

Untersuchungsbericht

Gefallenendenkmal in Nimburg
Naturwissenschaftliche Voruntersuchungen zu Schäden am Kunststein / Beton

Berichts-Nr.: 904 0654 000

Auftraggeber: Steinprojekt, Fachberatung und Fachbauleitung
Natursteinrestaurierung und Denkmalpflege
Nonnenbergweg 21
78126 Königsfeld im Schwarzwald

Auftrags-Nr. (Kunde):

Auftrags-Nr. (MPA): 904 0654 000 /Ban

Prüfgegenstand: mehrere Materialproben

Prüfspezifikation mit
Ausgabedatum: siehe Bericht

Eingangsdatum des
Prüfgegenstandes: ---

Datum der Prüfung: Januar - Juni 2022

Datum des Berichts: 30.06.2022

Seite 1 von 7 Textseiten

Beilagen: 16

Anlagen: 0

Gesamtseitenzahl: 23

Anzahl der Ausfertigungen: 3

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

1 Aufgabenstellung

Herr Dietmar Bader von der Firma Steinprojekt in 78126 Königsfeld im Schwarzwald beauftragte die MPA an der Universität Stuttgart mit der Untersuchung von Schäden am Gefallenendenkmal in Nimburg am Kaiserstuhl.

Das Gefallenendenkmal steht am Rande der Ortschaft Nimburg auf einem Hügel / Weinberg und ist frei bewittert. Das Denkmal wurde 1928/29 errichtet und in der Folgezeit mehrfach instandgesetzt.

Nach einer Instandsetzung im 1967 folgte eine weitere Maßnahme im Jahr 2008, ausgeführt durch die Firma Chemobau. In der Zwischenzeit sind erneut erhebliche Schäden mit Rissbildungen und Abplatzungen aufgetreten. Insgesamt liegen bereits mehrere Untersuchungen und Gutachten vor.

Das Objekt wurde im März 2022 besichtigt und es liegen Schäden durch Aufplatzen des gelblichen Anstriches, Abplatzen der jüngeren Ergänzungsmörtel, Rissbildungen und zahlreiche weißliche Salzausblühungen vor. Aktuelle Fotos der Schäden sind in Bild 1 bis Bild 6 zu sehen.

2 Durchgeführte Untersuchungen

An von Herrn Bader entnommenen Bohrmehlproben wurden die löslichen Salzgehalte mit Hilfen der Ionenchromatografie (An- und Kationenkonzentrationen) bestimmt. Kratzproben von Salzen und eine Materialprobe des Kernbetons wurde mit Röntgendiffraktometrie zur Phasenanalyse untersucht. Weiterhin wurden der Vorsatzbeton mit jüngeren PCC – Mörteln und der Kernbeton mit Hilfe von Dünnschliffen unter dem Polarisationslichtmikroskop untersucht.

Die für die Untersuchung zur Verfügung stehenden Proben sind in nachstehender Tabelle 1 aufgeführt und beschrieben.

Tabelle 1: Probenliste und makroskopische Probenbeschreibung

- GDN 1** Postament Nord, unterhalb der 4. Fuge links der Schrifttafel, Bruchstück mit originalem Vorsatzmörtel und Reparaturmörtel
- GDN 2** Postament Süd, oberhalb der 6. Fuge, Südostecke, Bruchstück des Reparaturmörtels der letzten Sanierung
- GDN 3.1** Postament, West, oberhalb der 5. Fuge, links neben der Schrifttafel, Reparaturmörtel, Tiefe 0-1 cm

- GDN 3.2** Postament, West, oberhalb der 5. Fuge, links neben der Schrifttafel, Reparaturmörtel, Tiefe 1-2 cm
- GDN 3.3** Postament, West, oberhalb der 5. Fuge, links neben der Schrifttafel, Vorsatzmörtel / Kunststein, Tiefe 2-4 cm
- GDN 3.4** Postament, West, oberhalb der 5. Fuge, links neben der Schrifttafel, Übergangsbereich Vorsatzmörtel/Kunststein zu Kernbeton, Tiefe 4-6 cm
- GDN 3.5** Postament, West, oberhalb der 5. Fuge, links neben der Schrifttafel, Kernbeton, Tiefe 6-10cm
- GDN 3.6** Postament, West, oberhalb der 5. Fuge, links neben der Schrifttafel, Kernbeton, Tiefe 10-18 cm
- GDN 4.1** Stufengiebel, Ost, unterste Stufe mittig über der Schrifttafel, augenscheinlich Vorsatzmörtel / Kunststein, Tiefe 0-1 cm
- GDN 4.2** Stufengiebel Ost, unterste Stufe mittig über der Schrifttafel, augenscheinlich Vorsatzmörtel / Kunststein, Tiefe 1-2 cm
- GDN 4.3** Stufengiebel Ost, unterste Stufe mittig über der Schrifttafel, Übergangsphase Vorsatzmörtel / Kunststein zu Kernbeton, Tiefe 2-4cm
- GDN 4.4** Stufengiebel Ost, unterste Stufe mittig über der Schrifttafel, Übergangsphase Vorsatzmörtel / Kunststein zu Kernbeton, Tiefe 4-6 cm
- GDN 4.5** Stufengiebel Ost, unterste Stufe mittig über der Schrifttafel, Kernbeton, Tiefe 6-10 cm
- GDN 5** Postament Ost, unterhalb der ersten Fuge, mittig unter der Schrifttafel, Salzkruste, aufliegend in Fehlstelle, Tiefe 0-1 cm
- GDN 6** Stufengiebel West, unterste Stufe rechts unterhalb der Schrifttafel, Bruchstück mit Reparaturmörtel „schwarz“
- GDN 7** Postament, gesamtes Objekt, abgelöste Beschichtung der letzten Sanierungsphase
- GDN 8** Kernbeton
- GDN 8.1 und 8.2** Bohrmehl vom Kernbeton
- Lesestein** wahrscheinlich Bruchstück des historischen Vorsatzbetones

