal Österreichs gilt. Der

sogenannte Flyschsandstein im Wienerwald wurde schon früh abgebaut und später vorwiegend für Straßenpflaster und Dachplatten verwendet. Bereits zur Römerzeit befand sich in Sievering ein großer Steinbruch, dessen Steine höchstwahrscheinlich beim Bau der Römerstadt Vindobona verwendet wurden. Steine aus Nußdorf und dem Türkenschanzpark im heutigen 19. Bezirk wurden ab dem Mittelalter für den Städtebau verwendet.

Die Thermenlinie ist eine geologische Zone im Radius des Wiener Umlands. Hier befinden sich die sogenannten Konglomerate, gehärtetes Geröll, das in diesen Gesteinsformationen eine wichtige Abbaquelle darstellt. Wichtige Steinbrüche befanden sich im Leithagebirge sowie um Baden und Mödling. Besonders die Steinbrüche von Breitenbrunn, Au, Loretto und Stotzing lieferten Material für Bildhauerarbeiten, während die dichteren

Steine aus Mannersdorf und dem Kaisersteinbruch für Bauten genutzt wurden. Der Römersteinbruch in St. Margarethen, einer der ältesten, wird bis heute betrieben und liefert Kalksandstein, der vor 16 bis 14 Mio. Jahren in Lagunen des urzeitlichen Wiener Beckens entstanden ist. Zu den aus entfernteren Gebieten – zumeist über das Wasserweg bezogenen – Werksteinen, mit zahllosen Verwendungsbeispielen im Raum Wien, sind die Salzburger Sorten des Adneter und Untersberger Steins zu nennen, und dazu eben auch der Solnhofener Plattenkalk, die oft in Kombination miteinander eingesetzt wurden.

Mit Ausnahme der Flyschsandsteine gehören alle genannten Steinsorten zur Gruppe der Kalksteine, die somit, historisch betrachtet, einen Großteil der Werksteine in Wien ausmachen (FAUPL ET AL., 1970; ROSENBERG, 1965).

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

Der jährliche Abbau von Kalkstein und Gips in Österreich beläuft sich im Jahr 2018 auf 22,01 Mio. Tonnen und entspricht damit in etwa dem Inlandsmaterialverbrauch (DMC) von 21,4 Mio. Tonnen im gleichen Jahr (Abb. 11). Import und Export spielen eine untergeordnete Rolle.

Auf globaler Ebene entfallen 13 % der Baurohstoffgewinnung auf Kalkstein. Davon fließt ein großer Teil in die Herstellung von Zement (PLANK ET AL., 2022b). Die Prozessemissionen bei der Umwandlung von Kalkstein in Calciumoxid und Kohlendioxid sind für den größten Teil der CO₂-Emissionen von Zement verantwortlich (ROMM ET AL., 2021). Viele der sozial-ökologischen Zusammenhänge und Problemstellungen ergeben sich

in Bezug auf Kalkstein daher direkt im Zusammenhang mit der Herstellung von Zement bzw. Beton.

→ Umweltauswirkungen

Der Abbau von Kalkstein hat jedoch direkte Auswirkungen auf Ökosysteme wie etwa die Rodung von Bäumen oder das Abtragen des humosen Oberbodens zur Vorbereitung des Abbaus. Dieser Abraum ist oft sehr voluminös und wird auf Deponien abgeladen, wo der Boden seine natürlichen Ökosystemfunktionen nicht mehr erfüllen kann. Auch der Verlust einheimischer Arten und damit oft der Verlust der biologischen Vielfalt in der Region des Abbaus sind Folgen (GANAPATHI & PHUKAN, 2020).

Bei der Sprengung wird eine große Menge Sprengstoff verwendet, um den Kalksteinbruch zu zerkleinern. Dabei wird sehr viel Energie freigesetzt, von der ein Teil das Gestein von der Steinbruchwand verdrängt, während der Rest in Form von Vibrationen auf den Boden und die Luft übertragen wird. Dies kann die Grundwasserstruktur beeinflussen, was letztlich den Fluss des Oberflächenwassers verändern kann. Sprengungen und der Einsatz von Maschinen für Aushub-, Bohr-, Lade- und Entladevorgänge erzeugen hohe Lärmpegel, die sowohl den Menschen als auch Tiere im Gebiet der Minen beeinträchtigen können (GANAPATHI & PHUKAN, 2020).

Wenn ein Tagebau einen Grundwasserleiter durchschneidet, wird der Transport des Grundwassers in solchen Situationen stark beeinträchtigt. Das Wasser kann mit sehr hoher Geschwindigkeit aus dem Grundwasserleiter in die Grube fließen. Um den Abbau von



Abb. 12: Kalksteinbruch der Zementindustrie, Mannersdorf, Leithagebirge, ©Christoph Weber

Mineralien zu erleichtern, muss das Wasser abgepumpt werden und wird in nahe gelegene Flüsse verdrängt, was zu Überschwemmungen führen kann. Örtlich wird durch diese Ableitung von Grundwasser auch das Grundwassersystem gestört, was dazu führen kann, dass Brunnen, Quellen und Bäche austrocknen oder ihre Wassermenge erheblich verringert wird. Die Auflösung von Kalk in Verbindung mit Kalkstein durch Regen kann ebenfalls die Wasserqualität beeinträchtigen, indem sie den Feststoffgehalt im Wasser erhöht und es für den Gebrauch als Trinkwasser ungeeignet macht. Zudem erhöhen die von den Aushubhalden aufgewirbelten Staubpartikel den Gehalt an Feinstaub in der Luft (GANAPATHI & PHUKAN, 2020).

KUNSTSTOFF

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Gegenüber anderen Materialien zeichnen sich Kunststoffe durch ihre vergleichsweise geringe Dichte aus. Darüber hinaus weisen sie ausgezeichnete wärmedämmende und elektro-isolierende Eigenschaften sowie Korrosionsbeständigkeit auf. Ihre Transparenz ermöglicht optische Einsatzzwecke. Sie können in nahezu unendlicher Anzahl an Formen gebracht und mit anderen Materialien kombiniert werden. Die Zugabe von sogenannten Additiven, z. B. Füllstoffen, Pigmenten, Treibmitteln und Weichmachern, erhöht ihre Versatilität zusätzlich (DOMININGHAUS, 2012).

Ihre grundsätzlichen Eigenschaften bzw. die Eigenschaften der Kunststoffarten werden jedoch am stärksten von der Molekülgestalt der Polymere geprägt.

Ausgangspunkt für die Produktion ist meist Erdöl, ein Kohlenwasserstoff. In Raffinerien wird es destilliert, also nach Molekülgröße sortiert, gecrackt (gespalten), re-formiert (umgebaut) und raffiniert (aufgereinigt). Dabei entstehen Gase, Benzine, Heizöl, Bitumen und Schmieröl. Aus dem Rohbenzin Naphta gewinnt man schließlich Ethen und Propen – früher als Abfallstoffe angesehen und abgepackelt. Heute werden diese Monomere – kleine, reaktionsfähige Moleküle mit zwei oder

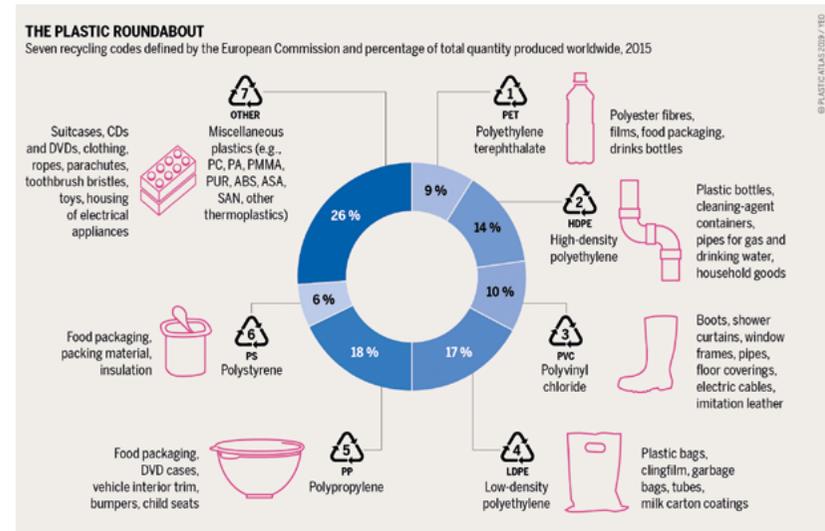
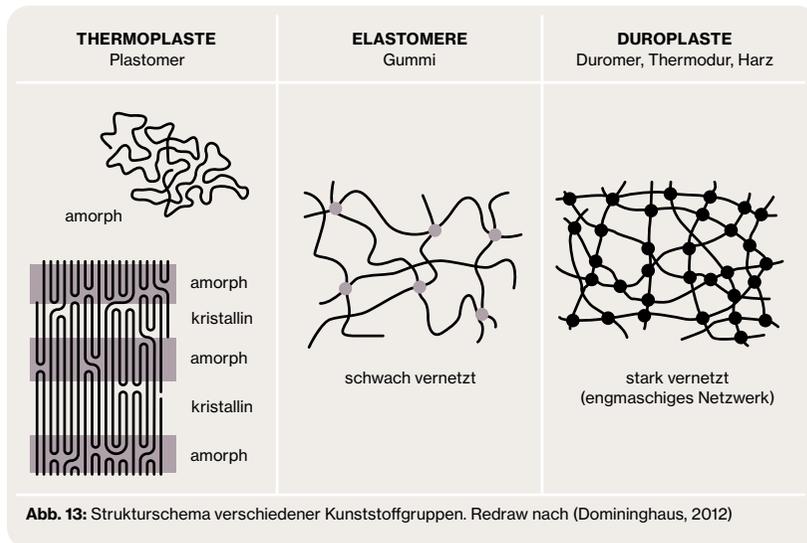


Abb. 14: Verteilung der weltweiten Plastikproduktion (Heinrich Böll Stiftung, 2019)

mehr funktionellen Gruppen – durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition zu Polymeren bzw. Molekülketten verbunden. Aus 1,45 Tonnen Öl entsteht so eine Tonne Kunststoff (DOMININGHAUS, 2012; KERVET, 2007).

Grundsätzlich kann zwischen drei Arten von Kunststoffen unterschieden werden. Duroplaste sind steif und ihre Moleküle dreidimensional vernetzt. Diese Vernetzung entsteht durch chemische Bindungen zwischen den Molekülen, die zu einem starren und nicht schmelzbaren Netzwerk führen. Einmal geformt, kann ihre Gestalt nicht mehr verändert werden. Sie sind extrem hitzebeständig und verkohlen bei sehr hohen Temperaturen.

Elastomere zeichnen sich durch ihre Dehnbarkeit aus. Sie besitzen ebenfalls eine vernetzte Molekularstruktur, aber diese Vernetzungen sind flexibler und weniger dicht. Dies ermöglicht

eine gewisse Dehnbarkeit bzw. die Rückkehr zur ursprünglichen Form. Bei Wärme schrumpfen sie und bei hohen Temperaturen zersetzen sie sich (DOMININGHAUS, 2012).

Thermoplaste sind durch Wärme verformbar, ohne dabei eine chemische Reaktion aufzuzeigen. Nach dem Abkühlen können sie erneut erhitzt und verformt werden, weil ihre Molekülketten unvernetzt sind. Sie liegen hauptsächlich nebeneinander und haben keine chemischen Bindungen und verschieben sich bei hoher Energiezufuhr, zum Beispiel durch Wärme, leicht gegeneinander. Bei amorphen Thermoplasten sind die Molekülketten unregelmäßig angeordnet. Teilkristalline zeichnen sich durch eine gewisse Regelmäßigkeit der Faltung aus. Sie sind dichter und dadurch härter und resistenter als amorphe Thermoplaste (DOMININGHAUS, 2012).

Kunststoffe werden durch Wechselwirkungen mit der Umwelt durch physikalische, chemische und biologische Prozesse zerkleinert. Diese Kunststoffpartikel verschiedener Größenklassen – Makroplastik, Mikroplastik und Nanoplastik – sind mittlerweile in natürlichen Ökosystemen und sogar Organismen auffindbar (KUMAR ET AL., 2021).

HISTORISCHES

Vor etwa 3600 Jahren entdecken die Olmeken in Mesoamerika bereits eine Vorstufe der modernen Gummiverarbeitung: Sie vermengten Latexmilch des Gummibaums mit dem Saft der Mondblume, um Naturkautschuk herzustellen (HOSLER ET AL., 1999). Das Material wurde jedoch bei Hitze zu klebrig und bei Kälte zu spröde. Die Geschichte des heutigen Kunststoffes beginnt mit einem Zufall: Der Chemiker Charles Goodyear, der sich 1839 intensiv mit der Verbesserung und Stabilisierung des Materials beschäftigte, ließ bei einem seiner Experimente aus Versehen eine Tüte mit Schwefelpulver

in eine Latexbrühe fallen. Der Gummi wurde dauerhaft elastisch und widerstandsfähig: die Grundlage der modernen Gummiindustrie (SOMMA, 2014).

Im Rahmen der Weltausstellung 1862 in London präsentierte man den ersten Kunststoff: Das Parkensine. Wenig später wurde es als Zellulose weiterentwickelt, indem der Nitrocellulose unter Hitze und Druck Kampher und Alkohol beigemischt wurde. Der sogenannte Imitatstoff sollte Elfenbein und Schildpatt ersetzen (beispielsweise in Billardkugeln oder Kämmen) und wurde besonders durch die Film- und Fotoindustrie etabliert. 1884 wurde erstmals eine künstliche Seide hergestellt, die heute als Viskose bekannt ist. Rein synthetische Kunststoffe kamen erst mit dem Bakelit 1907 auf den Weltmarkt, vermarktet als Isolator und langlebiges, sowie hitzebeständiges Material. Vor allem durch den zweiten Weltkrieg stieg die Nachfrage rasant, da Kunststoffe verwendet wurden, um Kabel auf Militärschiffen zu isolieren. Obwohl die Auswirkungen des Produktes auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit

relativ schnell publik waren, avancierte Kunststoff zum wichtigsten Material für Haushalts- und Industrieprodukte. Auch Polyethylen, das für Getränkeflaschen, Tüten und Behälter hergestellt wurde, verbreitete sich rasend. Plastik galt als sauber, schick und modern. Um 1960, in der Zeit des großen Kunststoff-Booms, war es das Ziel vieler Architekt*innen, ganze Häuser und Autos aus Kunststoffen zu produzieren. Die sich anbahnende Erdölkrise dämpfte diese Entwicklungen allerdings. In der frühen Entwicklung des Kunststoffs fand dieser fast ausschließlich Gebrauch in wiederverwendbaren Produkten, wie beispielsweise der Tupperware. In den 1970er Jahren kam es erstmals zum Einsatz von Einwegplastik, da dieses so günstig und schnell zu produzieren war, dass es nahezu jeden Materialwert verlor. Erst heute entwickelt man sich langsam weg vom Single-Use-Gebrauch, hin zu biologisch abbaubaren Kunststoffen (REDDING, 2020). Tatsächlich waren die Additive der frühen Kunststoffarten schlechter entwickelt, was die synthetischen Materialien oft schlecht altern lässt.

Heutiger Kunststoff gilt als langlebiger, obwohl er oft nur einmal benutzt wird (LODERER, 2004).

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

„Kunststoff herzustellen ist keine Kunst mehr, aber diesen Stoff zu beseitigen, ist eine Kunst“, mahnt der deutsche Mediziner und Aphoristiker Gerhard Uhlenbruck. Die Langlebigkeit und hohe Widerstandsfähigkeit von Kunststoff bilden ein hohes Umwelt- und Gesundheitsrisiko, sobald diese unkontrolliert in Gewässer, Böden oder Atemluft gelangen (HOLUBEK, 2021). Die Zeitspanne für den biologischen Abbau von Kunststoff hängt von chemischen und vor allem evolutionären Prozessen und Organismen, die Kunststoff metabolisieren können, ab (DAVIS, 2022). Bakterienstämme in den Mägen von Mehlwürmern sind in der Lage, Styropor zu verstoffwechseln, Wachsmotten Polyethylen und der Pilz *Pestalotiopsis microspora* Polyurethan. Am Beispiel des auf japanischen Mülldeponien entdeckten Bakteriums *Ideonella sakaiensis* 201-F6 – es nutzt PET

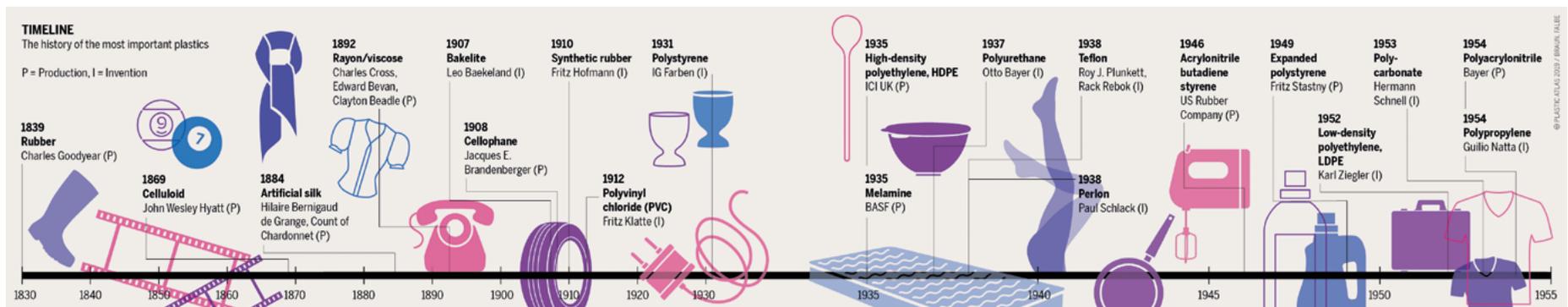


Abb. 15: Geschichte der gebräuchlichsten Kunststoffe (Heinrich Böll Stiftung, 2019)

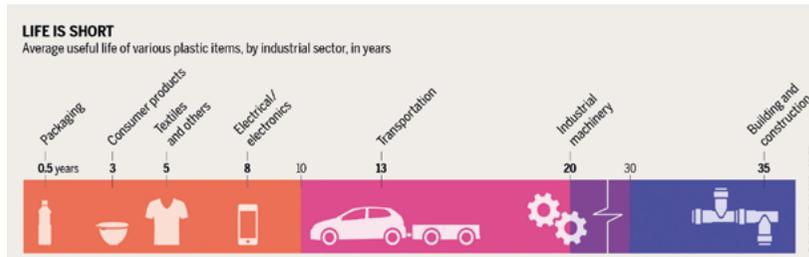


Abb. 16: Nutzungsauern von Kunststoffprodukten (Heinrich Böll Stiftung, 2019)

als Hauptenergiequelle – verdeutlicht sich, wie die Verbreitung von Kunststoff die Evolution antreibt, neue Wege im Umgang mit dem Material zu entwickeln. Mikrobielle und menschliche Genealogien verflechten sich mit Fortschritten chemischer Ingenieurwissenschaften. Die Konsequenzen dieser evolutionären Zusammenarbeit bleiben unbekannt (DAVIS, 2022).