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Salzbelastung

Die Untersuchungsergebnisse der quantitativen Salzbelastung sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 2: Anionenkonzentrationen, Angaben in M.-% und elektrische Leitfähigkeit am Eluat

| Probe | Material | Lokalität | Cl ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Leitf. μS/cm |
|-------|----------|------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| P 3-1 | VM | 0 - 1 cm | 0,02 | <0,01 | 0,01 | 0,11 | 557 |
| P 3-2 | VM | 1 - 2 cm | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,22 | 248 |
| P 3-3 | VM | 2 - 4 cm | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,04 | 1848 |
| P 3-4 | Ü/KB | 4 - 6 cm | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,03 | 1135 |
| P 3-5 | KB | 6 - 10 cm | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,06 | 381 |
| P 3-6 | KB | 10 - 18 cm | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 659 |
| P 4-1 | VM | 0 - 1 cm | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,07 | 710 |
| P 4-2 | VM | 1 - 2 cm | <0,01 | <0,01 | 0,01 | 0,06 | 1083 |
| P 4-3 | Ü/KB | 2 - 4 cm | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,06 | 1823 |
| P 4-4 | KB | 4 - 6 cm | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,09 | 807 |
| P 4-5 | KB | 6 - 10 cm | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,09 | 510 |
| P 8-1 | KB | Bruchstück | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,04 | 400 |
| P 8-2 | KB | Bruchstück | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,19 | 764 |

Erläuterungen: KB = Kernbeton, VM = Vorsatzmörtel, Ü/KB = Übergangsbereich zu Kernbeton

Tabelle 3: Kationenkonzentrationen, Angaben in M.-%

| Probe | Material | Tiefe | Na ⁺ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|-------|----------|------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| P 3-1 | VM | 0 - 1 cm | 0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,48 |
| P 3-2 | VM | 1 - 2 cm | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,77 |
| P 3-3 | VM | 2 - 4 cm | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 1,40 |
| P 3-4 | Ü/KB | 4 - 6 cm | 0,06 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | 0,66 |
| P 3-5 | KB | 6 - 10 cm | 0,06 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | 0,16 |
| P 3-6 | KB | 10 - 18 cm | 0,05 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,24 |
| P 4-1 | VM | 0 - 1 cm | 0,02 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | 0,94 |
| P 4-2 | VM | 1 - 2 cm | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 1,67 |
| P 4-3 | Ü/KB | 2 - 4 cm | 0,06 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | 0,41 |
| P 4-4 | KB | 4 - 6 cm | 0,05 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,29 |
| P 4-5 | KB | 6 - 10 cm | 0,07 | <0,01 | 0,03 | <0,01 | 0,30 |
| P 8-1 | KB | Bruchstück | 0,07 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,05 |
| P 8-2 | KB | Bruchstück | 0,16 | <0,01 | 0,06 | <0,01 | 0,29 |

Wertung der Ergebnisse: Es liegt keine Salzbelastung mit Chlorid- und Nitratsalzen vor. Die nachgewiesenen Sulfate sind im Kernbeton gering und in den Proben der Vorsatzschale im normalen Konzentrationsbereich. Portlandzement enthält immer eine geringe Zugabemenge an Sulfatträger (Gips bzw. Anhydrit) als Erstarrungsregler. An den aufgenommenen Chromatogrammen der Proben ist erkennbar, dass lösliche Karbonate vorliegen.

Insbesondere die löslichen Kationenkonzentrationen zeigen, dass Natriumkarbonate vorliegen (dies wird durch die Phasenanalyse mit Röntgenbeugung an den auskristallisierten Salzen bestätigt). Weiterhin ist ein Zusammenhang zwischen erhöhten Natriumkonzentrationen und dem Kernbeton erkennbar. Dieser stellt die „Quelle“ für lösliche Natriumionen dar.

3.2 Phasenanalyse mit Röntgenbeugung

Die Untersuchung von Salzausblühungen zur Phasenanalyse hat verschiedene, meist wasserhaltige Natriumkarbonate ergeben. Stellenweise tritt auch Natriumsulfat auf, die hierfür notwendigen Sulfationen stammen aus den angetragenen Reparaturmörteln (Bild 7, Bild 9)

Die an Bindemittel angereicherte Probe des Kernbetons hat Natrolit und Vaterit, eine metastabile Karbonatmodifikation gezeigt (Bild 8). In Probe GDN 5 sind auch Hinweise auf die Gesteinskörnung des Kernbetones erkennbar, die Minerale Analcim, Hauyn und Wollastonit neben Kalifeldspat deuten auf Phonolith bzw. ein foides Alkaligestein (untersättigt an SiO_2) hin.

3.3 Mikroskopische Dünnschliffauswertung

Von Bruchstücken der Vorsatzschale mit Reparaturmörtel und vom Kernbeton wurden Dünnschliffe hergestellt und diese unter dem Polarisationslichtmikroskop untersucht (siehe auch Bild 10 bis Bild 31).

Es wurde festgestellt, dass der Kernbeton ausschließlich mit Phonolith (Bötzingen) hergestellt wurde. Der Mineralbestand des Phonoliths enthält grünlichen Aegirin bzw. Aegirinaugit, verschiedene Zeolithe wie Analcim, Kalifeldspat, Hauyn, Wollastonit. Der Bindemittelanteil an Zement ist eher gering bzw. es liegt keine vernünftige Sieblinie bzw. Kornabstufung vor, sodass ein deutlich poriger Kernbeton entstanden ist.

Phonolith ist ein alkalireicher Vulkanit, der sowohl Feldspatvertreter (Nephelin, Hauyn, Sodalit, etc.) und Alkalifeldspat sowie Aegirin-Augit enthält. Das Gestein ist reich an Mineralen mit viel Na_2O und K_2O . Der Phonolith von Bötzingen am Kaiserstuhl enthält durch autohydrothermale Überprägung viel Analcim und weitere Zeolithe.

Die historische Vorsatzschale hingegen enthält poröse, karbonatische Gesteinskörnung mit sparitisch – mikritischer Kristallisation, möglicherweise handelt es sich um Kalksandstein aus Pfaffenweiler. Als Bindemittel wurde in beiden Betonen Portlandzement verwendet.

Die jüngeren Ergänzungen und Antragungen enthalten Rheinsande als Gesteinskörnung und Portlandzement im Bindemittel. In Rissen sieht man Gelbildungen, die auf eine Schädigung durch

AKR hinweisen. Die hierfür notwendigen Alkalien (Na, K) kommen aus dem Kernbeton, das SiO_2 aus den Rheinsanden, die kryptokristalline Kieselschiefer enthalten. Feuchte ist reichlich vorhanden.

4 Zusammenfassende Ergebnisinterpretation

Die aktuell sichtbaren Schäden an der Stele des Gefallenendenkmales in Nimburg können auf das Zusammenwirken mehrerer Ursachen zurückgeführt werden. Einerseits ist durch die freistehende Exposition eine intensive Bewitterung mit hohen Temperaturunterschieden und starker Beregnung gegeben. Dies führt durch regelmäßigen Feuchteeintrag zu einem dauerhaft hohen Feuchteniveau im Material einschließlich des Kernbetones, der auch eine gute Speicherkapazität aufweist. Hohe Temperaturunterschiede (z. B. Sonnenschein – Gewitterregen, Wind) begünstigen die Rissbildung, durch die wiederum mehr Feuchte eindringen kann.

Die spezielle Zusammensetzung des Kernbetones mit der Gesteinskörnung Phonolith bedingt eine ständige Verfügbarkeit löslicher Natriumionen aus Analcim und weiteren Zeolithmineralen. Deshalb bestehen die meisten Salzausblühungen aus wasserhaltigen Natriumkarbonaten. Natriumsulfat entsteht dort, wo zusätzlich genügend Sulfat aus den jüngeren Anstragsmörteln zur Verfügung steht. Weiterhin sind die jüngeren Anstragsmörtel auf PCC – Basis (klassische Betoninstandsetzungsmörtel) unter diesen Umständen anfällig für eine AKR (sog. Alkali-Silika-Reaktion, gerne auch als Betonkrebs bezeichnet). Auch hierfür spielt der historische Kernbeton eine wichtige Rolle, da er die löslichen Natriumionen liefert. Die Feuchte ist vorhanden und lösliches SiO_2 stammt aus der Gesteinskörnung der Mörtel selbst (Rheinsande mit kryptokristallinen Kieselschiefern).

Für eine dauerhafte Instandsetzung halten wir die Materialien der herkömmlichen Betoninstandsetzung für nicht geeignet.

Wir empfehlen die Abnahme der jüngeren PCC Spachtel bzw. Mörtel bis auf den historischen Vorsatzbeton. Das Objekt sollte dann für einen längeren Zeitraum durch eine Einhausung so vor Beregnung geschützt sein, dass zumindest eine teilweise Trocknung des Kernbetones erfolgt.

Wir greifen den bereits in einem früheren Untersuchungsbericht von Dr. Wisser genannten Sanierputz wieder auf. Mit seiner hydrophoben und vergleichsweise „weichen“ Einstellung könnte er einerseits einen ausreichenden Schutz vor Durchfeuchtung und andererseits ausreichend unempfindlich gegen Rissbildung durch Temperaturschwankungen sein. Hierzu ist aber noch eine genauere Abstimmung des Eigenschaftsprofils mit einem Mörtelhersteller notwendig.

Wichtig wäre aus unserer Sicht, den Kernbeton vor äußerem Feuchteintrag sehr gut zu schützen und eine chemische Reaktion von auslaugbaren Anteilen aus dem Phonolith des Kernbetones mit neuen Vorsatzmaterialien zu verhindern. Hierzu könnten unter Umständen auch polymergebundene Materialien in weitere Überlegungen eingebunden werden, aber hierzu sind zusätzliche Recherchen bezüglich Eignung sowie Vor- und Nachteilen notwendig.



Dr. F. Grüner
Abteilungsleiter



Bild 1: Ansicht des Gefallenendenkmales in gut erhöhter Position oberhalb von Nimburg.



Bild 2: Sockelbereich mit weißen Salzausblühungen, teilweise abgefallene Vorsatz- bzw. Reparaturmörtel



Bild 3: Obere Sockelzone, besserer Erhaltungszustand. Auch hier sind Aufwölbungen und Aufpaltzungen im gelben Anstrich und der oberen Mörtelschicht sichtbar.



Bild 4: Rissbildung im Vorsatzmörtel / Reparaturmörtel mit weißen Ausblühungen



Bild 5: Gedenktafel aus Muschelkalkstein und starke Schäden am Beton der Stele.



Bild 6: Starke Schalenbildung, abgewitterter Anstrich und erste Abplatzungen der Stele.