→ Kunststoff als Baustoff

Im Jahr 1950 lag die weltweite Kunststoffproduktion bei 1,5 Mio. Tonnen, die 2019 auf rund 370 Mio. Tonnen anstieg und sich bis 2050 voraussichtlich verdreifachen wird (KUMAR ET AL., 2021). Betrachtet man den Kunststoffmarkt, so hatte der Verpackungssektor 2019 den größten Anteil, gefolgt von den Sektoren Bauwesen, Textilien, Automobil und Transport, Infrastruktur und Bauwesen sowie Konsumgüter. Die Bauwirtschaft verbraucht jährlich rund 65 Mio. Tonnen Kunststoff weltweit. Im Gebäude- und Bausektor wird es hauptsächlich für Bodenbeläge, Abdichtungen, Rohre und Dämmstoffe verwendet (HOLUBEK, 2021).

In neueren Gebäuden werden Kunststoff-Dämmplatten aus XPS (extrudiertes Polystyrol) oder EPS (expandiertes

Polystyrol) verwendet. Alte XPS-Platten, die vor 2009 in Österreich produziert wurden, enthalten schädliche FCKW/HFKW/HFKWs und gelten als gefährlicher Abfall. Aus rechtlicher Sicht besteht ein Zerstörungsgebot. Wiederverwendung oder Recycling ist ausgeschlossen, was die Entsorgung kompliziert und teuer macht, besonders da XPS/EPS oft fest verklebt und schwer zu entfernen ist. Eine sachgerechte Entsorgung und Zerstörung ist nur durch arbeitsintensive Prozesse umsetzbar, wodurch Dämmstoffe eine Future Waste Thematik darstellen (ÖKOLOGISCHES BAUSTOFFINFORMATIONSSYSTEM, 2023).

Gerade anhand der Beispiele der Dämmstoffe und der Kupferkabel wird deutlich, dass der Einsatz von Kunststoff exemplarisch für ein Wirtschaften ist, das kurzfristige Entstehungskosten gewichtiger bewertet als langfristige Lebenszykluskosten. Aufgrund des hohen Heizwertes werden Kunststoffabfälle am Ende ihres Lebenszyklus häufig einer energetischen Verwertung zugeführt (HOLUBEK, 2021). Zwar gelangen durch diesen Entsorgungsweg nahezu keine Abfälle in die Umwelt, doch zieht dies andere Probleme nach sich. Die Verbrennung von Kunststoffen setzt einerseits CO₂-Emissionen frei, andererseits können

toxische Abgase entstehen (VÖLKER ET AL., 2020). Der Einsatz von Kunststoff ist auch exemplarisch für einen Bruch mit traditionellen, einstofflichen und monolithischen Bauweisen aus lokalen Materialien.

→ End of Life – Betrachtung

Das Recycling von Plastik stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. 60% aller jemals produzierten Kunststoffe wurden weggeworfen und sammeln sich auf Deponien oder in der natürlichen Umwelt an. (GEYER ET AL., 2017). Die Herausforderungen steigender Mengen an Kunststoffabfällen sowie deren

Wiederverwertung wurden teilweise durch den Export von Kunststoffen in Länder mit niedrigerem Einkommensniveau außerhalb Europas ausgelagert. Das Hauptexportland war China, bis im Jahr 2018 ein Importverbot in Kraft trat. Im Jahr 2015 wurden 46% der Kunststoffabfälle aus Europa, die zur Wiederverwertung gesammelt wurden, innerhalb und außerhalb der europäischen Grenzen exportiert (BISHOP ET AL., 2020).

Auch wenn der Anteil des Recyclings bis 2050 steigen soll, werden Entsorgung auf Mülldeponien und in die Umwelt sowie die Verbrennung voraussichtlich die dominierenden Entsorgungswege bleiben.

→ Mikroplastik-Eintrag in aquatische Systeme

Ein signifikanter Anteil von Kunststoff-Abfällen wird über die Flüsse in die Ozeane transportiert und verursacht auf seinem Weg erhebliche Wasserverschmutzung. Nichtsdestotrotz sind realistische Abschätzungen und Quantifizierungen der Plastikmengen in aquatischen Systemen selten (LECHNER ET AL., 2014). Repräsentativen Probenahmen zufolge sowie Messungen im Rahmen von Studien zum Plastikeintrag der Donau, gelangen jährlich 1533 Tonnen Kunststoffabfälle auf diesem Weg ins Schwarze Meer. Das sind 4,2 Tonnen Kunststoffabfall-Eintrag täglich (LECHNER ET AL., 2014).

Pro Jahr schwemmt der österreichische Donauteil 40 Tonnen Plastikteilchen in das Schwarze Meer. 90% der in den Proben gefundenen Kunststoffe stammen aus diffusen Einträgen durch Abschwemmung, Windverfrachtung, Abwasser und achtloses Entsorgen (Littering). Rund 10% sind industriellen Ursprungs und stammen

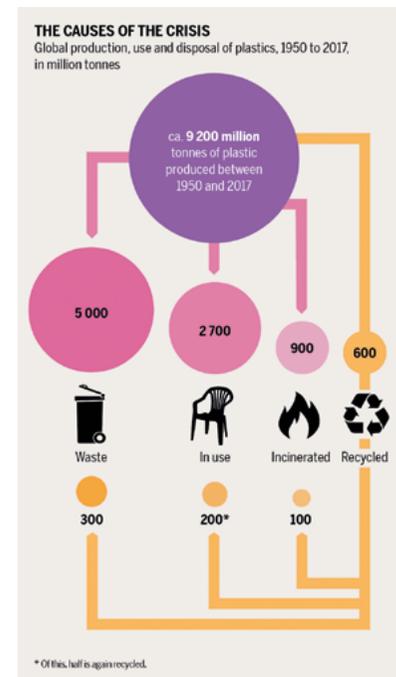


Abb. 17: Globale Produktion, Verwendung und Entsorgung von Kunststoffen (Heinrich Böll Stiftung, 2019)

aus Produktion, Verarbeitung und Logistik (HOHENBLUM ET AL., 2015). Diese Zahlen stehen 875 000 t Kunststoffabfällen gegenüber, die jährlich in Österreich durch die Abfallwirtschaft verarbeitet werden (HOHENBLUM ET AL., 2015).

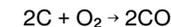
Vielerorts verstopft das Plastik die Wasserwege, was zu stehenden Gewässern führen kann. Diese sind problematisch, da sie als Brutstätten für Mücken und Schädlinge dienen. In den aquatischen Ökosystemen wird Mikroplastik von Organismen aufgenommen und schließlich über die gesamte Nahrungskette verbreitet, was zu gesundheitlichen Problemen führen kann. Die giftigen Chemikalien in den Plastikpartikeln können krebserregend sein und das Nerven-, Fortpflanzungs- und Atmungssystem beeinträchtigen.

Während wir heute mittlerweile ein gutes Verständnis von den ökologischen bzw. sozio-naturalen Verhältnissen in einzelnen Donauabschnitten haben, fehlt gerade auch in Bezug auf Plastikverschmutzung der Blick auf das große Ganze. Wie wirken sich menschliche Eingriffe und Einträge an der österreichischen Donau auf weiter flussabwärts liegende Bereiche wie etwa in Ungarn, Serbien, Bulgarien, Ukraine oder Rumänien aus? Wie beeinflussen über lange Donau-strecken zusammenhängende Prozesse die Nutzungsmöglichkeiten Anderer? (HOHENSINNER, 2020)

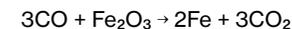
STAHL

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Stahl besteht hauptsächlich aus Eisen, dem Kohlenstoff zugesetzt wird, um seine Festigkeit zu erhöhen. Über 300 Minerale enthalten Eisen, aber fünf davon sind die Hauptquellen: Magnetit (Fe_3O_4), Hämatit (Fe_2O_3), Goethit ($\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$), Siderit (FeCO_3), Pyrit (FeS_2). Die ersten drei kommen in großen, wirtschaftlich abbaubaren Mengen vor und sind daher von größter Bedeutung (YELLISHETTY ET AL., 2010). Für die Produktion von einer Tonne Eisen wird eine Mischung aus 1,6 Tonnen Eisenerzpellets, 0,7 Tonnen Koks und 0,2 Tonnen Kalkstein verwendet. Diese Mischung gelangt in den Hochofen, wo sie bei Temperaturen von ungefähr 1600 °C mit 3,6 Tonnen Luft reagiert. Durch die Reaktion von Koks und Luft entsteht Kohlenmonoxid, das wiederum mit dem Eisenoxid im Erz reagiert. Dadurch entstehen freies Eisen sowie Kohlendioxid.



(coke) + (air) → (carbon monoxide gas)



(carbon monoxide gas) + (iron ore) →
(free iron) + (carbon dioxide gas)

Das Roheisen aus diesem Prozess enthält ca. 4–5% Kohlenstoff. Stahl hingegen weist einen Kohlenstoffanteil von maximal 2,1% auf. Die Reduktion erfolgt durch verschiedene Verfahren, etwa durch das

Sauerstoffaufblasverfahren oder das Elektrostahlverfahren. Dadurch wird Stahl hart, elastisch und schlagfest. Er lässt sich gießen, schmieden, pressen und walzen.

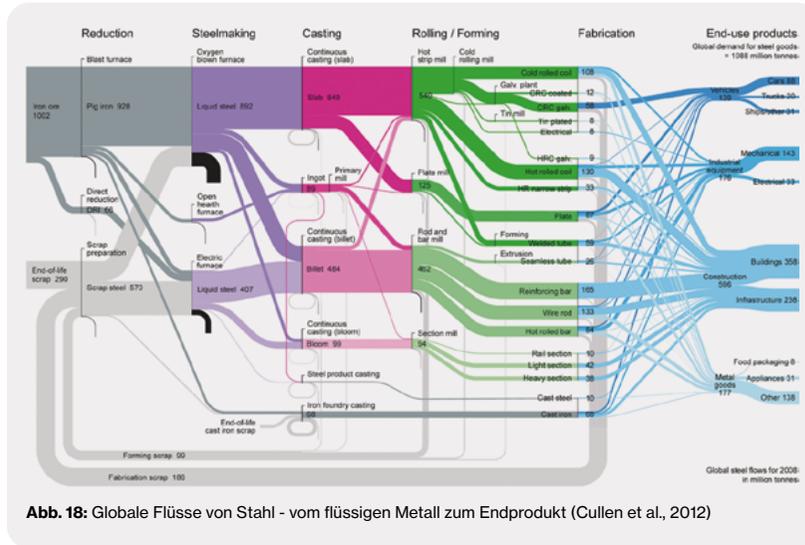
Zusätzlich können je nach Bedarf weitere Elemente wie Chrom, Nickel, Mangan oder Wolfram beigemischt werden, um spezifische Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit, Härte oder Hitzebeständigkeit zu erreichen (BERNS & THEISEN, 2008; CONEJO ET AL., 2020; CRAIG ET AL., 1996).

HISTORISCHES

Frühe Funde der menschlichen Nutzung von Eisen lassen sich auf mehr als 5000 Jahre zurückdatieren. In der altägyptischen Zivilisation wurden bereits eisenhaltige Meteoriten-Gesteine für kulturelle Zwecke verwendet. Wie der Werkstoff zu Stahl weiterverarbeitet wird, wussten Menschen im Nahen Osten bereits vor etwa 3400 Jahren.

Jener Zeitpunkt, ab dem Eisen zur Herstellung von Schneidklingen und Gerätschaften während der Ur- und Frühgeschichte verwendet wurde, markiert den Beginn der Eisenzeit. Sie begann im Nahen Osten vor etwa 3200 Jahren und reicht bis in das Frühmittelalter.

Erst durch die Entwicklung von Hochöfen im 14. Jahrhundert konnte man Eisen für komplexere Produktionsprozesse länger flüssig halten. Die Technik



dieser Öfen wurde immer wieder durch Innovationen vorangetrieben: Während man im 17. Jahrhundert noch vier Tonnen Holzkohle für eine Tonne Roheisen benötigte, benötigt man heute weniger als eine halbe Tonne Koks- und Kohle (MAIER-BODE, 2005).

→ Regionalgeschichte

In Österreich gibt es heute mehr als 130 metallverarbeitende Betriebe in der Region des Eisenwurzes (so die Bezeichnung für das Dreiländereck zwischen Niederösterreich, Oberösterreich und der Steiermark) wie zum Beispiel Welscher Profile, Busatis, Seisenbacher oder Forster, die auch am Weltmarkt vertreten sind (LUEGER & POSCH, 2015). Eisenerz wird am Erzberg abgebaut und hat bis heute Spuren in der Region hinterlassen: So ist die Gegend gespickt von Hammerwerken, großen Herrenhäusern und kleinen Schmieden.

Der historische Name der Eisenwurzten bezieht sich auf das Verständnis, dass das Eisen im Berg wurzelt und darin wächst, wie eine Pflanze. Genauso ist die Infrastruktur, die im Berg mündet, ein wurzelartiges System: der Berg selbst ist der Rohstofflieferant, die Wälder sorgen für die benötigte Energie und das Wasser für den Antrieb der Maschinen und als Transportmittel.

Die Innerberger Hauptgewerkschaft (Gründung: 1625) hatte als frühkapitalistischer Konzern 20–40% der österreichischen Eisenerzeugung unter Kontrolle. Eisen wurde von dort bis ins Baltikum und Südeuropa exportiert, wichtige Handelszentren wie Venedig fungierten als Tauschorte. Eisenstraßen und Handelswege wurden damit auch zu wichtigen Straßen kulturellen Austausches. Der Erzberg gilt noch bis heute als der „Brotlaib der Steiermark“. (LEIDNITZIG & PEKNY, 2015).

→ Produktion in Österreich:

Linz – Donawitz

Die Produktion von Stahl in Österreich durch die Voestalpine Stahl GmbH in Linz beginnt mit der Herstellung von Roheisen. Dafür werden täglich über 20 000 Tonnen Eisenerz verwendet, etwa 25% davon werden direkt aus dem Erzberg abtransportiert. Weiteres benötigtes Material wird vorwiegend aus der Ukraine, Südafrika und Brasilien importiert. Der Standort Donawitz am Fuße des Erzberges benötigt Importe von etwa 5 000 Tonnen Erz täglich (VOESTALPINE STAHL GMBH, 2023a, 2023b). Im Jahr 2020 produzierte die Voest in ihren fünf Hochöfen etwa 6,5 Mio. Tonnen Rohstahl (VOESTALPINE STAHL GMBH, 2023a). Die Produktion dieser Mengen ist für ca. 15% des Treibhausgasausstoßes Österreichs verantwortlich. Ausgehend vom Jahr 1990 ist der jährliche Treibhausgasausstoß der österreichischen Stahlindustrie sogar um 42% bis 2020 gestiegen (UMWELTBUNDESAMT, 2023).

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

Der jährliche Input an Eisen und Stahl in Österreichs Materialbestände betrug 2020 etwa 3,5 Mio. Tonnen, das entspricht ca. 400 kg pro Kopf und Jahr (Berechnung nach Daten von KRAUSMANN & FRIEDRICH (2024). In den österreichischen Materialbeständen haben sich derzeit etwa 10 Tonnen pro Kopf akkumuliert, weltweit beträgt diese Zahl etwa 4,1 Tonnen pro Kopf.

CULLEN ET AL. (2012) rekonstruierten die globalen Materialflüsse in der Stahlproduktion für das Jahr 2008 (Abb. 18): Trotz Behauptungen der Stahlindustrie, dass Recycling in der Stahlindustrie eine

wichtige Rolle spielt, bestehen nur 35% des Inputmaterials aus Produktions- und End-of-life Abfällen. Zwar wird für die Stahlproduktion aus Schrott nur etwa ein Achtel derjenigen Energie benötigt, die für die Produktion aus Eisenerz gebraucht wird – hauptsächlich in Form von Strom, nicht in Form von Kohle für die Produktion aus Eisenerz. Dieser Vorteil führt zu hohen Recyclingraten (weltweit etwa 80–90%). Schrott kann jedoch nicht den Rohstoffbedarf des Sektors allein decken, denn die Nachfrage und Produktion übersteigen das Angebot an Schrott deutlich. Man kann sich also nicht darauf verlassen, dass Recycling allein die Emissionen des Sektors reduzieren kann (IEA, 2022).

Es geht vor allem um eine Senkung der Nachfrage durch Reduktion des Verbrauches. Hier kommt dem Bausektor eine bedeutende Rolle zu, er verbraucht ca. 50% des produzierten Stahls (CULLEN ET AL., 2012; WORLD STEEL ASSOCIATION, 2023b).

Mit einer Gesamtabbauemenge von 12,84 Mio. Tonnen und einer Erzproduktion von rund 3,3 Mio. Tonnen, die 12% über dem geplanten Wert lag, hat die Eisenerzproduktion in Österreich im Jahr 2021 einen historischen Höchststand seit 1984 erreicht (BMF, 2023). Der Abbau des steirischen Erzes bleibt wirtschaftlich vertretbar, weil sich seine basischen Eigenschaften für den Ausgleich oft saurer Import-Erze eignen (WIELAND, 1994).

Die Kohle, welche für die Koksproduktion nötig ist, wird zur Gänze importiert. Der weltweite Verbrauch von Koks durch die Stahlindustrie beträgt etwa eine Milliarde Tonnen. Dies entspricht etwa 15% des weltweiten Kohlekonsums (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2023a).