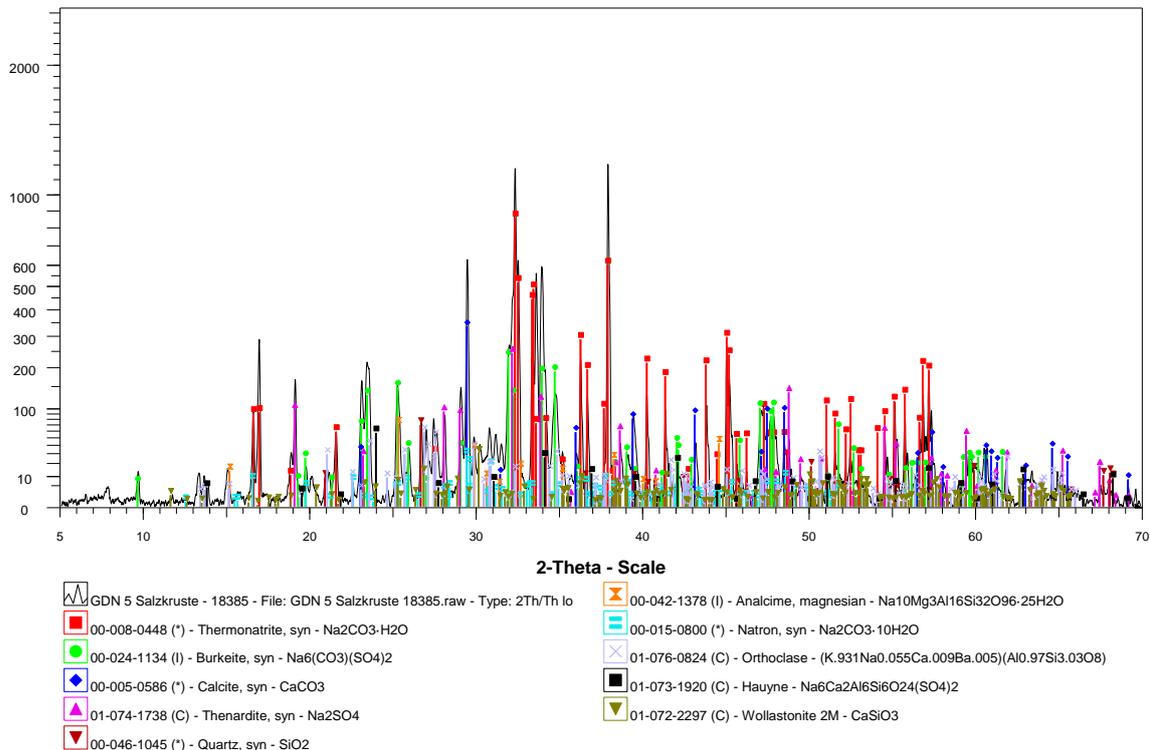


Bild 7: Probe GDN 5, neben Thenardit treten vor allem Thermonatrite, Burkeit und Natron in den Ausblühungen auf.

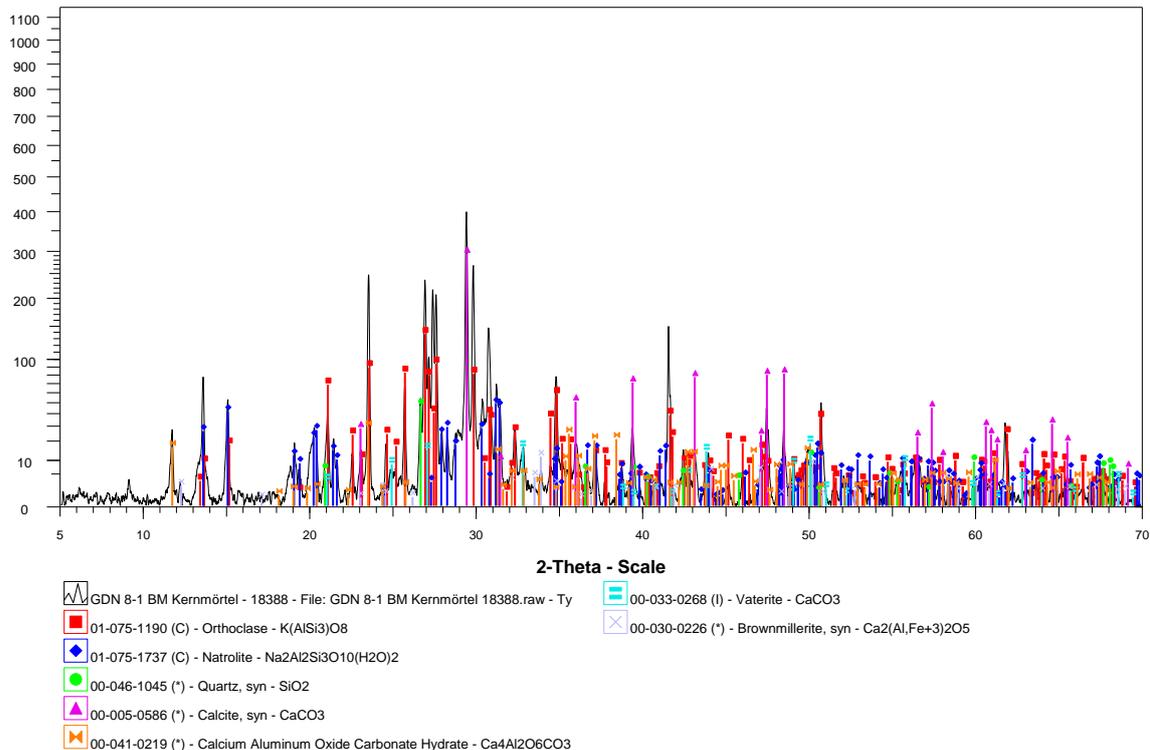


Bild 8: Probe GDN 8, Kernmörtel, Bindemittel angereichert

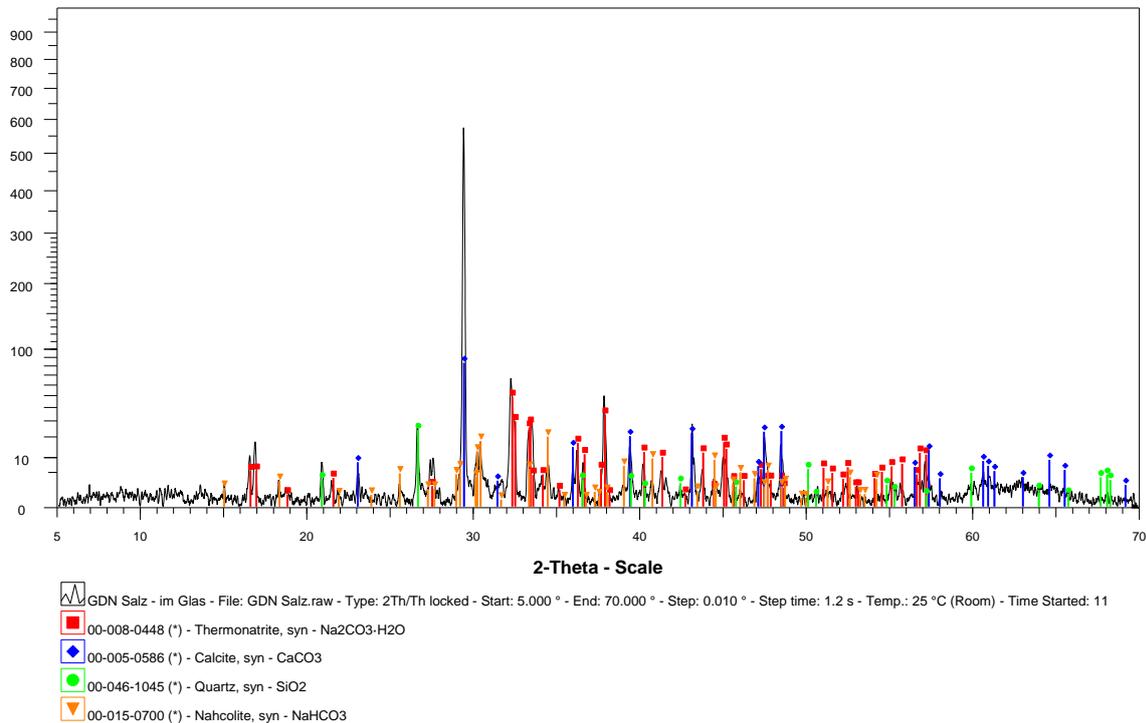


Bild 9: Probe GDN Salze, es sind Nahcolit und Thermonatrit, beides Natriumkarbonate vorhanden.

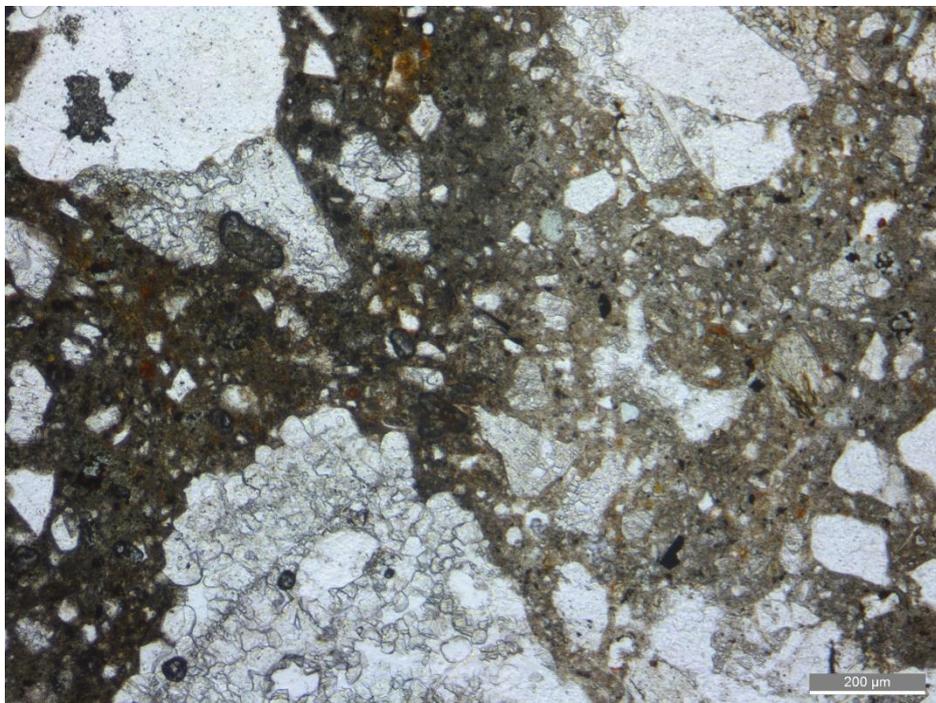


Bild 10: Probe GDN 1, Nord, Reparaturmörtel und originaler Vorsatzbeton, Aufnahme im planpolarisierten Licht. In der rechten Bildhälfte ist das Bindemittel vollständig karbonatisiert.

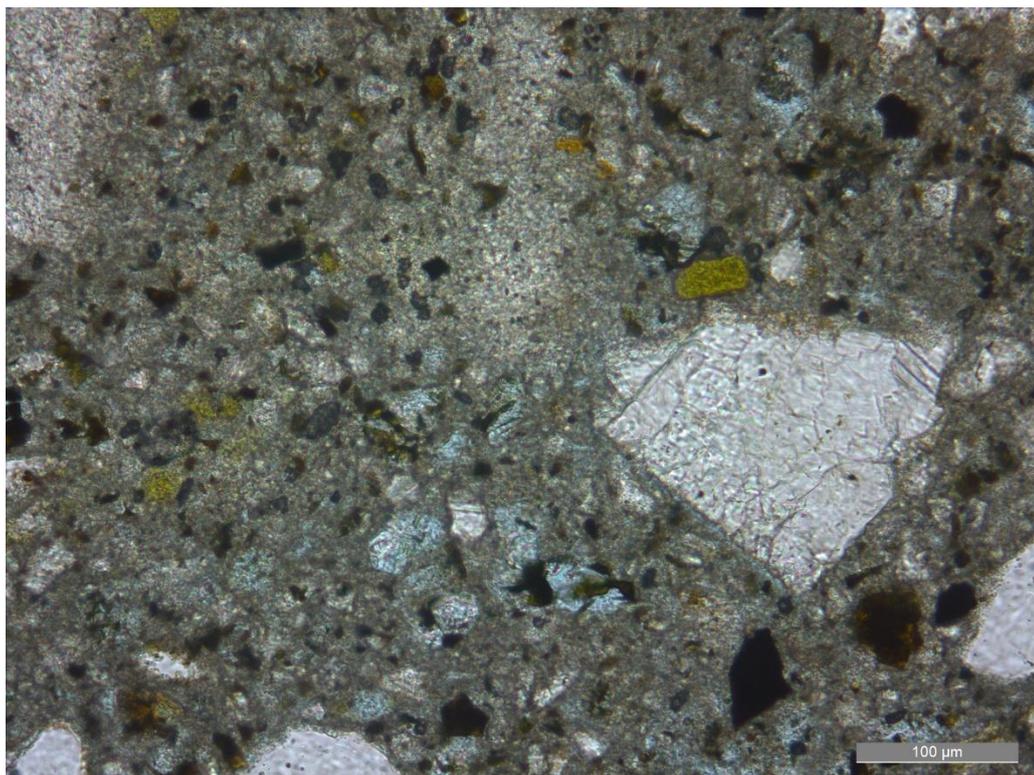


Bild 11: Probe GDN 1, Nord, poröser historischer Vorsatzbeton mit gröberem karbonatischem Zuschlag. Die Porosität ist mit blau angefärbtem Kunstharz zur Einbettung sichtbar gemacht. Daneben treten grüne Glaukonite auf. Restklinkerphasen sind nur selten erkennbar.