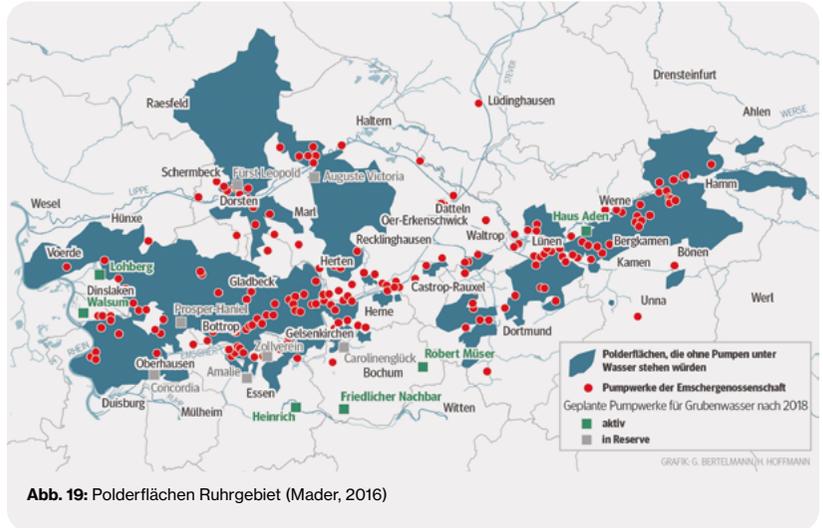


Abb. 19: Polderflächen Ruhrgebiet (Mader, 2016)

70% der Stahlproduktion sind noch auf hohe Mengen Kohle angewiesen, die restlichen 30% werden mithilfe von Elektrolichtbogenöfen erzeugt. Kohle findet sich jedoch noch häufig im dafür benötigten Strommix (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2023a; YELLISHETTY ET AL., 2010).

Historische Quellen zur Stahlproduktion im Ruhrgebiet durch die Firma Krupp (Herkunft des Spannstahls) verdeutlichen mehrere Aspekte der Umweltauswirkungen der Stahlproduktion, die im Kern noch heute von Relevanz sind. Während der industriellen Revolution wurden 600 Liter Wasser für die Produktion von einer Tonne Stahl benötigt. Dieser hohe Wasserbedarf der Industrie veranlasste die Betriebe, Wasser aus dem Grundwasser zu pumpen. Ende des 19. Jahrhunderts ergab ein Gutachten eines Sachverständigen, dass der Bau von Dämmen erforderlich war, um die durch die Pumpwerke verursachten Schwankungen des Wasserstands

zu regulieren. So wurde mit dem Bau von insgesamt acht Talsperren begonnen, die mehr als 32,4 Mio. Kubikmeter speichern konnten (REINKEMEIER & SCHANBACHER, 2016)

→ *Ewigkeitskosten*

Zusätzlich hat sich im Ruhrgebiet die Erdoberfläche bis zu 25 Meter abgesenkt. Die Innenstadt Essens liegt beispielsweise 16 Meter tiefer als früher. Es zeigt sich, dass die Produktion von Stahl mit erheblichen, dauerhaften Veränderungen der Landschaft behaftet ist. Damit stehen jedoch nicht „nur“ ökologische Probleme in Verbindung, sondern auch ökonomische, sowie Fragen der Gerechtigkeit. Der Kohlebergbau im Ruhrgebiet, dessen Produkte unter anderem für die Stahlindustrie der Region immanent sind, verdeutlicht das Problem von Altlasten und sogenannten Ewigkeitskosten. Fast die Hälfte des Ruhrgebiets liegt heute

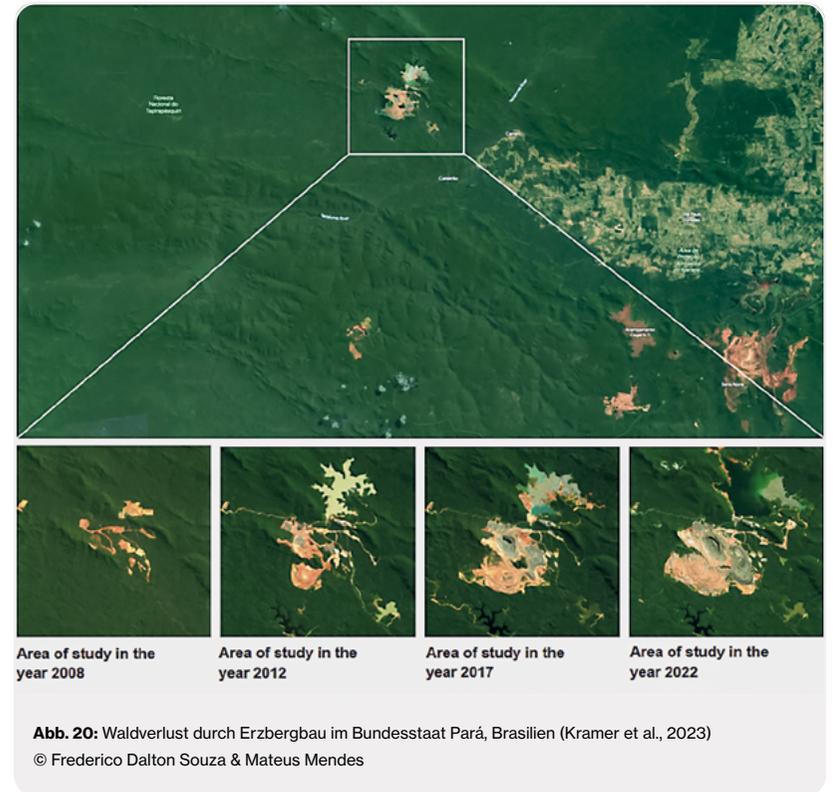


Abb. 20: Waldverlust durch Erzbergbau im Bundesstaat Pará, Brasilien (Kramer et al., 2023)
© Frederico Dalton Souza & Mateus Mendes

etliche Meter unter dem Grundwasserspiegel. Mehr als 100 Pumpwerke müssen dauerhaft in Betrieb gehalten werden. Das Wasser wird in die eingedeichtete Emscher gepumpt. Solange das Ruhrgebiet bewohnbar bleiben soll, ist das Abpumpen großer Wassermengen und die Sicherung von Stollenanlagen auf „ewig“ nötig. Ansonsten würde sich das Gebiet in eine Seenplatte verwandeln. Dafür sind momentan Kosten von etwa 260 Mio. Euro pro Jahr als „Ewigkeitskosten“ zu budgetieren (MADER, 2016). Diese werden zwar von einer Stiftung getragen, ob

diese die Finanzierung unendlich lange aufrechterhalten kann, bleibt jedoch eine offene Frage.

→ *Schadstoffbelastung*

Zusätzlich lagern in den Stollen und Gruben giftige Stoffe – etwa mit Asbest versetzter Zement, Flugasche aus Entschwefelungsanlagen und Hydrauliköl, das PCB-Kunststoffe enthält, die als krebserregend gelten und seit 2001 weltweit verboten sind (CHRISTOPH, 2023).

In Österreich zeigten Untersuchungen, dass die Werte von Schwefel,

PCB, PCDD/F und Schwermetallen an Fichtennadeln im Zeitraum 1985–2001 in der näheren Umgebung des Werks Donawitz gegenüber unbelasteten Gebieten erhöht sind. Für Schwefel und Schwermetalle ist dies das am stärksten belastete Gebiet Österreichs. Zwar kann man die Abnahme des Schwefel-, Eisen-, Blei-, Cadmium-, und Zinkgehalts in den Nadeln im Bezirk Leoben im Zeitraum 1995 bis 2001 positiv bewerten. Als äußerst problematisch sind weiterhin die hohen Quecksilbergehalte in Moosen und Fichtennadeln einzustufen. Die Schwermetallfreisetzung (Chrom, Blei, Cadmium) der Halden durch Staubentwicklung stellt ein weiteres Problem dar (WINKLER, 2012).

→ *Auswirkung auf schützenswerte Ökosysteme*

LUCKENEDER ET AL. (2021) zeigen auf, dass die erhöhte Extraktion von Metallen zu einem großen Teil in schützenswerten Gebieten stattfindet. Fast 80 % der weltweiten Metallgewinnung im Jahr 2019 fand in den artenreichsten Biomen der Welt statt, 90 % der Abbaustätten befanden sich in Gebieten mit relativer Wasserknappheit, und fast 50 % der Gewinnung erfolgte in weniger als 20 km Entfernung oder sogar innerhalb von Schutzgebieten.

Eine Studie über das brasilianische Amazonasgebiet hat gezeigt, dass der Bergbau die Entwaldung in einer Entfernung von bis zu 70 km von den Bergbaugebieten verursacht und dass die indirekte Entwaldung durch Infrastrukturausbau für Transport und Energie und damit eng in Verbindung stehendes Siedlungswachstum 12-mal höher ist als der Waldverlust innerhalb der Bergbaugebiete an sich (GILJUM ET AL., 2022).

Die höchsten Zuwächse bei der weltweiten Förderung werden für Eisen- und Manganerze gemeldet. Im Jahr 2019 wurden mehr als 75 % des Eisenerzes entweder in tropischen Regenwäldern, subtropischem Grasland, Savannen und Buschland oder Wüstenbiomen abgebaut – allesamt Hotspots der Biodiversität. Im Vergleich zu anderen Metallen hat sich speziell der Abbau von Eisenerz in diesen Gebieten vermehrt (GILJUM ET AL., 2022).

Abbildung 20 verdeutlicht diese Dynamik bildlich. Die Eisenerzmine in der Region Carajás im brasilianischen Bundesstaat Pará befindet sich im Schutzgebiet Tapirapéaquiri und scheint 2008 eröffnet worden zu sein. Bis heute hat sie sich ausgedehnt, und zu einer Abholzung von über 25 km² geführt (KRAMER ET AL., 2023).

GRANIT

„Zu den ältesten Gebilden unserer festen Erdrinde rechnet man in erster Linie den Granit. Er spielt in Wien eine Hauptrolle als Pflasterungsmaterial, und liefern die grossen an der Donau gelegenen Steinbrüche von Mauthausen jährlich unglaubliche Massen davon in unsere Stadt. Aber auch in grossen Quadern für den Haus- und Brückenbau gelangt dieser Granit zur Verwendung, [...] Seine Festigkeit, Tragfähigkeit und Wetterbeständigkeit ist bekannt; selbst seine Politur widersteht dem Einflusse der Witterung und ist derselbe daher als Sockelstein besonders brauchbar.“

KARRER, F. (1886) *Die Monumentalbauten in Wien und ihre Baumaterialien*. Außerordentliche Beilage zu den Monatsblättern des Wissenschaftlichen Club in Wien. Nr. 6, Jg. VII, S. 56.

MINERALOGISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Die Farbe von Granit erscheint in der Gesamtheit hell, ist bei genauerer Betrachtung aber abwechslungsreich und von rosa, weiß-grauer, grünlicher, gelblicher, dunkelgrauer oder blau-weißer Farbe. Die helle Gesteinsfarbe ist vor allem auf die im Gestein vorhandenen Orthoklas-Feldspäte (Anteil 35 bis 90 %) zurückzuführen, die als Hauptgemengeteil (mengenmäßig im Gestein dominierendes Mineral) neben Quarz (Anteil zwischen 20 bis 60 %) und dunklem Glimmer (Biotit) definitionsgemäß einen Granit aufbauen. Zusätzliche Bestandteile können fallweise Plagioklas, Muskovit (heller Glimmer), Amphibol und Augit sein (PURLE, 2024).

HISTORISCHES

Bei Granit handelt es sich um ein semantisch stark aufgeladenes Material. Besonders Johann Wolfgang von Goethe nutzte diese Symbolik in „Über den Granit“, um philosophische und naturwissenschaftliche Überlegungen auszudrücken. Das Werk wurde als Teil seiner Italienischen Reise posthum 1878 veröffentlicht. Er beschäftigt sich darin intensiv mit geologischen Fragen, insbesondere mit der Entstehung und Anordnung von Gesteinen, deren Vorkommen und Anordnung im Gebirge, darunter auch Granit. Seine geologischen Studien waren eng verbunden mit philosophischen Überlegungen über Natur und Schöpfung: Er entwickelte die

Vorstellung, dass alle Gesteine Kristallisationsprodukte eines „Urmeeres“ wären, das von Gott geschaffen wurde (STEINE & MINERALIEN, 2023). Goethes Beschäftigung mit dem Granit wirkte bis in die Zeit des Nationalsozialismus, in der eine wahre Granit-Ideologie entstand und eines der dunkelsten Kapitel in der Geschichte des Gesteins überhaupt einsetzte. So wurde eine Wesensverwandtschaft zwischen dem Granit und dem deutschen Volk postuliert, und der oftmals unter menschenunwürdigen Bedingungen von KZ-Häftlingen in Konzentrationslagern abgebaute Stein fand bevorzugt im Totenkult und in der Memorialarchitektur der Nationalsozialisten Verwendung. Auch findet Granit häufig Anwendung in Grabanlagen. Dabei ist davon auszugehen, dass die assoziierten Attribute der Langlebigkeit und Festigkeit Teil der Erinnerungskultur sind.

→ *Entstehungsgeschichte*

Granit zählt zu den magmatischen Gesteinen und ist besonders für seine außergewöhnliche Härte bekannt – „auf Granit beißen“ ist nicht zufällig eine Redewendung für aussichtslose Umstände. Das Gestein entstand durch das langsame Erstarren von heißem Magma in der Erdkruste und zählt dadurch zu den Tiefengesteinen, die mit freiem Auge erkennbare Kristalle (Feldspat, Quarz und Glimmer) bilden. Die Entstehungsgeschichte ist zumeist mit tektonischen Plattenbewegungen verbunden: Durch das Auftürmen von Gebirgen gerät Magma in der Erdkruste in Bewegung und erstarrt dort langsam, mehrere Kilometer unter der Erdoberfläche, bei hohen Temperaturen. Der Abkühlungsprozess kann 10 bis 15 Mio.

Jahre andauern und unterscheidet sich darin ganz wesentlich von Gesteinen, die unmittelbar nach Vulkanausbrüchen an der Oberfläche erstarren. Das Tiefengestein Granit gelangt erst durch Hebung und Abtragung überlagernder Gesteine an die Erdoberfläche.

Bei 44% aller Tiefengesteine auf dem Globus handelt es sich um Granite, zu Tage kommen sie vor allem in Mittelgebirgen. Durch dessen Dichte und Quarzgehalt ist Granit besonders hart, da Quarz auch als das härteste Mineral gilt. Der Stein wird gern als belastbares, abriebfestes und chemisch beständiges Material eingesetzt, wie für Pflastersteine oder den Mauerbau. Im Innenraum wird Granit oft als Bodenbelag für besonders strapazierte Untergründe verwendet, wie an Flughäfen oder als Fassadenverkleidung. Der Name findet seinen Ursprung im lateinischen Ausdruck für Korn: *granum* – und beschreibt dessen körniges Aussehen (PURLE, 2024). Generell gibt es vier Arten von Granit, die nach dem Ursprung des Magmas unterschieden werden. Gekennzeichnet werden sie durch **I** (magmatisch, gebildet zwischen dem Berührungspunkt des Erdmantels mit der inneren Kruste), **S** (sedimentär, geschmolzenes Sedimentgestein an der oberen Erdkruste), **A** (anorogen, steht nicht mit kompressiven Strukturen im Zusammenhang) und **M** (Mantel, diese Art von Granit entsteht aus den Magmen des Erdmantels) (COSENTINO, 2023).

Ungeachtet ihrer generellen Beständigkeit verwittern Granite in geologischen Zeiträumen durch die Wirkung meteorischer Wässer, die in Oberflächennähe eindringen. Damit einher geht eine leichte Farbänderung der Eisenverbindungen in den Feldspatkristallen, wodurch der Granit

zunehmend gelbliche Farbtöne aufweist. Wenn Granit an der Erdoberfläche über Jahrtausende verwittert, wird er zum Tongestein, wobei sich insbesondere das weiße Tonmineral Kaolinit bildet, das für die Porzellanproduktion wichtig ist (MARESC ET AL., 1996; CHEMIE.AT, 2023).

→ *Historischer und zeitgenössischer Abbau und Nutzung*

Der Abbau von Granit lässt sich bis auf das 3. Jahrtausend vor der Zeitenwende in Ägypten zurückführen. Rosengranit wurde aus den Steinbrüchen Assuans gewonnen und für bis heute bestehende Repräsentationsbauten, Monumentalskulpturen oder auch rituelle Gefäße verwendet. Der Großteil der ägyptischen Steinbaukultur fand noch in der Bronzezeit statt und kam daher auch ohne Eisen aus. Als Werkzeuge dienten Meissel aus Hartgestein (Dolorit) oder auch Sägen und Bohrer mit Kupferklingen und Quarzsand als Abrasiv. Bei ihnen diente das Kupfer als Führung, während der Schnitt (bzw. der Abrieb) durch den Quarzsand vollzogen wurde (STOCKS, 2003). Es wird angenommen, dass in Ägypten bis zur Zeitenwende schon etwa 220 000 Kubikmeter Granit abgebaut wurden (VON RAUCHHAUPT, 2023). Während Granit im Römischen Reich noch häufig als Baustoff Verwendung fand, verschwand er nach dessen Ende aus der Baukultur Europas. In Mitteleuropa kam Granit erst im Zuge der Industrialisierung und den durch sie veränderten Abbaubedingungen wieder zu Bedeutung.

Die Gegend um Hauzenberg im Bayerischen Wald gilt als größtes aktives Granitabbaugebiet Deutschlands. Zehn Steinbrüche schlagen jährlich etwa 500 000 Kubikmeter Gestein mit

diamantbesetzten Seilen aus den Bergen. Vor hundert Jahren lebten in der Region Hauzenberg mehr als 12 000 Menschen vom Granit, heute sind es etwa 500. Seit den 1980er Jahren wird Granit in Deutschland zunehmend aus China importiert. Dabei wird einem Kubikmeter Granit ein CO₂-Ausstoß von etwa 72 Kubikmetern gegenübergestellt. Der bayerische Granit wird seit dem Spätmittelalter genutzt, der Oberflächenabbau wurde allerdings erst nach den Napoleonischen Kriegen im Zuge der Industrialisierung intensiviert. Während der Zeit des Königreichs in Bayern stieg die Nachfrage nach repräsentativen Bauten in der Gegend um das Museum signifikant. Aus dieser Bautradition wurde Granit zum deutschnationalen Gestein erhoben. Zuvor, um 1500, wurden Granitsäulen aus dem Altertum in der Renaissance eingesetzt. Säulen waren überwiegend aus Marmor oder Travertin gefertigt, da der Granit durch seine Härte als schwer zu bearbeiten galt. Bauteile aus Granit können gut wiederverwendet werden, jedoch kaum adaptiert. Römerzeitliche Granitgruben (wie auf Elba oder Giglio) wurden im Mittelalter höchstens lokal und begrenzt genutzt, das Wissen rund um die Gewinnung und Verarbeitung im Westen im 4. oder 5. Jahrhundert nahezu völlig verloren. (MARMIROSSI, 2023).

Für den Abbau in der vorindustriellen Zeit wurden die Granitvorkommen angebohrt und mit Schwarzpulver aus dem Berg gesprengt. Die abgesprengten Brocken wurden anschließend händisch gespalten. Die Steinbrecher hatten meist ein Gespür für den Stein und schöpften aus ihrem Erfahrungsschatz bei den Abbauarbeiten. Bis 1950 war die Arbeit im Granitsteinbruch von körperlicher

Schwerarbeit geprägt, doch die zunehmende Mechanisierung erleichterte die Industrie und deren extrem harte Arbeitsbedingungen, denn bei der Arbeit in den Steinbrüchen kam es oft zu Todesfällen. Auch schwerwiegende gesundheitliche Folgen, wie Silikose-Erkrankungen durch die hohe Staubbelastung, waren gängig (VON RAUCHHAUPT, 2023).

→ *Steinbrüche im KZ Mauthausen*

Dokumente aus dem Archiv der ASFINAG zeigen als Lieferant für den Granit der Praterbrücke das „Granitwerk Anton Poschacher“. Heute existiert die Firma als Poschacher Natursteinwerke GmbH mit Firmensitz in Langenstein, dem Nachbarort von Mauthausen. Das Konzentrationslager Mauthausen war das größte KZ der Nationalsozialisten auf dem Gebiet Österreichs. In Mauthausen und seinen Außenlagern waren zwischen 1938 und 1945 insgesamt etwa 190 000 Menschen inhaftiert. Mindestens 90 000 von ihnen starben durch die lebensfeindlichen Bedingungen in den Lagern oder durch systematische Ermordung. (KZ GEDENKSTÄTTE MAUTHAUSEN, 2024 II)

Bereits zwei Wochen nach dem „Anschluss“ Österreichs an das Deutsche Reich wurde die Errichtung des Konzentrationslagers Mauthausen verkündet. Die Wahl des Standortes entspricht der damaligen Strategie der SS, Konzentrationslager gezielt für die Baustoffindustrie zu errichten, um Hitlers monumentalen Bauprojekten nachzukommen. 1938 wurde dafür die „Deutsche Erd- und Steinwerke GmbH“, kurz DEST, gegründet. Ihre Niederlassung „Granitwerke Mauthausen“ entwickelte sich zur größten und ertragreichsten

der gesamten DEST. (KZ GEDENKSTÄTTE MAUTHAUSEN, 2024 I & II)

Die DEST ließ durch Zwangsarbeit Gestein von vier Steinbrüchen in Mauthausen und Umgebung abbauen: Wiener Graben, Kastenhof, Pierbauer und Gusen. Der in der Praterbrücke verbaute Granit stammt aus keinem dieser Steinbrüche. Anton Poschacher jedoch war NS Parteimitglied und Pächter jenes Steinbruchs in Gusen, dessen Pachtrecht dann an die DEST weitergegangen ist. (KZ GEDENKSTÄTTE MAUTHAUSEN, 2024 III) und in dessen unmittelbarer Nähe das Zweiglager Gusen errichtet wurde. Ab 1940 waren im KZ Mauthausen spanische Kriegsgefangene, die aus Frankreich nach Mauthausen und Gusen deportiert wurden und als Zwangsarbeiter in den Steinbrüchen und anderen Abteilungen der Lager interniert waren. 1943 kam es zu einer Übereinkunft zwischen dem SS-Hauptsturmführer Georg Bachmayer und Anton Poschacher, auf dessen Basis etwa 50 jugendliche spanische Zwangsarbeiter fortan in den firmeneigenen, bei Mauthausen gelegenen Steinbrüchen von Poschacher arbeiten würden. Sie waren innerhalb des Konzentrationslagers untergebracht, arbeiteten aber in den Steinbrüchen unter Zivilisten und waren gegenüber den anderen Lagerinsassen auch hinsichtlich Ernährung und genereller Behandlung deutlich besser gestellt. Den sogenannten „Poschacher Jungs“ wurde ein Gehalt zugesprochen, das von Anton Poschacher jedoch nicht ausgezahlt, sondern mit dem Verweis, dass sie es nach dem Ende des Krieges erhalten würden, auf ein Konto deponiert wurde. (PIKE, 2000) Andererseits war Mauthausen von den



Abb. 21: „Gusen II: Der Steinbruch“. Zeichnung des französischen Häftlings Bernard Aldebert, o. J. (1945/46) (KZ-Gedenkstätte Mauthausen / Sammlungen)

Nationalsozialisten als Konzentrationslager „für schwerbelastete, unverbesserliche und auch gleichzeitig kriminell vorbestrafte und asoziale, das heißt kaum noch erziehbare Schutzhäftlinge“ in die Lagerstufe III eingeteilt worden. (MARŠÁLEK, 1974) Ein Überleben durch ein potientes Ende des Krieges war von Seiten der SS daher nicht vorgesehen.

Teile der spanischen KZ-Häftlinge waren in einer kommunistischen Widerstandsbewegung aktiv. Der Gruppe gelang es, zahlreiche offizielle SS-Photographien aus dem Lager zu schmuggeln, die in den letzten Kriegstagen vernichtet worden wären. Da sie sowohl im SS-Erkennungsdienst im Fotolabor des KZ Mauthausens tätig waren, als auch in der

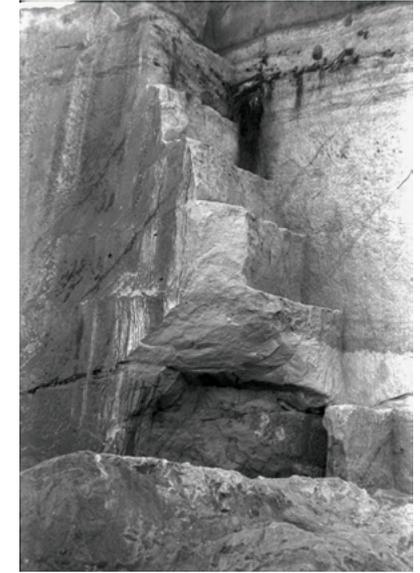


Abb. 22: ©MHC-Fons Amical de Mauthausen

Desinfektionsabteilung, wo sie Negative und Abzüge in die Kleidung einnähten, waren sie in der Lage, systematisch Bildmaterial über die SS-Greuel zu sammeln und aus dem Lager zu schmuggeln. Eine besondere Rolle kam dabei Francisco Boix zu, der als Fotolaborant heimlich zusätzliche Abzüge produzierte. Die Poschacher Jugend war aufgrund ihrer größeren Bewegungsfreiheit maßgeblich daran beteiligt, dass die Bilder der Mauthausener Widerstandskämpferin Anna Pointner übergeben werden konnten. Das Material war in den Nürnberger Prozessen von essentieller Bedeutung. (BRENNEIS, 2018 / GRAF, 2015)

ASPHALT

*„Ich verlange von einer Stadt, in der ich leben soll:
Asphalt, Strassenspülung, Haustorschlüssel, Luftheizung,
Warmwasserleitung. Gemütlich bin ich selbst.“*

KARL KRAUS: *Schriften*, herausgegeben von CHRISTIAN WAGENKNECHT. Band VIII, S. 20. Frankfurt am Main, 1986.

*„Die Felgen spiegeln sich im Asphalt, bis der Asphalt brennt
Du siehst die Stadt bei Nacht, so lange, bis der Asphalt brennt
Der Stein is' nur so lange kalt, bis der Asphalt brennt
Ich rapp' für meinen Bezirk, so lange, bis der Asphalt brennt“*

BUSHIDO: *Asphalt*, ft. FLER. Aus dem Album vom *Boardstein bis zur Skyline*. Aggro Berlin, 2003/2018.

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Asphalt ist ein Gemisch aus Bitumen und Mineralstoffen (Sand, Splitt etc.), das hauptsächlich für den Straßen- und Wegebau eingesetzt wird. Für die Herstellung von Asphalt werden mineralische Gesteinskörnungen (ca. 95 %) wie Sand oder Splitt mit Bitumen als Bindemittel und Zuschlagstoff (ca. 5 %) sowie mit Luft vermischt. Bitumen haftet am besten an basischem Gestein, daher wird in der Regel oft noch Kalkstein als Füllstoff verwendet (PARTL, 2011).

Größtenteils wird Asphalt in Asphaltmischanlagen aufbereitet und gemischt, die jedoch stationär oder mobil ausgeführt werden können. Asphalt wird vorwiegend im Heißverfahren verarbeitet, was

bedeutet, dass die Zuschlagstoffe Gestein und Bitumen auf etwa 180 °C erhitzt werden müssen, und die Lagerung, der Transport sowie auch der Einbau und die Verdichtung heiß durchzuführen sind (BLEIER, 2013). Wasser entweicht in Form von Dampf, wodurch glatte Flächen entstehen. Je nach Schicht kann bei der Asphaltproduktion auch Ausbauasphalt als Recyclat beigemischt werden. Das Kreislaufpotenzial von Asphalt ist grundsätzlich hoch und eine Verwertung wird in Österreich fast zu 100 % durchgeführt. Allerdings handelt es sich dabei meistens um Downcycling, da Asphaltbruch häufig als technisches Schüttgut und Tragschichtmaterial wieder eingesetzt wird (ACHATZ ET AL., 2021).

Bitumen, poetischer Erdpech genannt, wird aus Erdöl unter Einwirkung von Hitze und Druck gewonnen. Bei Temperaturen von 350–400 °C scheiden sich in einem Destillationsprozess leichter Bestandteile wie Methan-, Ethan-, Butan-, Propan-Gase, Leichtbenzin, Kerosin aufgrund ihrer unterschiedlichen Siedetemperaturen ab. Das verbleibende Gasöl wird einem zweiten Röhrenofen zugeführt. Bitumen als schwerster Bestandteil sammelt sich dabei am Boden des Destillationsgefäßes.

Es ist ein dunkelfarbiges, zähflüssiges, klebriges, wasserabstossendes und gegen Chemikalien (Säuren, Laugen) und Lösemittel wie Alkohol und Wasser weitgehend unempfindliches Kohlenwasserstoffgemisch, bestehend aus 80–88 % Kohlenstoff, 7–11 % Wasserstoff mit geringen Anteilen an Schwefel (0,5–7 %), Sauerstoff (1–12 %) und Stickstoff (< 1,5 %) (PARTL, 2011).

HISTORISCHES

Welcher Straßenbelag ist der Beste, um Lärmbelastung und Staubbelastung zu reduzieren und Räder zu schonen? Die Diskussionen im 19. Jahrhundert um Vor- und Nachteile von Asphalt, Kiesel und Pflaster gestalteten sich lebhaft. Tatsächlich waren beschotterte Wege äußerst staubig und schmutzig und verwandelten sich bei Regen in Schlammflächen, während Pflastersteine zu einer hohen Lärmbelastung in den Innenstädten führten und oftmals Reifen beschädigten (HOLZAPFEL, 2018; LAY, 1994). Die Tatsache, dass ab 1837 die Trottoirs der Pariser Innenstadt versiegelt waren, wurde zu einer wichtigen Metapher: die

Bürger*innensteige Europas wurden zuallererst asphaltiert (BENJAMIN, 1983). Der Basler Ingenieur André Merian entwickelte letztlich das Verfahren, den Asphalt mittels Walzen zu komprimieren, ab den 1850er Jahren wurde diese Technik in europäischen Großstädten angewendet (LAY, 1994). Als Vorläufer der asphaltierten Straße gilt die Makadam Straße aus drei Schichten Schotter, die zwar selbstentwässernd war, aber mit zunehmender Motorisierung einer teergebundenen Schicht zur Staubverminderung bedurfte (WIKIPEDIA, 2023b, 2023a).

Asphalt konnte sich langfristig durch geringe Wartungskosten und niedrige Baukosten durchsetzen, das größte zeitgenössische Kontra-Argument war das Wohl der Zugpferde. In der Überland-Infrastruktur spielten Eisenbahnen vorerst die maßgebliche Rolle, Landstraßen gewannen erst mit zunehmender Mobilisierung an Bedeutung (LAY, 1994).

Anders als beim Asphalt, dessen Bindemittel Bitumen aus Erdöl gewonnen wird, findet Teer seinen Ursprung in der Steinkohle, die in Deutschland seit 1984 für den Straßenbau verboten ist. Äußerlich unterscheiden sich die Stoffe nur geringfügig, Bitumen ist jedoch schwärzer und neutraler, während Teer leicht süßlich riecht und eine eher braune Farbgebung hat. Er entsteht bei der Verkokung (Entgasung unter Luftabschluss) von Steinkohle. (PARTL, 2011)

Beim sogenannten „Teeren und Federn“ wurde übrigens Holzteer verwendet, der wiederum ein Nebenprodukt der Holzkohleherstellung ist.

→ *Kulturhistorisches*
Das Material wurde, wie die einführende

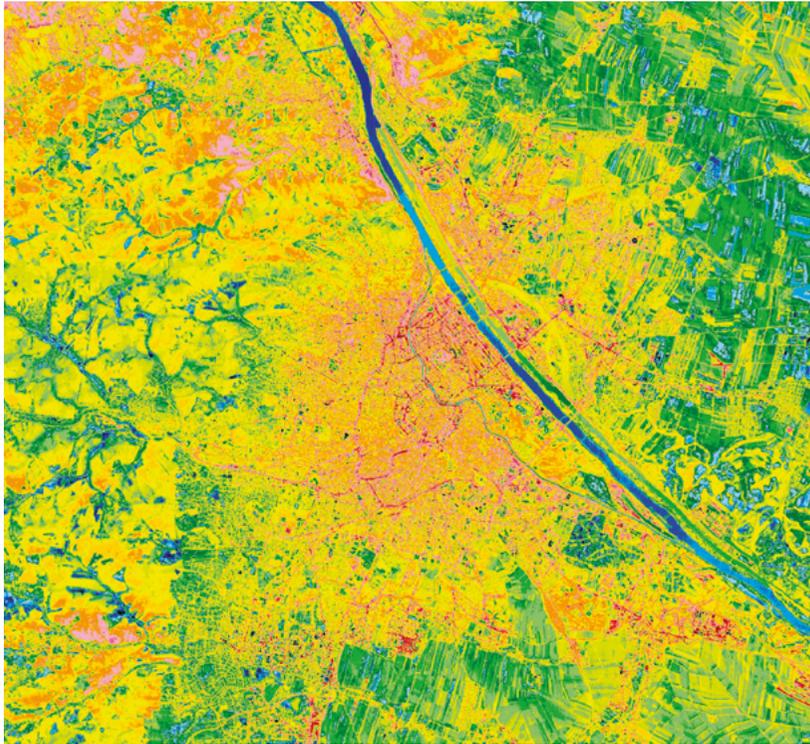


Abb. 23: Abendliches Thermalbild der Stadt Wien und des Umlands (Brandenburg et al., 2015).

© Stadt Wien – Umweltschutz

Gegenüberstellung von Bushido mit Karl Kraus zeigt, sowohl negativ als auch positiv konnotiert. Die Eigenschaft, den Staub der Stadt einzudämmen und Lärm zu minimieren, war bei Einführung asphaltierter Straßen sehr sinneseindrücklich und wurde in einer hektischen Großstadt mit dem Fortschritt gleichgestellt. Gleichzeitig wurde er von Anfang an zum Symbolbild für die Kritik am Stadtleben. Asphalt ist gleichermaßen bedeutsam als Baustoff und als Diskurselement in Literatur und Kunst (WÖRNER, 1998). Die Nationalsozialisten, die eine starke anti-urbane Tendenz

hatten, verwendeten Asphalt als Metapher für die jüdisch-demokratische Zivilisation und die durch sie verursachte angebliche Wurzellosigkeit der Großstadt. Sie führten den Begriff der „Asphallliteratur“ ein, die entgegen der idealisierten deutschen Kultur gesehen wurde (KRAMAR, 2023). Die Bezeichnung Asphalt ist auf das altgriechische Wort „ásphaltos“ zurückzuführen und benennt Erdharz bzw. Erdpech, das in Zusammenhang mit dem Wort „sphállō“, also „zum Fallen bringen“ steht. Asphalt wurde ursprünglich als Bindemittel im Mauerbau verwendet. (FRISK, 1960).

Zudem wurde er bereits 10 000 v. Chr. in Mesopotamien als Kitt für Waffen und Geräte sowie Farbe für Schmuck und Skulpturen nachgewiesen, später auch als Dichtungsstoff. Als Abdichtung von Bauwerken lassen sich Quellen bis auf vor 7 000 Jahren zurückführen. Im Alten Ägypten wurde Asphalt bei Mumifizierungen eingesetzt. Asphaltstaub wird für die Aquatinta Technik verwendet, die Lichtempfindlichkeit des Materials ermöglichte auch die Erfindung der Fotografie (SWISSASPHALT, 2023).

→ *Regionalgeschichte*

Die Böden in Wien waren lange unbefestigt und sumpfig. Pflasterstein konnte sich als Bodenbelag in der nach-römischen Zeit ab dem 11. Jahrhundert erstmals in Frankreich und Italien etablieren, später im 15. Jahrhundert auch in Deutschland. Darstellungen von Wiener Straßen zeugen bis ins späte 17. Jahrhundert nicht von Pflasterungen, lediglich Innenhöfe und andere spezielle Bereiche wurden mit Schotter versehen. Großflächig begann man die Stadt ab 1765 zu pflastern. Wenig später wurde der gesamte Innere Bezirk mit Pflastersteinen befestigt. 1938 waren 40 % der Straßenflächen im Wiener Stadtgebiet noch mit Schotter befestigt. Ab 1872 wurde begonnen, in Wien Asphaltbeläge für Gehsteige einzusetzen. Ab 1922 wurden Pflasterstraßen mit Asphalt bedeckt, 1938 waren jedoch erst etwa 3 % der Straßen asphaltiert. Methoden der Aufbringung und eingesetzte Asphaltmischungen wurden stetig adaptiert, insbesondere durch die zunehmende Industrialisierung. Vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg setzte der industrielle Straßenbau ein, die Stadt Wien förderte dies mit Vorschriften

– etwa, dass bei Häuser-Instandsetzungen Asphaltguss vor den Eingängen zu verwenden sei. Makadam Straßen erhielten alsbald Teerschichten, während Pflasterstraßen nach und nach ersetzt wurden. (HOLZAPFEL, 2018).

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

Der Verbrauch von Asphalt veranschaulicht den Unterschied zwischen Metabolismen reicher, industrialisierter Länder und jenen mit mittlerem oder niedrigem Einkommensniveau. Trotz seiner, für einen Baustoff, relativ jungen Geschichte macht Asphalt in Ländern des Globalen Nordens 20 % der Materialien im Bestand aus. Der Zuwachs an Asphalt in den anthropogenen Lagerstätten wird nur noch von Beton übertroffen. Länder mit niedrigerem Einkommensniveau weisen einen Asphaltanteil in den Beständen von nur etwa 1 % auf (PLANK ET AL., 2022).