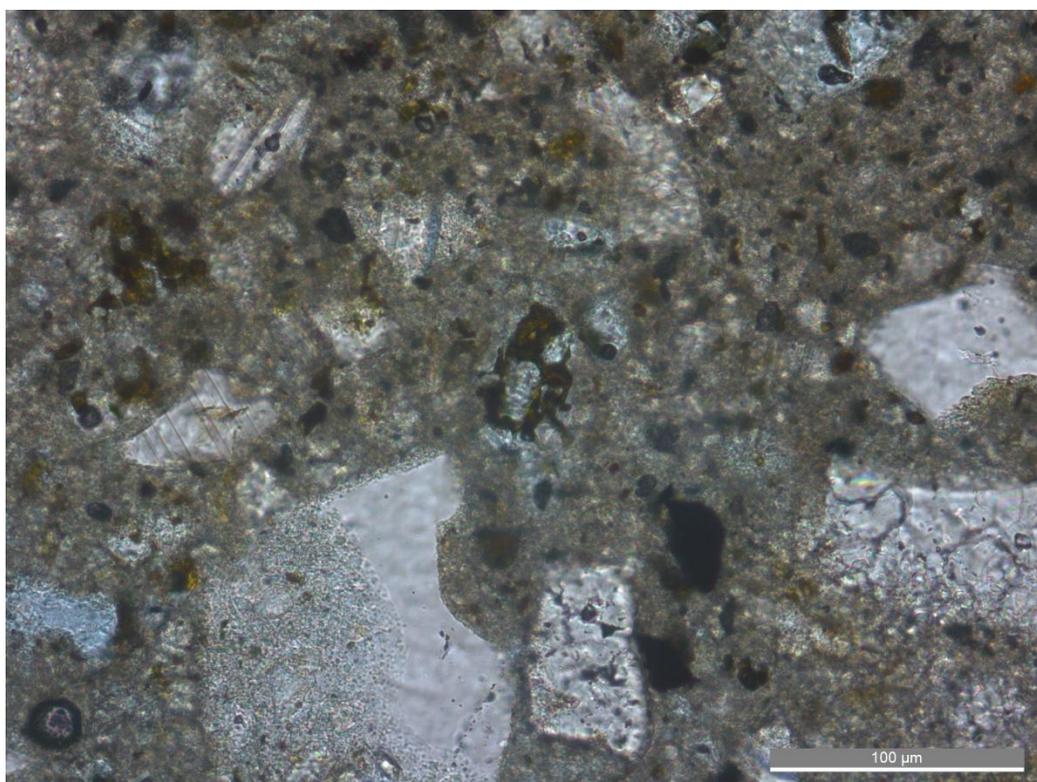


Bild 12: Probe GDN 1, Nord, in Bildmitte sind Restklinker im Bindemittel des historischen Vorsatzbetones zu sehen.

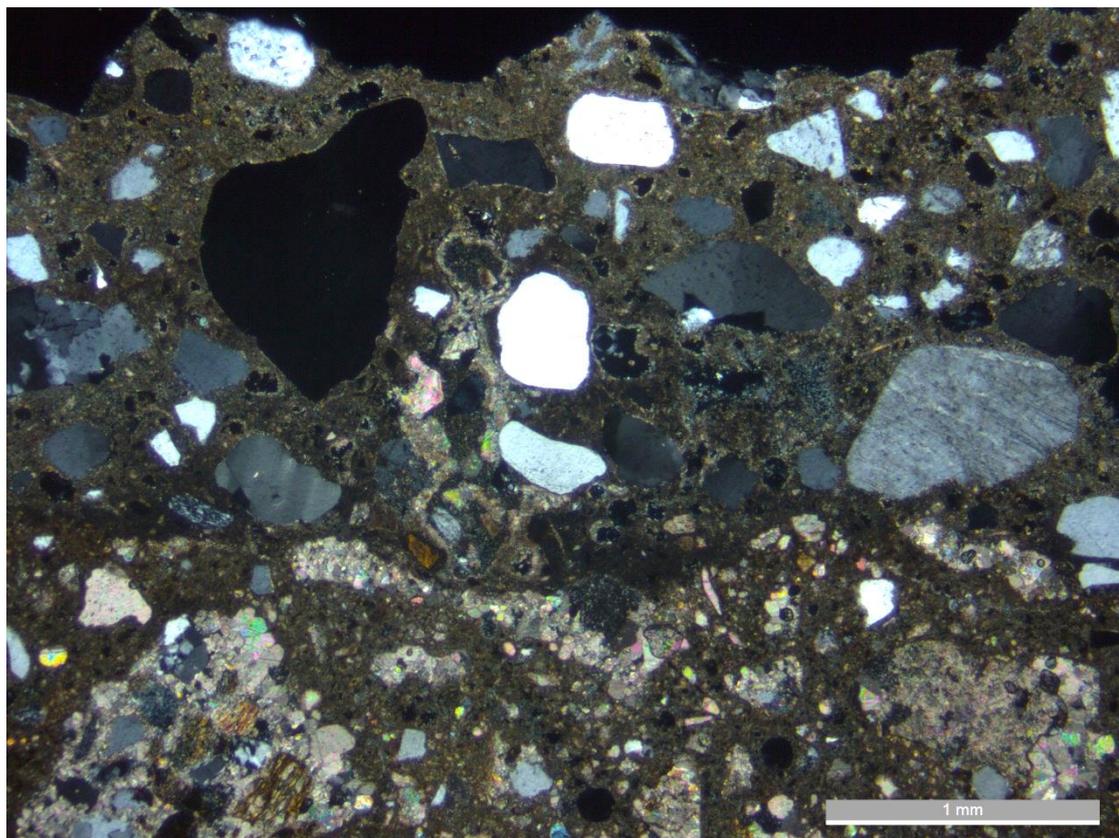


Bild 13: Probe GDN 1 Nord, obere Bildhälfte jüngerer Reparaturmörtel mit silikatischer Gesteinskörnung, unteres Bild Drittel historischer Vorsatzbeton mit überwiegend Karbonat als Gesteinszuschlag. Aufnahme unter gekreuzten Polarisatoren.