→ *Asphalt und Mobilität auf fossiler Rohstoffbasis*

Das vornehmlich für den Straßenbau eingesetzte Material ist die Basis unseres Verkehrssystems. Aus einer sozialmetabolischen Perspektive binden sich reiche Staaten mit jeder der ca. 11,7 Mio. jährlich eingesetzten Tonnen Asphalt an ein Mobilitätssystem, dass mit der Verwendung fossiler Energien und Emissionen verbunden ist (VIRÁG ET AL., 2022).

„Österreich verbraucht derzeit jährlich etwa 400 000 bis 500 000 Tonnen Bitumen, daraus werden rund 10 Mio. Tonnen Asphalt hergestellt. Der volkswirtschaftlich [...] bedeutungsvolle Straßenbau und die Straßenerhaltung sind [...] vollständig auf das Importprodukt

Erdöl angewiesen und dadurch eng mit der Energiepolitik auf fossiler Rohstoffbasis verknüpft.“ (BLEIER, 2013). Zudem sind für die Verwendung von Asphalt im Straßenbau große Energiemengen nötig, um das Material im Heißverfahren verarbeitbar zu machen. Die Aufbereitung einer Tonne Asphalt erfordert rund 10 kg Heizöl (BLEIER, 2013).

→ *Bodenversiegelung*

Wie kein anderes Material steht Asphalt symbolisch für eine Disziplin, in der Österreich Europameister ist: Bodenversiegelung pro Kopf (WEBER, 2020). Zwischen 2018 und 2021 wurden in Österreich durchschnittlich rund 11,3 ha Boden pro Tag in Anspruch genommen. Die Hälfte davon wurde versiegelt (UMWELTBUNDESAMT, 2023), also luft- und wasserdicht verschlossen. Bis zum Jahr 2019 wurden 5700 km² Boden in Österreich verbraucht. Das entspricht rund 7 % der Landesfläche und 18 % des Dauersiedlungsraumes (FITZ ET AL., 2020). Die fruchtbarsten Böden in Österreich finden wir in oder in der Nähe von urbanen Ballungsräumen. Das hat historische Gründe – Menschen haben immer dort gesiedelt, wo sie fruchtbare Erde gefunden haben (DIETL, 2020). Es sind gerade diese Böden, die nun durch Stadtentwicklung und Bautätigkeit besonders unter Druck geraten.

Versiegelung schränkt die natürliche Habitatfunktion des Bodens ein, was in Folge zu Biodiversitätsverlust führt. Zudem geht die Funktion des Bodens, CO₂ zu speichern und Wasser zurückzuhalten, verloren. Letzteres ist in Bezug auf die immer häufiger werdenden Starkregenereignisse, in Folge des Klimawandels, ein Problem (TÓTH ET AL., 2022).

Die eingeschränkte Funktion zum Wasser- und Gasaustausch bei versiegelten Flächen führt auch zu einer geringeren Verdunstungsleistung.

Die Verdunstung von Wasser hat jedoch eine kühlende Wirkung auf das lokale Klima (FITZ ET AL., 2020). Versiegelte Flächen heizen sich meist stärker auf als Flächen mit Vegetationsbedeckung. Durch seine dunkle Farbe erreicht die Oberflächentemperatur von Asphalt bis zu 60 °C an heißen Sommertagen (BRANDENBURG ET AL., 2015).

Da Baumaterialien grundsätzlich eine höhere thermische Trägheit aufweisen, wirken sie als Wärmespeicher und geben vor allem an heißen Sommertagen bis spät in die Nacht Wärme ab. Dieser Effekt begünstigt die Entstehung urbaner Hitzeinseln. (*Abb. 23*)

Asphalt führt zu einer ungünstigen lokalen (in Summe gesamtstädtischen) Überhitzung. Begrünte Flächen heizen sich weniger stark auf und kühlen nachts stärker ab. Anhand einer Isothermenkarte für Wien lassen sich deutlich die Ausprägung sogenannter „hot points“ wie z.B. asphaltierte Parkplätze, Industriegebiete und Hauptverkehrsadern aber auch „cold points“ wie Parkanlagen, landwirtschaftliche Flächen und Gewässer ablesen (BRANDENBURG ET AL., 2015).

Während das langjährige Mittel der Temperatur im Stadtzentrum von Wien bei etwa 11 °C liegt, beträgt die Jahresmitteltemperatur im Wiener Umland 9,5 °C. Mit fortschreitender Klimakrise wird auch der Hitzeinseleffekt in Städten extremer.

→ *Asphalt und Luftverschmutzung*

Neueste Untersuchungen zeigen, dass Asphalt unter Erhitzung beträchtliche

Mengen an Kohlenstoffverbindungen und Schwefel ausstößt. Die Gesamtemissionen verdoppeln sich bei einem Anstieg der Temperatur von 40 °C auf 60 °C. Bei den freigesetzten Schadstoffen handelt es sich ausschließlich um kohlenstoffhaltige Chemikalien. Viele dieser Stoffe reagieren in der Atmosphäre zu sekundären organischen Aerosolen (SOA), die Feinstaubpartikel ausbilden und eine gefährliche Luftverschmutzung darstellen. Asthma-, Bronchitis- und Krebserkrankungen stehen damit in Zusammenhang (KHARE ET AL., 2020).

BETON

Im Folgenden wird der heutzutage vorwiegend eingesetzte Stahlbeton, der mit Rippenstahl bewehrte Beton, beschrieben, der seit Ende des 19. Jahrhunderts nach und nach traditionelle Baumaterialien ablöst. Umgangssprachlich (und auch hier im Folgenden) wird er verkürzend Beton genannt. Beton wird häufig als natürliches Material bezeichnet, obwohl es eigentlich ein fossiles Baumaterial ist. In diesem Sinne ist Beton ähnlich wie Benzin, das selten als Naturprodukt beworben wird.

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Beton besteht aus einer Mischung von Bindemitteln (größtenteils Zement), Wasser, nicht-reaktiven Zuschlagstoffen wie Sand und Kies, sowie Betonzusatzmitteln, die die Verarbeitbarkeit optimieren. Zement besteht seit dem 19. Jahrhundert primär aus einem gebrannten und gemahlenen Kalkstein-Ton-Gemisch, das mit Gips verzögert wird, enthält aber meistens auch industrielle Abfallprodukte wie Flugasche und Hüttensand.

Die Herstellung dieses sogenannten Portlandzementes, einschließlich des Röstens von Kalkstein mit Tonmineralien bei 1450 °C, ist ein sehr energie- und emissionsintensiver Prozess. Die Verbrennung selbst verursacht allerdings nur ein Drittel der Emissionen. Die Prozessemissionen, also die Umwandlung von Kalkstein in Calciumoxid und Kohlendioxid emittiert doppelt soviel CO₂ (ROMM ET AL., 2021).

Dieser Umwandlungsvorgang wird als Entsäuerung bezeichnet:



Kalkstein → Calciumoxid (Brannkalk) + Kohlendioxid

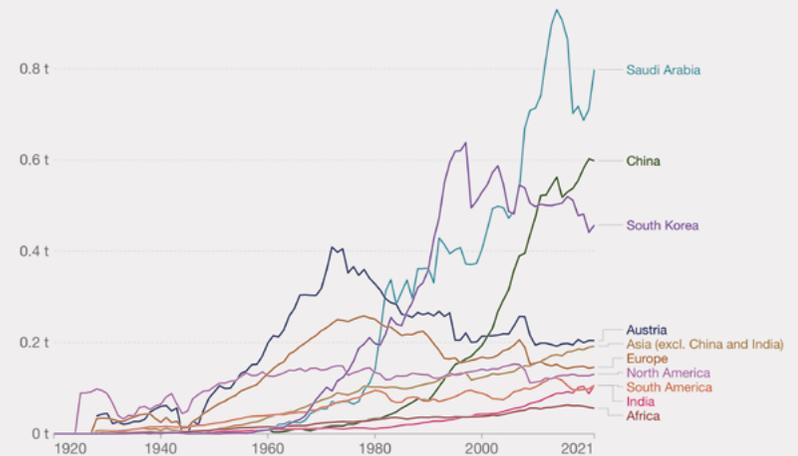
In zeitgenössischen Zementen wird der Anteil an gebranntem Kalk-Ton-Gemisch und Industrieabfällen wie Hüttensand durch die Zugabe von Kalksteinmehl weiter reduziert („Eco-Zemente“ diverser Hersteller). Mit kalziniertem Ton als Zusatzstoff (LC³ Limestone Calcined Clay Cement) wird aktuell ein gänzlich neuer Weg der emissionsärmeren Zementproduktion beschritten (SCRIVENER ET AL., 2018).

Dennoch müssen sich die Road Maps für 2050, die eine CO₂-Emissionen betreffende Netto-Null-Zementproduktion anstreben, in hohem Maße auf Technologien zur Kohlenstoffabscheidung stützen, da die Prozessemissionen ein unvermeidlicher Bestandteil der Zementherstellung sind (FENNEL ET AL., 2022). Die Roadmap der österreichischen Zementindustrie schlägt einen Beitrag von 44% Reduktion durch die CCUS-Technologie (Carbon Capture, Utilisation and Storage) vor, die noch nicht vollständig entwickelt ist (VÖZ, 2022).

HISTORISCHES

Vorformen des heutigen Betons gibt es seit Jahrtausenden, aber zum dominanten Material des gesellschaftlichen

Per capita CO₂ emissions from cement



Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project (2022) OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions · CC BY

Abb. 24: Jährliche Kohlendioxid-Emissionen (CO₂) aus Zement in Tonnen pro Person. (Global Carbon Budget, 2023)

Stoffwechsels wurde dieser erst im 20. Jahrhundert. Nachdem frühe Formen von vor-industriellem Beton die Bautätigkeit in vielen Regionen weltweit prägten, geriet das Material mit dem Zusammenbruch des Römischen Reiches über das gesamte Mittelalter weitgehend in Vergessenheit und etablierte sich erst wieder in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Bei der Pariser Weltausstellung 1900 wurde Stahlbeton (damals „Eisenbeton“) als wesentlicher globaler Fortschritt im Bauwesen gefeiert. Im Hochbau konnten sich Stahlbeton-Balkendecken durchsetzen. Nach dem Zweiten Weltkrieg gewann der Spannbeton an Bedeutung. Dabei handelt es sich um vorgespannten Stahl, der in Beton gegossen wird. (GEORGEACOPOL-WINISCHHOFER, 2010)

Um für die angeblich lange Lebensdauer von Beton zu werben, verweist die Industrie häufig auf römische Bauwerke wie das Pantheon, das vor fast 2000 Jahren errichtet wurde (BETON DIALOG ÖSTERREICH, 2021). Die Lebensdauer von Stahlbeton wird jedoch auf etwa 50 Jahre für Brücken und bis zu 140 Jahre für Fundamente geschätzt (INQA-BAUEN, o.J.). Die Berechnung der Lebensdauer eines Gebäudes hängt jedoch weniger von der Haltbarkeit des Materials als von wirtschaftlichen Strategien ab. In die komplexen Formeln fließen Abschreibung, Inflation, Steuern, voraussichtliche Rendite aus der Vermietung usw. ein. Eine aktuelle Big-Data-Studie sagt die Lebensdauer von Betongebäuden in Südkorea auf nur 22,8 Jahre voraus (ANDERSEN &

NEGENDAHL, 2023). Dieselbe Studie, die sich auf Daten aus Dänemark stützt, zeigt „eine Tendenz zu einer sinkenden Lebensdauer in Abhängigkeit von der betrachteten Bauzeit, wobei die Lebensdauer neuerer Gebäude (die nicht älter als dreißig Jahre sind) um 45 % unter der durchschnittlichen Lebensdauer liegt.“ (ANDERSEN & NEGENDAHL, 2023)

→ Regionalgeschichte

Im Gebiet der österreichischen Monarchie wurden knapp 50 Zementwerke betrieben, heute werden innerhalb der österreichischen Landesgrenzen noch an acht Standorten Klinker gebrannt. In Wien ist historisch das Zementwerk Rodaun erwähnenswert, welches 1996 geschlossen wurde. Das größte österreichische Werk ist in Mannersdorf am Leithagebirge, das heute den ostösterreichischen Markt bedient und aus dessen Produktion auch der Zement der Praterbrücke stammt.

Zur Zeit der Bildung des Leithakalks vor 16–14 Mio. Jahren befand sich im Wiener Becken ein seichtes Meer, an dessen Küsten teils lockere, teils relativ dichte Kalksteine abgelagert wurden. Über die Zeitspanne wurden diese Schichten durch Druck komprimiert. Der Leithakalk zählt damit zu den relativ jungen Gesteinen des Neogens. Die Kalksteinbrüche um Wien Richtung Mannersdorf bis zu St. Margarethen eignen sich besonders gut als Grundlage für die Zementproduktion, da der Kalk relativ weich ist und sich für die Vermischung mit Ton zum Brand gut zermahlen lässt. Zur Zeit der Erbauung der Praterbrücke wurde das Mannersdorfer Werk von der Firma Perlmooser betrieben. 1996 wurde Perlmooser von der französischen Firma Lafarge übernommen,

die 2015 mit der Schweizer Firma Holcim fusionierte (BAUZEITUNG & MESSNER, 2023).

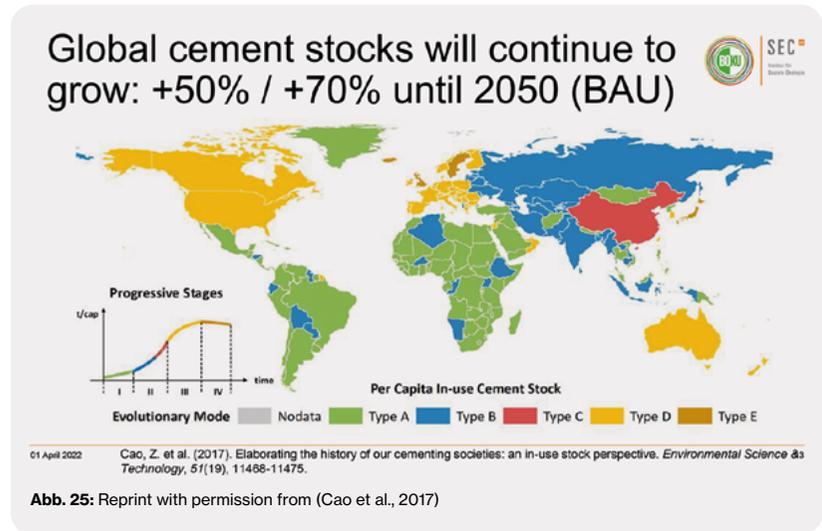
SOZIAL-ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

→ CO₂-Emissionen

Die globalen CO₂-Emissionen der Zementindustrie betragen rund 7 % der gesamten weltweiten CO₂-Emissionen (LEHNE & PRESTON, 2018).

Was die Frage nach den globalen Umweltauswirkungen von Zement betrifft, so lassen sich gängige Muster der Zuweisung von Verantwortung im Diskurs beobachten: Erstens die Tendenz von Ländern des Globalen Nordens, China für seine insgesamt hohen CO₂-Emissionen verantwortlich zu machen, während eigene Pro-Kopf-Emissionen ignoriert werden. Insbesondere in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind Pro-Kopf-Emissionen in Zusammenhang mit der Zementproduktion in industrialisierten Ländern stark angestiegen. Tatsächlich sind sie in Österreich im Vergleich zu anderen Industrienationen immer noch hoch. Im Falle Österreichs wird zudem argumentiert, dass der prozentuale Anteil der CO₂-Emissionen durch die Zementproduktion an den gesamten Treibhausgasemissionen etwas geringer ist als der globale Wert (3,1% in Österreich gegenüber 4,5% weltweit) (BETON DIALOG ÖSTERREICH, 2021). Dies lässt jedoch lediglich den Schluss zu, dass andere emissionsintensive Industriezweige in Österreich existieren. Die Pro-Kopf-Emissionen für Zement sind nach wie vor unbestreitbar hoch, wie die *Abbildung 24* zeigt.

Die CO₂-Emissionen der Zementproduktion machen ca. 90 % der gesamten CO₂-Emissionen durch Beton



aus. Gegenwärtige Strategien zu einer „Ökologisierung“ von Beton fokussieren daher auf die Optimierung und somit Ökologisierung der Zementproduktion. Andere negative Auswirkungen von Beton wie die Versiegelung von Böden, der Verbrauch von Süßwasser und Sand (MILLER ET AL., 2018), giftige Stäube, überhitzte Städte, die Schaffung massiver horizontaler und vertikaler Barrieren und die insgesamt negativen Auswirkungen auf die Artenvielfalt, werden dabei häufig außer Acht gelassen.

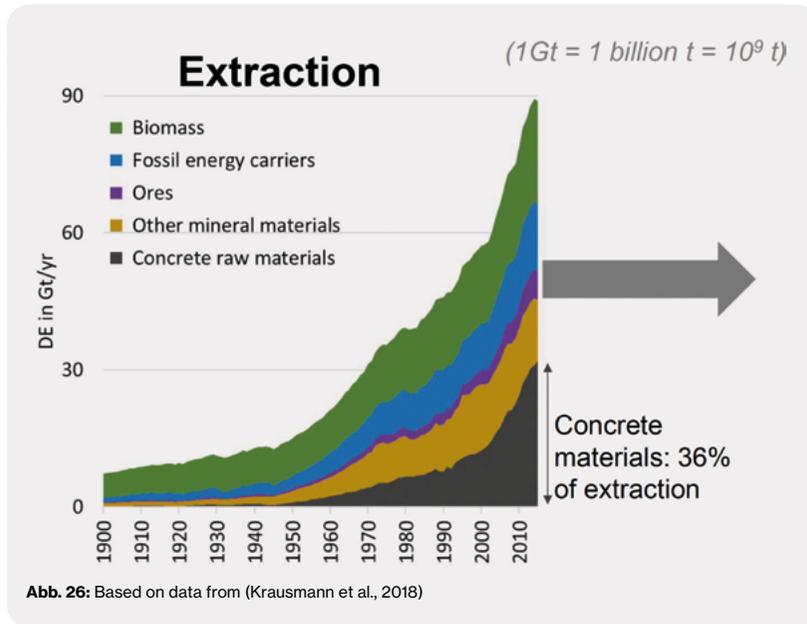
Eine „Ökologisierung“ von Beton existiert auch insofern nicht, als diese Bestrebungen nicht zwingend zu einer Abnahme der Bautätigkeit führen, sondern sogar eine Zunahme rechtfertigen. Da die Fülle der negativen Zusammenhänge im Betonmarketing ausgelassen ist und das Pro-Kopf-CO₂ der Zementindustrie im letzten Jahrzehnt immer noch leicht im Steigen begriffen ist, lässt sich die massive

Bewerbung von Eco-Zementen in weiten Strecken als Greenwashing interpretieren.

→ Bestandszuwächse

Untersuchungen der Stoffflüsse in Gebäudebeständen in 177 Ländern zwischen 1900 und 2016 haben gezeigt, dass der Anteil der jährlichen Bestandszuwächse (GASprim) in der Materialkategorie Beton 1950 noch bei 36 % lag. 2016 schon stellt Beton mit 72 % den Löwenanteil des jährlichen Bestandszuwachses dar.

Schätzungen zufolge haben die meisten europäischen Länder und der größte Teil Nordamerikas in Bezug auf den Verbrauch des Bindemittels Zement eine Sättigung erreicht. Die *Abbildung 25* zeigt, dass sich China einer abflachenden Kurve nähert, während der Bestand im Globalen Süden voraussichtlich drastisch ansteigen wird, wenn sich eine auf Beton basierende Baukultur weiterhin weltweit und mit den derzeitigen Wachstumsraten



ausbreitet. Es ist wahrscheinlich, dass die Zement produzierenden Unternehmen des Globalen Nordens und Chinas weiterhin auf die Märkte des Globalen Südens drängen, mit dem zweifelhaften Versprechen, den Lebensstandard zu verbessern.

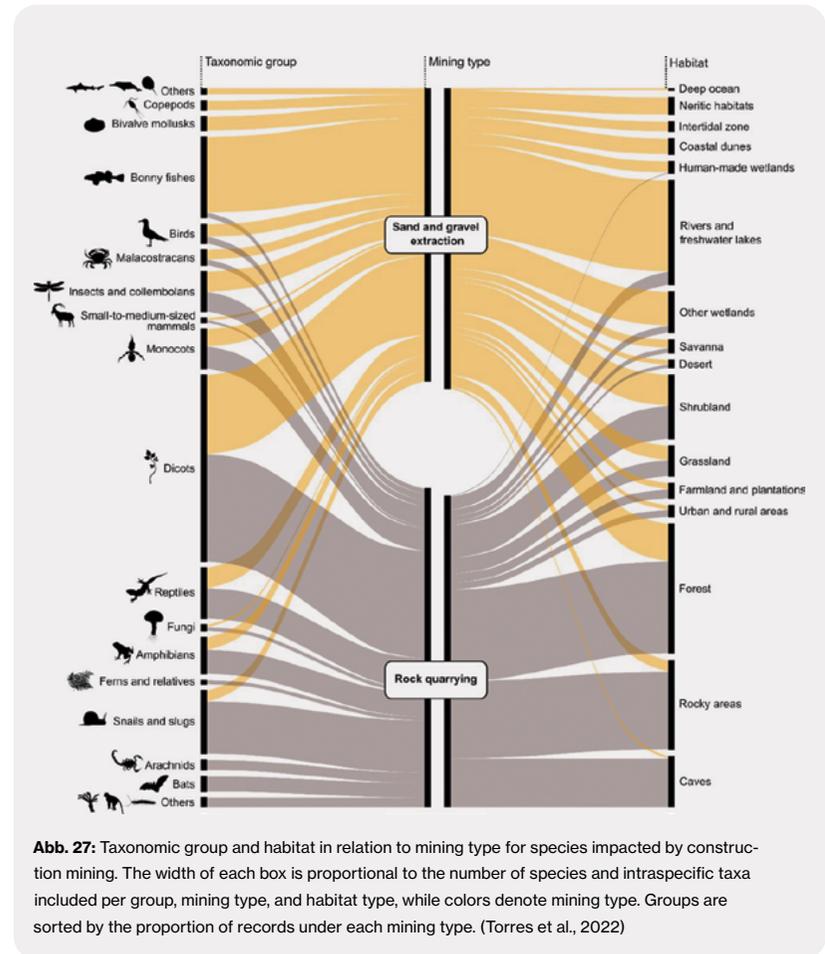
Die massive Akkumulation von Beton wird von der Industrie als zukünftiger Vorrat an Sekundärrohstoffen in urbanen Minen positiv vermarktet (BETON DIALOG ÖSTERREICH, 2021).

→ Die Grenzen von Recycling

Eine vollständige Kreislaufführung von Beton ist allerdings nur begrenzt möglich, da Betonbruch meist als Zuschlagstoff unter Beigabe von Frischzement und Wasser wiederaufbereitet wird (T. ROMM & KASPER, 2021). In Österreich werden mehr als 90 % der Bauabfälle wiederverwendet,

jedoch hauptsächlich als Schüttung für den Straßenbau – also downgecycled (BMK, 2021) Weltweit variiert dieser Anteil stark, von weniger als 1% in Brasilien bis zu etwa 10 % in China und 90 % in Japan (GROSS, 2019).

Betonrecycling ist zudem verbunden mit hohen Energieaufwendungen, z.B. durch den Transport zu Recyclinganlagen. Die Verbindung des maschinellen Abbruchs von Gebäuden mit der lokalen Aufbereitung von Baurestmassen mittels mobiler Anlagen und der Nutzung vor Ort (in-situ) ist eine Möglichkeit, die Emissionen beim Betonrecycling zu verringern (T. ROMM & KASPER, 2021). Die Wiederverwendung von ganzen Betonbauteilen, wie z.B. ganzen Trägern, ist in der gegenwärtigen Baupraxis kaum vorhanden.



→ Extraktion von Sand und Kies

Sand und Kies stellen den größten Anteil der jährlich abgebauten Zuschlagstoffe. Dennoch sind zuverlässige Daten über den globalen Abbau nur für die letzten Jahre verfügbar. Eine Möglichkeit, den weltweiten Verbrauch von Sand und Kies indirekt zu schätzen, ist die Herstellung von Zement. Die Produktion von Zement

wird von 150 Ländern gemeldet und erreichte 2012 3,7 Milliarden Tonnen. Für jede Tonne Zement benötigt die Bauindustrie etwa sechs bis sieben Tonnen Sand und Kies. Somit kann die weltweite Verwendung von Baurohstoffen für Beton (Kalkstein und Zuschlagstoffe) allein für 2012 auf 25,9 bis 29,6 Milliarden Tonnen geschätzt werden. Wie in der *Abbildung 26*

zu sehen ist, entspricht das etwas mehr als einem Drittel aller weltweit jährlich durch den Menschen extrahierten Materialien.

Bezieht man andere nachfragende Sektoren wie den Elektroniksektor oder die Glasherstellung mit ein, so ergibt sich eine konservative Schätzung für den weltweiten Verbrauch von Sand und Kies von über 40 Milliarden Tonnen pro Jahr, was die natürliche Erneuerungsrate und Sedimentbildung bei weitem übersteigt. Der Mensch ist somit der bestimmende geologische Faktor der Gegenwart und transportiert doppelt so viele Sedimente wie alle Flüsse dieser Welt (PEDUZZI, 2014).

Historisch wurde Sand in Steinbrüchen an Land und in Flussbetten gewonnen. Aufgrund des Rückgangs der Ressourcen hat jedoch global in den letzten Jahren eine Verlagerung zum Abbau im Meer und an der Küste stattgefunden. Österreich selbst besitzt ausreichend geologische Ressourcen, um die Versorgung mit mineralischen Baurohstoffen sicherzustellen und ist nicht auf Importe angewiesen. Dennoch ist die Verfügbarkeit durch andere Nutzungsansprüche der Raumordnung eingeschränkt, „sodass auch bei diesen Rohstoffen eine stark reduzierte Verfügbarkeit gegeben ist“ (WEBER, 2012). Wie die Eigenversorgung künftiger Generationen sichergestellt werden kann, hängt auch von der Entwicklung des Bedarfs an mineralischen Baurohstoffen ab (WEBER, 2012).

Wüstensand ist für die Verarbeitung zu Baumineralien nicht nutzbar, da seine Kornform aufgrund der Erosion zu rund ist. Der Abbau von fluvialen oder marinen Sanden wiederum ist mit Umweltauswirkungen wie Biodiversitätsverlust, Veränderungen im Grundwasserspiegel,

Veränderung von Landschaft durch Fluss- oder Küstenerosion sowie Kohlendioxidemissionen durch den Transport von Aggregaten verbunden. Baggerungen am Meeresboden zerstören Organismen, Lebensräume und Ökosysteme und wirken sich tiefgreifend auf die Zusammensetzung der biologischen Vielfalt aus, was in der Regel zu einem Netto-Rückgang der Biomasse und zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung führt (PEDUZZI, 2014). Die Hälfte der durch Bau bzw. Bergbau gefährdeten Tierarten ist direkt auf den Habitatverlust im Zusammenhang mit der Sand- und Kiesgewinnung zurückzuführen. (Abb. 27) Die andere Hälfte wird durch den Abbau von Gesteinen, u.a. die Gewinnung von Kalkstein für die Zementherstellung, beeinträchtigt. Insgesamt fand die Forschungsgruppe um Aurora Torres 1281 gefährdete oder vom Aussterben bedrohte Arten (TORRES ET AL., 2022).

Biografien & Literatur

Josepha Edbauer ist transmediale Künstlerin und Kunsthistorikerin. In Praxis und Theorie beschäftigt sie sich mit Materialitäten und deren sozialer Kontextualisierung. Zudem setzt sie sich mit den Schnittstellen von digitaler und analoger Kunst auseinander und erforscht, wie konzeptuelle und materielle Dualitäten in der Kunst verhandelt werden. Das Spiel mit Konnotationen zwischen dem Sichtbaren und dem Unsichtbaren ist in ihrer künstlerischen und wissenschaftlichen Praxis ein wiederkehrendes Thema, ebenso wie die Visualisierung digitaler Phänomene in unserer analogen Gesellschaft. Als Künstlerin übersetzt sie ihre Analysen in Materialien, die in ihrem veränderten Kontext neue Perspektiven vorschlagen, um persönliche Wahrnehmungen und Erfahrungen über Mediengrenzen hinaus zu kontextualisieren und zu vermitteln.

Peter Fichtinger studiert Umwelt- und Bioressourcenmanagement an der Universität für Bodenkultur. Als studentischer Mitarbeiter des Instituts für Soziale Ökologie fokussiert er sich auf die Weiterentwicklung europäischer Langzeitforschungsplattformen (LTSE-Plattformen) und die transdisziplinäre Forschung zur Mensch-Natur-Interaktion auf regionaler/lokaler Ebene. In seiner Masterarbeit beschäftigt er sich etwa mit der sozial-ökologischen Resilienz gegenüber hydroklimatischen Risiken in Biosphärenparks. Zudem beschäftigte er sich mit den Chancen und Barrieren nachhaltiger Baumaterialien auf der Insel Samothraki.

Sebastian Hafner studiert Soziale Ökologie an der Universität für Bodenkultur. Er beschäftigt sich im Rahmen seiner Masterarbeit und beruflich als Mitarbeiter im Architekturbüro *forschen planen bauen – Thomas Romm ZT* mit zirkulären Massenstrategien im Städtebau und in der Landschaftsgestaltung. Ein weiterer Fokus ist die ko-kreative Entwicklung Grüner Infrastrukturen. Gemeinsam mit dem Studio Social Design an der Universität für Angewandte Kunst Wien sowie Schüler*innen und Lehrer*innen der HLMW9 Michelbeuern initiierte er die *“Soil Küchen”* – ein didaktisches Format für ortsspezifische Kulinarik, Design, urbane Landwirtschaft und das Arbeiten mit lokalen Materialien.

Tess Posch ist Masterstudentin am Institut für Soziale Ökologie der Universität für Bodenkultur in Wien. In ihrer Masterarbeit untersucht sie Zielkonflikte und Synergien zwischen der Kreislaufwirtschaft und den Klimazielen. Dabei analysiert sie Material-, Energie- und Abfallströme sowie Treibhausgasemissionen im Bausektor aus einer makroökonomischen Perspektive. Beruflich ist sie in der Umweltbildung tätig und co-leitet ein Projekt der Europäischen Klimainitiative. Ziel dieses Projekts ist es, Lehrkräfte darin zu unterstützen, Themen wie Klimawandel und Biodiversitätskrise aus einer systemischen Perspektive zu vermitteln und praxisnahe Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Johannes Weber ist Erdwissenschaftler mit Schwerpunkt Petrologie und beschäftigt sich an der Universität für angewandte Kunst in langjähriger Lehre und Forschung mit mineralischen Werk- und Baustoffen von der Antike bis in die Gegenwart. Im Vordergrund stehen dabei Fragen der Restaurierung und Konservierung sowie der Archäometrie. Mit Mörteln

und Beton des 19. und 20. Jahrhunderts hat er sich in mehreren EU-Forschungsprojekten befasst und dabei die licht- und rasterelektronenmikroskopischen Analyseverfahren zur Charakterisierung von Zusammensetzung und Eigenschaften mineralischer Baustoffe weiterentwickelt. Daraus ergeben sich grundlegende Informationen zu manuellen und industriellen Produktionstechniken ebenso wie zu den mechanisch-physikalischen Eigenschaftsprofilen historischer bzw. rezenter Materialien.

Michael Wagreich ist Professor für Geologie an der Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie der Universität Wien. Er arbeitet über das Klima in der geologischen Vergangenheit und dem jüngsten globalen Wandel sowie dessen geologischen Auswirkungen im Anthropozän. Er ist Mitglied der stratigraphischen Anthropocene Working Group und arbeitet an der Definition und den Markern des Anthropozäns als Einheit der Geologischen Zeitskala. Prof. Wagreich hat mehrere nationale und internationale Projekte geleitet, darunter ein WWTF-Projekt über den vom Menschen beeinflussten Boden in Wien.

Christoph Weber ist ein konzeptueller Bildhauer mit einem Fokus auf Materialität und methodologischen Nachvollzug. Er entwickelt Projekte, die die Politik menschlicher Intraaktionen mit der Umgebung durch skulpturale Materialtransformationen und forschungsbasierte Befragungen reflektieren. Er schafft Settings der situierten Wahrnehmung, um historische und spekulative zukünftige Kontexte zu navigieren. Während er sich mit einer Vielzahl von Materialien und skulpturalen Methoden auseinandersetzt, ist Beton – die nach Wasser am häufigsten verwendete Substanz der Erde, für Weber zu einem Medium geworden, mit dem der Zustand globaler Gemeinschaften auf vielfältige und nuancierte Weise kritisch hinterfragt werden kann. Weber hat Projekte für das Museum Marta Herford, Deutschland, das Kunstmuseum St. Gallen, Schweiz, die Vienna Biennale for Change im MAK – Museum für angewandte Kunst und die Neue Galerie im Museum Joanneum in Graz entwickelt, sowie zahlreiche Einzelausstellungen für internationale Galerien.

Nikolaus Eckhard ist ein in Wien lebender Künstler, der sich auf kollaborative Skulptur und Performance sowie Film konzentriert. In seiner künstlerischen Forschungspraxis untersucht er biogeochemischen Informationstransfer zwischen Materialien und Körpern, um einen Blick auf die Spuren zu werfen, die unser Leben in Steinen hinterlässt. Er ist co-Leiter der Kunstinitiative *die Feldversuche*, die jährlich ein mehrwöchiges Kunstsymposium auf einem Wiener Gemeinschaftshof abhält und lokalen und internationalen Künstler*innen Möglichkeiten bietet, sich mit Lebensmittelproduktion und Urbanisierung zu beschäftigen. Seine Arbeiten waren bei zahlreichen Filmfestivals und Ausstellungen, präsent unter anderem bei EXiS – Soul, FID Marseille, dokumentArt Neubrandenburg / Szczecin, der Globart-Academy und der Vienna Biennale for Change im MAK – Museum für angewandte Kunst.

A. ACHATZ; T. ROMM; T. KASPER; D. JÄGER: *KreislaufBAUwirtschaft*. Umweltbundesamt, 2021.

ROLAND RAINER: *(Un)Umstritten. Neue Erkenntnisse zum Werk (1936-1963)*. Architekturzentrum Wien, 2018. – https://www.azw.at/wp-content/uploads/2018/09/Presstext_Roland-Rainer-UnUmstritten_DE-3.pdf [accessed 24.9.2024]

R. ANDERSEN; K. NEGENDAHL: *Lifespan prediction of existing building typologies*. Journal of Building Engineering, 65, 105696, 2023. – <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105696>

ASFINAG, 2024. – www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/verkehrszahlung [accessed 24.9.2024]

BAUSTROFF RECYCLING VERBAND: *Baurestmassen Verwertung*. 2022. <https://brv.at/recycling-baustoffe/>

BAUZEITUNG; S. MESSNER: *Lafarge und Permooser Beton werden Holcim Österreich*. Handwerk+Bau, 2023. – www.handwerkundbau.at/wirtschaft/lafarge-und-permooser-beton-werden-holcim-oesterreich-50372

BENJAMIN, W.: *Das Passagewerk* / R. TIEDEMANN (Hrsg.). Suhrkamp, 1983.

BETON DIALOG ÖSTERREICH: *Stellungnahme Beton Dialog Österreich*. Konsument, 2021. https://konsument.at/system/files/2021-08/Stellungnahme%20Beton%20Dialog%20%C3%96sterreich_072021_Greenwashing_.docx

BILEK-CZERNY, E.: *Lehm und Ziegel (Denkmalpflege in Niederösterreich)* [39]. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kultur und Wissenschaft, 2008. – www.noel.gv.at/noe/Kunst-Kultur/Denkmal_Band_39.pdf

BIRKET-SMITH, K.: *Geschichte der Kultur. Eine allgemeine Ethnologie*. Südwest, 1963.

BISHOP, G., STYLES, D., & LENS, P. N. L.: *Recycling of European plastic is a pathway for plastic debris in the ocean*. Environment International, 142, 105893, 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105893>

BLEIER, J.: *Biobitumen Bitumen-Ersatzprodukt auf nachwachsender Rohstoffbasis und darauf basierender Asphalt*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2013.

BMF: *Österreichisches Montan-Handbuch 2022*. Bundesministerium für Finanzen, 2023.

BMK: *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006*, S. 332. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2006. – www.parlament.gv.at/dokument/XXII/III/237/imfname_069126.pdf

BMK: *Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft—Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021. – file:///C:/Users/PF/Downloads/Kreislaufwirtschaftsstrategie_Begutachtungsentwurf.pdf

BMK: *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2021*. 2021.

BMNT. *Leitfaden Künstliche Mineralfaserabfälle – KMF-Abfälle ab der Baustelle*. Leitfaden. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019. – www.bmk.gv.at/dam/jcr:3cf69765-1170-4268-9f8e-bb51d514110f/Leitfaden_KMF_Abfaelle_2019.pdf

P. BÖRJESSON; L. GUSTAVSSON: *Greenhouse gas balances in building construction: Wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives*. Energy Policy, 28(9), S. 575–588, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00049-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00049-5)

C. BRANDENBURG; D. DAMYANOVIC; F. REINWALD; B. ALLEX; B. GANTNER; C. CZACHS: *Urban Heat Islands Strategieplan*. Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22, 2015.