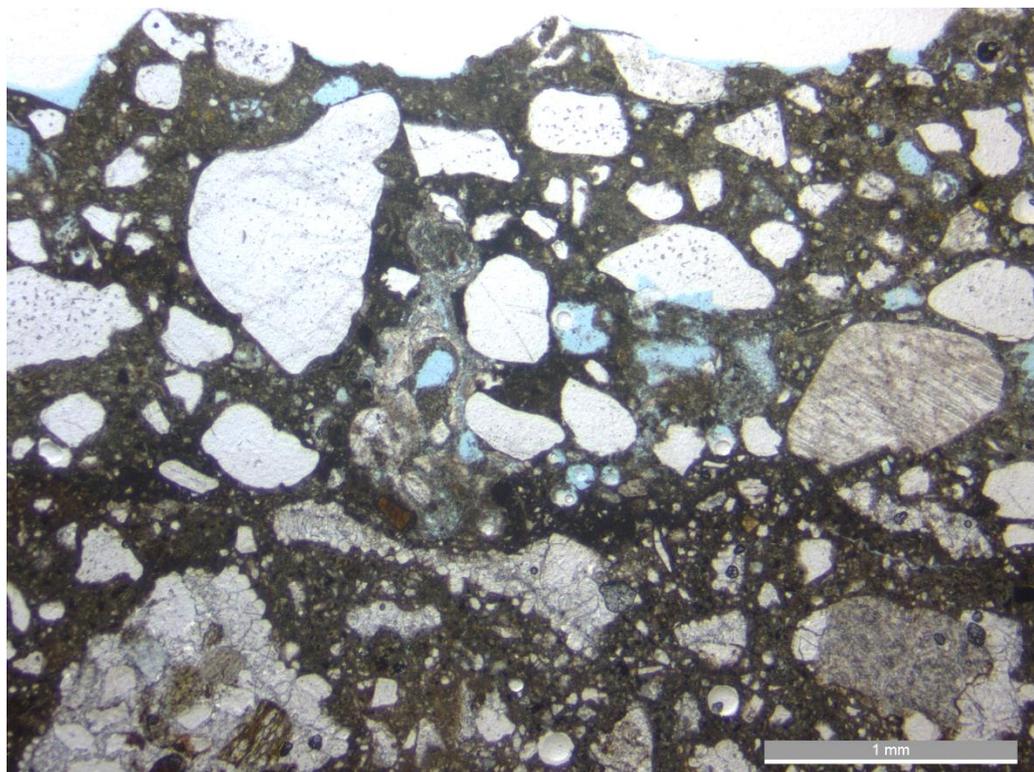


Bild 14: Probe GDN 1 Nord, selber Bildausschnitt wie vorher, jedoch planpolarisiertes Licht.

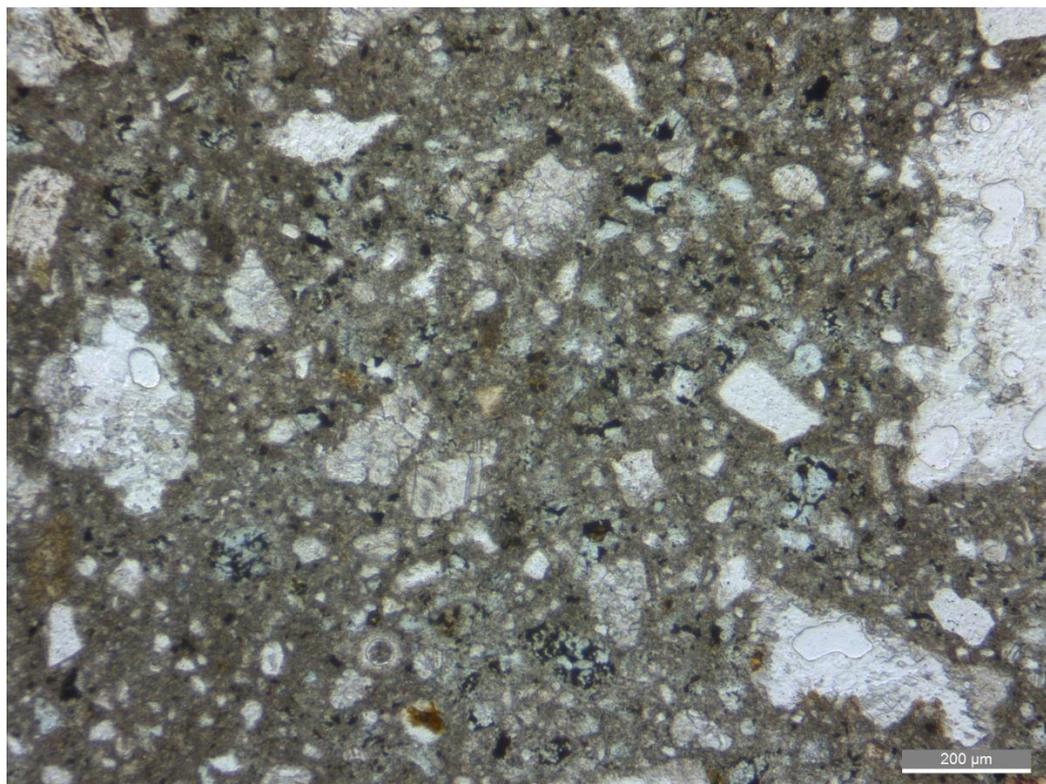


Bild 15: Probe GDN 1 Nord, im historischen Vorsatzbeton sind die Restklinkerphasen weitgehend gelöst worden. Der Kalkstein der Gesteinskörnung weist viele Löcher wie ein Kalktuff und ist grobspartitisch kristallisiert.