SARA J. BRENNIS: *Spaniards in Mauthausen: representations of a Nazi concentration camp, 1940–2015*. University of Toronto Press, 2018.

BUNDESDENKMALAMT. *NS-Opferlager in Österreich*. Katalog. Bundesdenkmalamt, 2022.

BUNDESMINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ: *Bundesabfallwirtschaftsplan 2023*. Bundesministerium für Klimaschutz, 2023.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, REGIONEN UND WASSERWIRTSCHAFT: *Humus in Diskussion*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, 2022.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: *Ist Heizen mit Holz klimaneutral?* Bmuv.at, 2022. – www.bmuv.de/heizen-mit-holz/umwelt/klimaauswirkungen-von-heizen-mit-holz

C. CADENBACH; K. LUDWIG; L. MAURER; M. MUCH; R. WIEGAND: *Die weltweiten Geschäfte der Holz-Mafia*. Süddeutsche Zeitung, 2023. – www.sueddeutsche.de/politik/holz-mafia-waelder-abholzung-recherche-1.5760966

M. CALCINS: *Materials for Sustainable Sites*. John Wiley & Sons Ltd, 2009

Z. CAO; L. SHEN; A. N. LØVIK; D. B. MÜLLER; G. LIU: *Elaborating the History of Our Cementing Societies: An in-Use Stock Perspective*. Environmental Science & Technology, 51(19), 11468–11475, 2017. – <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03077>

CHEMIE.AT: *Granit*. 2023. – www.chemie.de/lexikon/Granit.html#:~:text=Mit%20dem%20Erreichen%20der%20Erdoberfl%C3%A4che,%E2%80%9EJeder%20Granit%20wird%20gelb%E2%80%9C.

CHEMIE-SCHULE.DE: *Asphalt*. Die Chemie-Schule, 2007. – www.chemie-schule.de/KnowHow/Asphalt

S. CHRISTOPH: *Fluten statt pumpen: Ex-Kohlekonzern will nicht mehr für Gruben im Saarland und NRW zahlen*. FOCUS online, 2023. – www.focus.de/finanzen/news/ewigkeitskosten-vor-gericht-fluten-statt-pumpen-ex-kohlekonzern-will-nicht-weiter-fuer-gruben-im-saarland-und-nrw-zahlen_id_196990776.html

COSENTINO: *Eigenschaften und Arten von Granit – ein Material, das Häuser im Sturm erobert*. Cosentino Österreich, 2023. – www.cosentino.com/de-at/blog/properties-and-types-of-granite-a-material-that-is-taking-homes-by-storm

J. M. CULLEN; J. M. ALLWOOD; M. D. BAMBACH: *Mapping the Global Flow of Steel: From Steelmaking to End-Use Goods*. Environmental Science & Technology, 46(24), 13048–13055. 2012. – <https://doi.org/10.1021/es302433p>

A. CURRY: *Gobekli Tepe: The World's First Temple?* Smithsonian Magazine, 2008. www.smithsonianmag.com/history/gobekli-tepe-the-worlds-first-temple-83613665/

H. DAVIS: *Plastic Matter*. Duke University Press, 2022.

A. DIETL: *Wie Städte von urbaner Landwirtschaft profitieren können: Eine Typologie, Nachhaltigkeitsanalyse und Ökobilanzierung gängiger urbaner Anbauformen, mit Fallbeispielen aus Wien*. Institute of Social Ecology Vienna, 2020.

H. DOMININGHAUS: *Kunststoffe: Eigenschaften und Anwendungen* / P. ELSNER; P. EYERER; T. HIRTH (Hrsg.). Springer, 2012. – <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16173-5>

J. DÖNGES: *Sambia: Die älteste Holzstruktur der Welt ist 467 000 Jahre alt*. Spektrum.de, 2023. – www.spektrum.de/news/sambia-die-aelteste-holzstruktur-der-welt-ist-467-000-jahre-alt/2182800

N. EISENMENGER; B. PLANK; E. MILOTA; S. GIERLINGER: *Ressourcennutzung in Österreich 2020*. (3). Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2020. – www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/publikationen/bericht2020.html

E. ELHACHAM; L. BEN-URI; J. GROZOVSKI; Y. M. BAR-ON; R. MILO: *Global human-made mass exceeds all living biomass*. Nature (588(7838), 442–444), 2020. – <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>

E. ESPOSITO: *Realität der Zukunft und künftige Realität*. / In S. WITZGALL; K. STAKEMEIER (Hg.): *Die Gegenwart der Zukunft*. Zürich-Berlin: diaphanes, 2016

K. FALLMANN; L. WEISS: *Stand der Technik in der Keramikindustrie*. Umweltbundesamt GmbH, 2018

P. FAUPL; W. GRÜN; G. LAUER; A. PAPP; W. SCHAPEL; M. STURM: *Zur Typisierung der Sieveringer Schichten im Flysch des Wienerwaldes*. Bd. 113, S. 73–158. In *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 1970. – www.zobodat.at/pdf/JbGeolReichsanst_113_0073-0158.pdf

P. FENNEL; J. DRIVER; C. BATAILLE; S. J. DAVIS: *Cement and steel—Nine steps to net zero*. Nature (603(7902), 574–577), 2020. – <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00758-4>

A. FITZ; K. MAYER; K. RITTER: *Boden für alle*. Park Books, 2020.

C. FRIEDRICH: *Gesellschaftliche Materialbestände in Österreich: Eine Analyse der langfristigen Entwicklung der materiellen Inputs, Bestände und Outputs von 1900–2016* [Masterarbeit]. Universität für Bodenkultur, 2024.

H. FRISK: *Griechisches Etymologisches Wörterbuch*. Band I. 1960.

D. D. FURSZYFER DEL RIO; B. K. SOVACOO; A. M. FOLEY; S. GRIFFITHS; M. BAZILIAN; J. KIM; D. ROONEY: *Decarbonizing the glass industry: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options*. Renewable and Sustainable Energy Reviews (155, 111885), 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111885>

H. GANAPATHI; M. PHUKAN: *Environmental Hazards of Limestone Mining and Adaptive Practices for Environment Management Plan*. / In R. M. SINGH; P. SHUKLA; P. SINGH (Hrsg.), *Environmental Processes and Management: Tools and Practices*. S. 121–134. Springer International Publishing, 2020. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-38152-3_8

U. GEORGEACOPOL-WINISCHHOFER: *Beton – hochgeschätzt und missverstanden*. / In AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG ABTEILUNG KULTUR UND WISSENSCHAFT (Hrsg.), *Beton*. 2020.

P. W. GERBENS-LEENES; A. Y. HOEKSTRA; R. BOSMAN: *The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass*. Water Resources and Industry (19, 1–12), 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.11.002>

B. GERVET: *The use of crude oil in plastic making contributes to global warming*. Luleå University of Technology, 2007.

R. GEYER; J. R. JAMBECK; K. L. LAW: *Production, use, and fate of all plastics ever made*. Science Advances (3(7), e1700782), 2017. – <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

S. GIERLINGER; F. HAUER; G. POLLACK; F. KRAUSMANN: *Metabolism and Waterscape in an Industrializing City: A Quantitative Assessment of Resource Use and its Relation to the Transformation of the Urban Waterscape in Nineteenth-Century Vienna*. AGUA Y TERRITORI, 7, 09–124. 2016.

S. GILJUM; V. MAUS; N. KUSCHNIG; S. LUCKENEDER; M. TOST; L. J. SONTER; A. J. BEBBINGTON: *A pantropical assessment of deforestation caused by industrial mining*. Proceedings of the National Academy of Sciences (119(38), e2118273119), 2022. – <https://doi.org/10.1073/pnas.2118273119>

S. GINGRICH; K.-H. ERB; F. KRAUSMANN; V. GAUBE; H. HABERL: *Long-term dynamics of terrestrial carbon stocks in Austria: A comprehensive assessment of the time period from 1830 to 2000*. Regional Environmental Change (7(1), 37–47). 2007. – <https://doi.org/10.1007/s10113-007-0024-6>

S. GINGRICH; C. LAUK; F. KRAUSMANN; K.-H. ERB; J. LE NOË: *Changes in energy and livestock systems largely explain the forest transition in Austria (1830–1910)*. Land Use Policy (109, 105624), 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105624>

Global Carbon Budget. (2023). Population based on various sources (2023) – with major processing by Our World in Data. “Per capita CO₂ emissions from cement – GCB” [dataset]. Global Carbon Project, “Global Carbon Budget”; Various sources, “Population” [original data] [Dataset]. <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-co2-cement>

A. S. GROSS: *Concrete chokes our landfill sites – but where else can it go?* The Guardian, 2019. <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/26/concrete-chokes-our-landfill-sites-but-where-else-can-it-go>

H. HABERSACK; M. HAIMANN; M. KRAPESCH; PH. GMEINER: *Bedeutung des Sedimenttransportes für den Hochwasserschutz und die Schifffahrt an der österreichischen Donau*. Endbericht. Universität für Bodenkultur Wien, 2021

PETER K. HAFF: *Technology as a geological phenomenon: implications for human well-being*. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. (395, 301–309), 2014. – <https://doi.org/10.1144/SP395.4>

W. Haas; F. Krausmann; D. Wiedenhofer; C. Lauk; A. Mayer: *Spaceship earth's odyssey to a circular economy – A century long perspective*. Resources, Conservation and Recycling (163), 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105076>.

K. HAIDING: *Wald und Holz* [Führer durch die vierte Sonderausstellung des Heimatmuseums Trautenfels]. 1958.

M. HALDIMANN; A. LUIBLE; M. OVEREND: *Structural Use of Glass*. IABSE, 2008.

HEINRICH BÖLL STIFTUNG: *Plastikatlas Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff*. (6; S. 50), 2019. – www.boell.de/de/2019/06/06/plastikatlas-grafiken-und-lizenzbestimmungen

U. HIERLI; S. MAITHEL: Brick by Brick – The Herculean Task of Cleaning up the Asian Brick Industry. Swiss Agency for Development and Cooperation, 2008. – www.shareweb.ch/site/El/TopicDocuments/PSD/Topics/Social%20Aspects%20of%20Work/Brick%20by%20Brick%20-%20The%20Herculean%20Task%20of%20Cleaning%20up%20the%20Asian%20Brick%20Industry.pdf

P. HOHENBLUM; H. FRISCHENSLAGER; H. REISINGER; R. KONECNY; M. UHL; S. MÜHLEGER; H. HABERSACK; M. LIEDERMANN; P. GMEINER; B. WEIDENHILLER; N. FISCHER; R. RINDLER: *Plastik in der Donau Untersuchung zum Vorkommen von Kunststoffen in der Donau in Österreich*. Umweltbundesamt, 2015

S. HOHENSINNER: *Neue Rollen Ausbau und Rückbau seit 1918*. / In: ZENTRUM FÜR UMWELTGESCHICHTE (Hrsg.), *Wasser Stadt Wien: Eine Umweltgeschichte*. Universität für Bodenkultur Wien, 2020.

S. HOHENSINNER; F. HAUER: *Neue Maßstäbe Industrialisierung der Gewässerlandschaft 1830–1918*. / In: ZENTRUM FÜR UMWELTGESCHICHTE (Hrsg.), *Wasser Stadt Wien: Eine Umweltgeschichte*. Universität für Bodenkultur Wien, 2020 I.

S. HOHENSINNER; F. HAUER: *Über den Strom Vom Queren einer dynamischen Landschaft*. / In: ZENTRUM FÜR UMWELTGESCHICHTE (Hrsg.), *Wasser Stadt Wien: Eine Umweltgeschichte*. Universität für Bodenkultur Wien, 2020 II.

S. HOHENSINNER; G. HAIDVOGL: *Zu viel Wasser Hochwassergefahr und Praktiken des Überschwemmungsschutzes*. / In: ZENTRUM FÜR UMWELTGESCHICHTE (Hrsg.), *Wasser Stadt Wien: Eine Umweltgeschichte*. Universität für Bodenkultur Wien, 2020.

S. HOHENSINNER: *Der Donau auf der Spur. In Donau – Menschen, Schätze & Kulturen. Eine Reise vom Schwarzen Meer zur Schallaburg*. (S. pp.21–27). Schallaburg Kulturbetriebsges.m.b.H., 2020

S. HOHENSINNER; F. HAUER: *Wien am Wasser: Am Meer, am See, am Fluss*. / In ZUG – ZENTRUM FÜR UMWELTGESCHICHTE & UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR (Hrsg.), *Wasserstadt Wien* (S. 90–122). Selbstverlag, 2019.

M. HÖHER; STRIMITZER: *Stoffliche und energetische Verwertung von Holzabfällen*. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019.

J. HOLUBEK: *Kunststoffprodukte in der Baubranche: Vorteile, Probleme, Lösungsansätze*. Klimaforum Bau, 2021. – <https://klimaforum-bau.de/2021/06/kunststoffprodukte-in-der-baubranche-vorteile-probleme-loesungsansaeetze/>

J. HOLZAPFEL: *Die Geschichte der Straßenpflasterung*. Ober St.Veit, 2018. – www.I133.at/document/view/id/631

F. HÖRMANN: *Wald und Holz: Zur Geschichte des Waldes und der bäuerlichen Holzbringung und Holzverarbeitung ab dem 17. Jahrhundert*. No. 8. Schriftenreihe des Museumsvereines Werfen, 1991.

D. HOSLER; S. L. BURKETT; M. J. TARKANIAN: *Prehistoric polymers: Rubber processing in ancient mesoamerica*. Science (New York, N.Y.) (284(5422), 1988–1991), 1999. <https://doi.org/10.1126/science.284.5422.1988>

E. HURMEKOSKI: *How can wood construction reduce environmental degradation?* European Forest Institute, 2017

IEA: *The Future of Cooling*. International Energy Agency, 2018. – www.iea.org/reports/the-future-of-cooling

IEA. (2022). *Iron and Steel—Technology Roadmap*. International Energy Agency, 2022. https://iea.blob.core.windows.net/assets/eb0c8ecl-3665-4959-97d0-187cecal89a8/Iron_and_Steel_Technology_Roadmap.pdf

E. IGLAUER: *Ziegel – Baustoff unserer Lebens*. Berger, 1974.

INQA–BAUEN: *Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten*. Initiativkreis Neue Qualität des Bauens, o. J. – www.inqa-bauen.de/upload/casa/pdf/4_2_0106.pdf

IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (S. 1585). Cambridge University Press, 2018.

E. JOHANN; B. PSARAKIS: *Das Holz-Zeitalter. Die städtische Holzversorgung vom 17 bis zum 19 Jahrhundert*. / In K. BRUNNER; P. SCHNEIDER (Hrsg.), *Umwelt Stadt. Geschichte des Natur- und Lebensraumes Wien* (S. 170–180). Böhlau, 2005.

K. JÖRG; C. KUNZE: *100 Jahre Autobahn*. ORF Ö1 Radiokolleg vom 7.10.2024. <https://oe1orf.at/player/20241007/772241>

F. KARRER: *Die Monumentalbauten in Wien und ihre Baumaterialien*. Außerordentliche Beilage zu den Monatsblättern des Wissenschaftlichen Club in Wien, Nr. 6, Jg.VII (S. 56), 1886.

P. KHARE; J. MACHESKY; R. SOTO; M. HE; A. A. PRESTO; D. R. GENTNER: *Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol precursors*. Science Advances (6(36), eabb9785) 2020. – <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9785>

J. M. KHATIB: *Sustainability of construction materials*. Woodhead Publishing series in civil and structural engineering. 2016.

F. KLEEMANN; J. LEDERER; H. RECHBERGER; J. FELLNER: *GIS-based Analysis of Vienna's Material Stock in Buildings*. Journal of Industrial Ecology (21(2), 368–380), 2017. – <https://doi.org/10.1111/jiec.12446>

F. KLEEMANN; H. LEHNER; A. SZCZYPIŃSKA; J. LEDERER; J. FELLNER: Using change detection data to assess amount and composition of demolition waste from buildings in Vienna. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 37–46, 2017. – <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.010>

H. KNOFLACHER: *Zurück zur Mobilität*. Wien: Ueberreuter, 2013

C. KORONEOS; A. DOMPROS: *Environmental assessment of brick production in Greece*. *Building and Environment*, 42(5), 2114–2123, 2007. – <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.006>

A. KÖSTINGER: *Die Materialflüsse und Inputs in die sozioökonomischen Materialbestände Österreichs 1918–2015*. Eine erweiterte Material- und Energieflussanalyse (194; Social Ecology Working Papers). Universität für Bodenkultur, 2021. – https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73700/Publikationen/Working_Papers/WP194_Ko__stinger_WEB.pdf

C. KRAKOVSKY: *Alt-Österreichs Wälder – Glühende Kohle für grünes Glas*. *Wiener Zeitung*, 2022. – www.tagblatt-wienerzeitung.at/nachrichten/zeitreisen/2142554-Gluehende-Kohle-fuer-gruenes-Glas.html

T. KRAMAR: *Risse im Asphalt: Ein Baustoff in Verruf*. Die Presse, 2023. www.diepresse.com/13443166/risse-im-asphalt-ein-baustoff-in-verruff

M. KRAMER; T. KIND-RIEPER; R. MUNAYER; S. GILJUM; R. MASSELINK; P. ACKERN; V. MAUS; S. LUCKENEDER; L. RÜTTINGER: *Extracted Forests*. WWF, 2023. – www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Wald/WWF-Studie-Extracted-Forests.pdf

M. KRAMMER, 2023. – <https://magazin.wienmuseum.at/der-immobilienmarkt-in-der-ringstrassenzeit> [Zuletzt aufgerufen 11.9.2024]

K. KRAUS: *Schriften* / herausgegeben von CHRISTIAN WAGENKNECHT, Band 8, S.20. Frankfurt am Main, 1986.

F. KRAUSMANN: *A City and Its Hinterland: Vienna's Energy Metabolism 1800–2006*. / In S. J. SINGH; H. HABERL; M. CHERTOW; M. MIRTL; M. SCHMID (Hrsg.), *Long Term Socio-Ecological Research: Studies in Society-Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales* (S. 247–268). Springer Netherlands, 2013. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1177-8_11

F. KRAUSMANN; C. LAUK; W. HAAS; D. WIEDENHOFER: *From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015*. *Global Environmental Change*, 52, 131–140, 2018. – <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003>

B. KREUZER / In: ASFINAG (Hrsg.): *Das Autobahnnetz in Österreich 30 Jahre ASFINAG*. 2012.

R. KUMAR; A. VERMA; A. SHOME; R. SINHA; S. SINHA; P. K. JHA; R. KUMAR; P. KUMAR; S. DAS; P. SHARMA; P. V. VARA PRASAD: *Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions*. Sustainability (Basel, Switzerland), 13(17), 9963–, 2021. <https://doi.org/10.3390/sul3179963>

KZ Gedenkstätte Mauthausen, 2024 I. – www.mauthausen-memorial.org/de/Wissen/Das-Konzentrationslager-Mauthausen-1938-1945/Zwangsarbeit-in-den-Steinbruechen

KZ Gedenkstätte Mauthausen, 2024 II. – www.mauthausen-memorial.org/de/Wissen/Das-Konzentrationslager-Mauthausen-1938-1945

KZ Gedenkstätte Mauthausen, 2024 III. – <https://mm-tours.org/de/20/172>

U. LAUFER; H. OTTOMEYER: *Gründerzeit—1848–1871. Industrie & Lebensräume zwischen Vormärz und Kaiserreich*. Eine Ausstellung des Deutschen Historischen Museums Berlin, 25. April–31. August 2008. Sandstein, 2008. – www.degruyter.com/database/HBOL/entry/hb.20801202/html?lang=de

M. G. LAY: *Die Geschichte der Strasse., Vom Trampelpfad zur Autobahn*. Campus, 1994.

A. LECHNER; H. KECKEIS; F. LUMESBERGER-LOISL; B. ZENS; R. KRUSCH; M. TRITTHART; M. GLAS; E. SCHLUDERMANN: *The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river*. *Environmental Pollution*, 188, 177–181, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>

J. LEHMANN; J. GAUNT; M. RONDON: *Bio-Char Sequestration. Terrestrial Ecosystems – A Review*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11, 403–427, 2006.

J. LEHNE; F. PRESTON: *Making Concrete Change. Innovation in Low-carbon Cement and Concrete (Chatham House Report)*. The Royal Institute of International Affairs, 2018. www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf

C. LEIDNITZIG; R. PEKNY: *Urwald an der Eisenstraße*. / In C. LUEGER; G. POSCH (Hrsg.), *Eisenstrasse. Auf den den Wegen des Eisens in Niederösterreich*. 2015.

B. LODERER: *Die Geschichte: Kunststoff am Bau*. *Hochparterre: Zeitschrift für Architektur und Design*, 17(14), 2, 2014. <https://doi.org/10.5169/seals-122357>

S. LUCKENEDER; S. GILJUM; A. SCHAFFARTZIK; V. MAUS; M. TOST: *Surge in global metal mining threatens vulnerable ecosystems*. *Global Environmental Change*, 69, 102303, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102303>

C. LUEGER; G. POSCH (Hrsg.): *Eisenstrasse. Auf den Wegen des Eisens in Niederösterreich*, 2015.

T. MADER: *Warum das Ruhrgebiet ohne Pumpen eine Seenplatte wäre*. *WAZ*, 14.11.2016. www.waz.de/region/rhein-und-ruhr/wenn-die-pumpen-stillstaenden-id12358775.html

S. MAIER-BODE: *Werkstoffe: Stahl*. 2005. – www.planet-wissen.de/technik/werkstoffe/stahl/index.html

W. MARESCH; O. MEDENBACH; H. D. TROCHIM: *Steinbachs Naturführer Gesteine*. Mosaik, 1996. – <https://de.book-info.com/isbn/3-576-10699-5.htm>

H. MARŠÁLEK: *Die Geschichte des Konzentrationslagers Mauthausen*. Edition Mauthausen, 1974.

MATERIAL-ARCHIV: *Solnhofener Plattenkalk*. Material-Archiv, 2015. https://materialarchiv.ch/de/ma:material_1714

- A. MBEMBE: *Brutalism. Durham and London*. Duke University Press, 2024.
- S. A. MILLER; A. HORVATH; P. J. M. MONTEIRO: *Impacts of booming concrete production on water resources worldwide*. *Nature Sustainability*, 1(1), 69–76, 2018. – <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>
- H. MÖTZL; U. SCHNEIDER ET AL.: (2011). *Bauen mit recycros (Subprojekt 2 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“)*. Projektbericht im Rahmen des Programms Haus der Zukunft. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie, 2011. https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz.pdf/endbericht_I130_recycros.pdf
- A. J. NATH; R. LAL; A. K. DAS: *Fired Bricks: CO₂ Emission and Food Insecurity*. *Global Challenges*, 2(4), 1700115, 2018. – <https://doi.org/10.1002/gch2.201700115>
- D. NOLL: *Socio-ecological Impacts of Brick Kilns in the Western Ghats: A socio-metabolic analysis of small scale brick industries in the Mumbai Metropolitan Region, Maharashtra, India*. 143; *Social Ecology Working Paper*, 2015.
- C. O'REGAN: *Structural use of glass in buildings*. Second edition. The Institution of Structural Engineers, 2014.
- OECD: *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. OECD Publishing, 2019. – <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- Ökologisches Baustoffinformationssystem. *Expandierter Polystyrolschaum (EPS) Nachnutzung*. Wecobis, 2023. – www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe/aus-synthetischen-rohstoffen/eps-link.html
- M. PARTL: *Asphalt und Bitumen*. Vorlesungsskriptum. 2011. – https://archiv.ifb.ethz.ch/education/bachelor_werkstoffel/Werkstoffel_Bitumen2011.pdf
- P. PEDUZZI: *Sand, rarer than one thinks*. *Environmental Development*, 11, 208; 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.04.001>
- B. PLANK; J. STREECK; D. VIRÁG; F. KRAUSMANN; H. HABERL; D. WIEDENHOFER: *From resource extraction to manufacturing and construction: Flows of stock-building materials in 177 countries from 1900 to 2016*. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106122; 2022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106122>
- B. PLANK; J. STREECK; D. VIRÁG; F. KRAUSMANN; H. HABERL; D. WIEDENHOFER: *Compilation of an economy-wide material flow database for 14 stock-building materials in 177 countries from 1900 to 2016*. *MethodsX*, 9, 101654; 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101654>
- D. W. PIKE: *Spaniards in the Holocaust: Mauthausen, the horror on the Danube*. Routledge, 2020
- M. POPFLOW: *Technik im Mittelalter*. 2010.
- A. PSENNER: *Stadtparterre*. Jovis Verlag, Berlin, 2023.
- T. PURLE: *Granit – Eigenschaften, Verwendung und Entstehung*. 2024. www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=3&l=G&name=Granit
- R. RAINER: *Wien und das Wiener Becken*. in: *Raumforschung und Raumordnung*. S.108. 1942.
- R. RAINER: *Planungskonzept Wien*. Verlag für Jugend und Volk GmbH, Wien, 1962

- R. RAINER: *Gegendarstellung*. FORVM, No. 480, 12/93; 1993.
- D. REDDING: *Seit wann gibt es Plastik? Eine kurze Geschichte des Kunststoffes*. thema vorarlberg, 16.10.2020. – <https://themavorarlberg.at/wirtschaft/seit-wann-gibt-es-plastik-eine-kurze-geschichte-des-kunststoffs>
- S. REINBERGER; K.-D. LINSMEIER: *Schwer belastbares Sandwich*. Spektrum.de, 2006. www.spektrum.de/news/schwer-belastbares-sandwich/847577
- P. REINKEMEIER; A. SCHANBACHER: *Schauplätze der Umweltgeschichte in Nordrhein-Westfalen*. Werkstattbericht 1024; Graduiertenkolleg. Göttingen University Press, 2016. <https://doi.org/10.17875/gup2016-964>
- T. M. ROMM; N. SUMMHAMMER; T. BELAZZI; M. HÄRTEL; J. HORVATH; E. GRÖSS; L. KUJAWA; R. HOCH; M. MARRA; R. PAMMINGER; M. LÖFFLER; F. DENK: *Implementierung von CO₂-reduzierten Betonen auf der Baustelle*. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*. Projektbericht im Rahmen einer Bund-Bundesländerkooperation des BMK. Stadt der Zukunft und der Stadt Wien, 2021. – https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz.pdf/schriftenreihe-2021-30_rcc.pdf
- T. ROMM; T. KASPER: *Ökoeffizientes Bauen mit Ressourcen vor Ort*. / In P. RIEGLER-FLOORS; J. SEGGEWIES; A. HILLEBRANDT; A. ROSEN (Hrsg.): *Atlas Recycling – Gebäude als Materialressource* (S. 36–39). Edition Detail, 2021.
- G. ROSENBERG: *Der kalkalpine Wienerwald um Kaltenleutgeben. (NÖ und Wien)*. In *Geologische Bundesanstalt (Hrsg.), Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt (Bd. 108, S. 115–153)*, 1965. – https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/JBI08I_115_A.pdf
- U. SCHEUB; H. PIEFLOW; H. P. SCHMIDT: *Terra Preta – Die schwarze Revolution*. oekom Verlag, 2013.
- K. SCRIVENER; F. MARTIRENA; S. BISHNOI; S. MAITY: *Calcined clay limestone cements (LC3)*. *Cement and Concrete Research*, 114, 49–56; 2018. – <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017>
- S. SEAN; S. J. WILSON; R. GRAU; A. S. NANNI; J. SCHELHAS: *Forest ecosystem-service transitions: The ecological dimensions of the forest transition*. 2017. <https://doi.org/10.5751/ES-09615-220438>
- A. M. SOMMA: *Charles Goodyear and the Vulcanization of Rubber*. *Connecticut History*. 2014. <https://connecticuthistory.org/charles-goodyear-and-the-vulcanization-of-rubber/>
- J. SOUVIRON; A. Z. KHAN: *The materiality of transparency: An environmental analysis of the architectural flat glass industry since 1945 in Europe, France and Belgium*. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105779; 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105779>
- R. STEFFENS; J. BERNER; L. VERSCHWELE: *Gegen die rumänische »Holzmafia«: Der Mann, der Europas ältesten Wald retten will*. Podcast. 2023. – www.spiegel.de/wissenschaft/holzmafia-in-rumaenien-wie-ein-aktivist-den-wald-retten-will-a-6c15c86-6436-44d7-a717-a78f19delbbb
- K. STINGL: *Stein / E. BILEK-CZERNY (Hrsg), Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Kultur und Wissenschaft, 2007.*

D. A. STOCKS: *Experiments in Egyptian Archaeology: Stoneworking Technology in Ancient Egypt*. Routledge, 2003.

SWISSASPHALT: *Asphaltgeschichten*. 2023. – www.swissasphalt.ch/pages/de/geschichten.html#:~:text=Der%20nat%C3%BCrliche%20Asphalt

K. TARCSAY: *Vorindustrielle Glasherstellung in Niederösterreich*. / In E. BILEK-CZERNY: *Glas: Baustoff und Kunstwerk* (Bd. 41), 2009.

THERESIANUM. 2024. – www.theresianum.ac.at/de/stiftung/kuratorium/geschichte/sr/1/sw/geschichte+theresianum [Zuletzt aufgerufen 10.9.2024]

A. TORRES; S. O. S. E. ZU ERMGASSEN; F. FERRI-YANEZ; L. M. NAVARRO; I. M. D. ROSA; F. Z. TEIXEIRA; C. WITTKOPP; J. LIU: *Unearthing the global impact of mining construction minerals on biodiversity*. S. 2022.03.23.485272. bioRxiv, 2022. <https://doi.org/10.1101/2022.03.23.485272>

G. TÓTH; É. KIS; G. PROKOP; M. GREGOR; J. FONS; R. AGRÀS; E. MANCOSU: *Impact of Soil Sealing on Soil Carbon Sequestration, Water Storage Potentials and Biomass Productivity in Functional Urban Areas of the European Union and the United Kingdom*. Land, 11, 840; 2022. – <https://doi.org/10.3390/land11060840>

UMWELTBUNDESAMT: *Austria's National Inventory Report 2022*. Umweltbundesamt GmbH, 2023. – www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep08II.pdf

D. VIRÁG; D. WIEDENHOFER; W. HAAS; H. HABERL; G. KALT; F. KRAUSMANN: *The stock-flow-service nexus of personal mobility in an urban context: Vienna, Austria*. Environmental Development, 41, 100628; 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100628>

VOESTALPINE STAHL GMBH: *Umwelterklärung 2022*. 2023a. – www.voestalpine.com/stella/content/download/54264/file/221207_Umwelterkla%CC%88rung_2022_D.pdf

VOESTALPINE STAHL GMBH: *Umwelterklärung 2022 Donawitz*. 2023b. – www.voestalpine.com/stahldonawitz/static/sites/stahldonawitz/downloads/de/Umwelterklaerung-VASD_2022_validiert.pdf

C. VÖLKER; J. KRAMM; L. SATTLEGGER; L. ZIMMERMANN; P. BENTHEIMER; F. ELFERS; P. FLORIDES; N. FEILBERG; V. FEUCHT; T. HOLZER; K. HÖFNER; K. LENK; K. MALCHEROWITZ; W. MUNDER; J. RAHNER, S. SAVELYEVA: *Sozial-ökologische Exkursion „Plastik in der Umwelt“*. 2020

M. VOLZ: *Das Vollholz*. / In *Holzbau Atlas* (S. 30–46). Birkhäuser, 2013. <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614580.30>

U. VON RAUCHHAUPT: *Hammer-Gestein: Geschichte und Geologie des Granits*. FAZ.NET, 2023. – www.faz.net/aktuell/wissen/erde-klima/hammer-gestein-geschichte-und-geologie-des-granits-18613256.html

VÖZ: *Wie Was Wenn Roadmap zur CO₂-Neutralität der österreichischen Zementindustrie bis 2050*. Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, 2022. https://zement.at/downloads/downloads_2022/Roadmap_VOEZ_bis_2050.pdf

G. WEBER: *Verschandelt! Verschleudert! Verbaut!* / In K. MAYER, K. RITTER, A. FITZ, ARCHITEKTURZENTRUM WIEN (Hrsg.): *Boden für Alle*. Park Books, 2020.

L. WEBER: *Der Österreichische Rohstoffplan*. No. 26; Archiv für Lagerstättenforschung. Geologische Bundesanstalt, 2012.

C. D. WESTBROEK, J. BITTING; M. CRAGLIA; J. M. C. AZEVEDO; J. M. CULLEN: *Global material flow analysis of glass: From raw materials to end of life*. Journal of Industrial Ecology, 25(2), 333–343, 2021. – <https://doi.org/10.1111/jiec.13112>

M. WIELAND: *Donawitz – Mehr als ein Stadtteil von Leoben*. Selbstverlag des Obersteirischen Kulturbundes, 1994.

S. WITZGALL; K. STAKEMEIER: *Vorwort der Herausgeberinnen*. / In S. WITZGALL; K. STAKEMEIER (Hg.): *Die Gegenwart der Zukunft*. Zürich-Berlin: diaphanes, 2016.

S. WITZGALL: *Auf der Suche nach der Zukunft*. / In S. WITZGALL; K. STAKEMEIER (Hg.): *Die Gegenwart der Zukunft*. Zürich-Berlin: diaphanes, 2016

WIKIPEDIA: *Ahlemer Asphalt-Gruben*. In Wikipedia, 2023a. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ahlemer_Ashphalt-Gruben&oldid=235282770

WIKIPEDIA: *Makadam*. In Wikipedia, 2023b. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Makadam&oldid=239364107>

B. C. WINKLER: *Die Eisen- und Stahlerzeugung in Donawitz auf der Steirischen Eisenstrasse*. Masterarbeit. Karl-Franzens-Universität Graz, 2012.

WKO: *Deponieverordnung Novelle 2020*. wko.at, 2020. www.wko.at/service/ooe/umwelt-energie/deponieverordnung-novelle-2020.html

WOHNSERVICE WIEN GES.M.B.H.: *Wien und die „Ziegelböhme“*. 2014. https://wohnpartner-wien.at/fileadmin/Downloads/Broschueren/wohnpartner_Ziegelboehm2014.pdf

WORLD STEEL ASSOCIATION: *Steel and raw materials*. Fact sheet. World Steel Association, 2023a. – <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-raw-materials-2023.pdf>

WORLD STEEL ASSOCIATION: *World Steel in Figures*. 2023b. – www.worldsteel.org

S. WÖRNER: *Asphalt – Stoff der Grossstadt*. / In T. HENGARTNER; J. ROHLSHOVEN: *Technik – Kultur. Formen der Veralltäglichen von Technik – Technisches als Alltag*. S.121–139. 1998.

S. ZDZIEBLOWSKI: *Ungewöhnliches Gebäude in Çatalhöyük entdeckt*. ANTIKE WELT, 30.09.2022. – <https://antikewelt.de/2022/09/30/ungewoehnliches-gebäude-in-catalhoeyuek-entdeckt/>

REVERSE IMAGINING VIENNA – BAND II

Herausgeber

Christoph Weber, Nikolaus Eckhard

Die Publikation basiert auf dem von der Stadt Wien finanzierten künstlerischen Forschungsprojekt *Reverse Imagining Vienna*, das von 2021 bis 2024 an der Universität für angewandte Kunst stattfand.

Photo credits

Christoph Weber | S. 71, 72, 74, 81, 82, 88–90, 92–94, 96, 98, 99, 156. © Bildrecht Wien
Lea Fabienne | S. 75, 80, 82, 102, 112, 114–116, 118, 119, 122.
Philipp Pess | S. 85–87, 109. © Bildrecht Wien

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

Gestaltung

Peter Oroszlány

Diese Publikation kann unter der *Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND 4.0* distribuiert werden.

Schrift

Burgess / Colophon Foundry
Neue Haas Grotesk / Monotype

Erschienen bei / Published by

VfMK Verlag für moderne Kunst GmbH
Schwedenplatz 2/24
A-1010 Wien/Vienna
hello@vfmk.org
www.vfmk.org

Papier

Pergraphica Natural Smooth
Remake Carapace

Druck

epc nyomda, H - Budapest

© 2025 Verlag für Moderne Kunst

ISBN: 978-3-99153-152-4



 Bundesministerium
Kunst, Kultur,
öffentlicher Dienst und Sport

 Bundesdenkmalamt

di:'angewandte
Universität für angewandte Kunst Wien
University of Applied Arts Vienna

 Zentrum Fokus Forschung
University of Applied Arts Vienna

 **AIL** angewandte
interdisciplinary
lab
at.angewandte.at
platform for art,
sciences and
artistic research



Texte

Johannes Weber

Josepha Edbauer

Michael Wagreich

Peter Fichtinger

Sebastian Hafner

Tess Posch

Christoph Weber

Nikolaus Eckhard