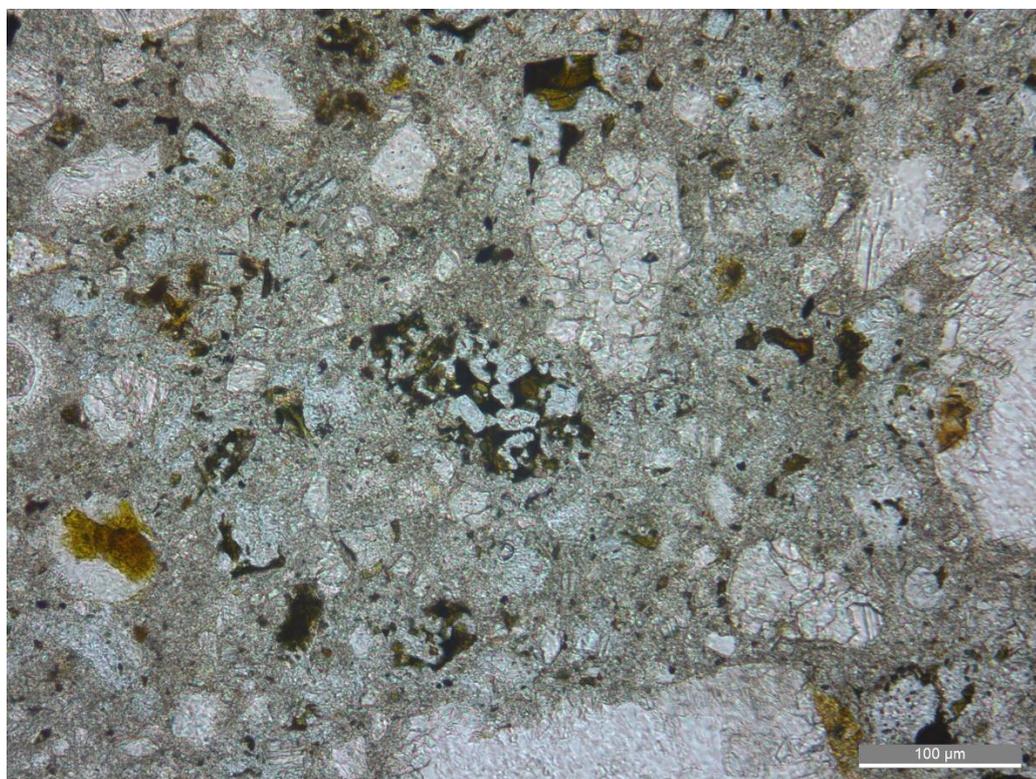


Bild 16: Probe GDN 1, Nord, in Bildmitte Restklinkeraggregat, der Kalkstein ist sparitisch kristallisiert.

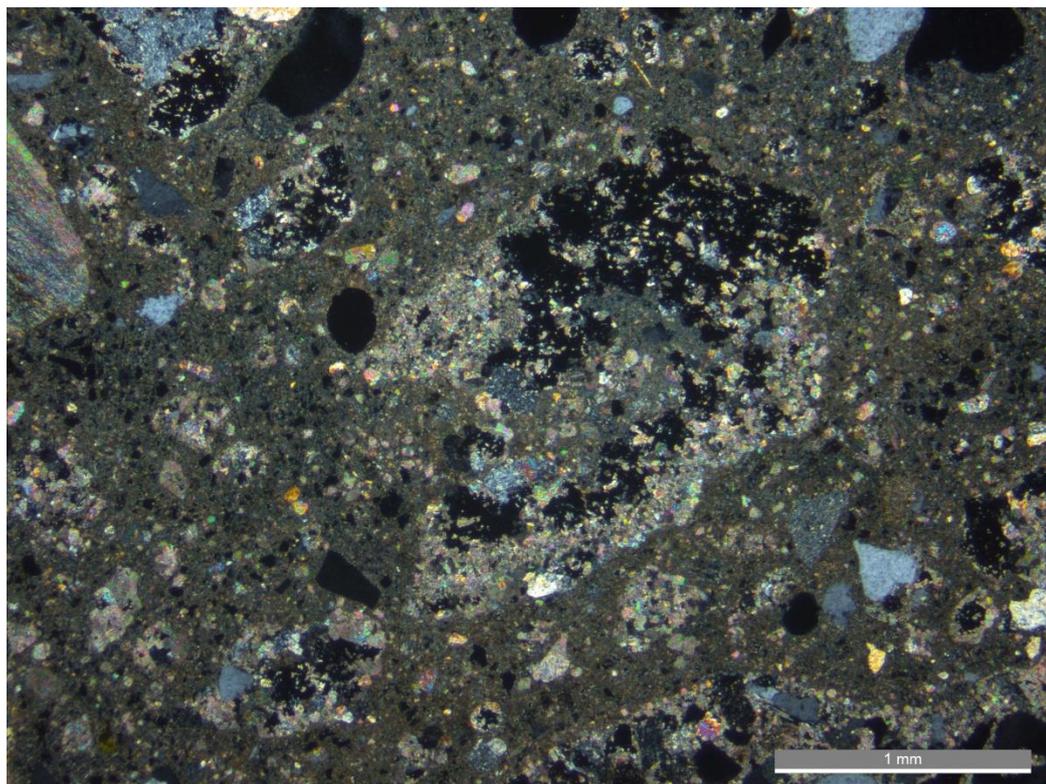


Bild 17: Probe GDN 1, Nord. Das große Kalksteinkorn in Bildmitte weist viele „Löcher“ auf. Diese erscheinen im Bild unter gekreuzten Polarisatoren schwarz.

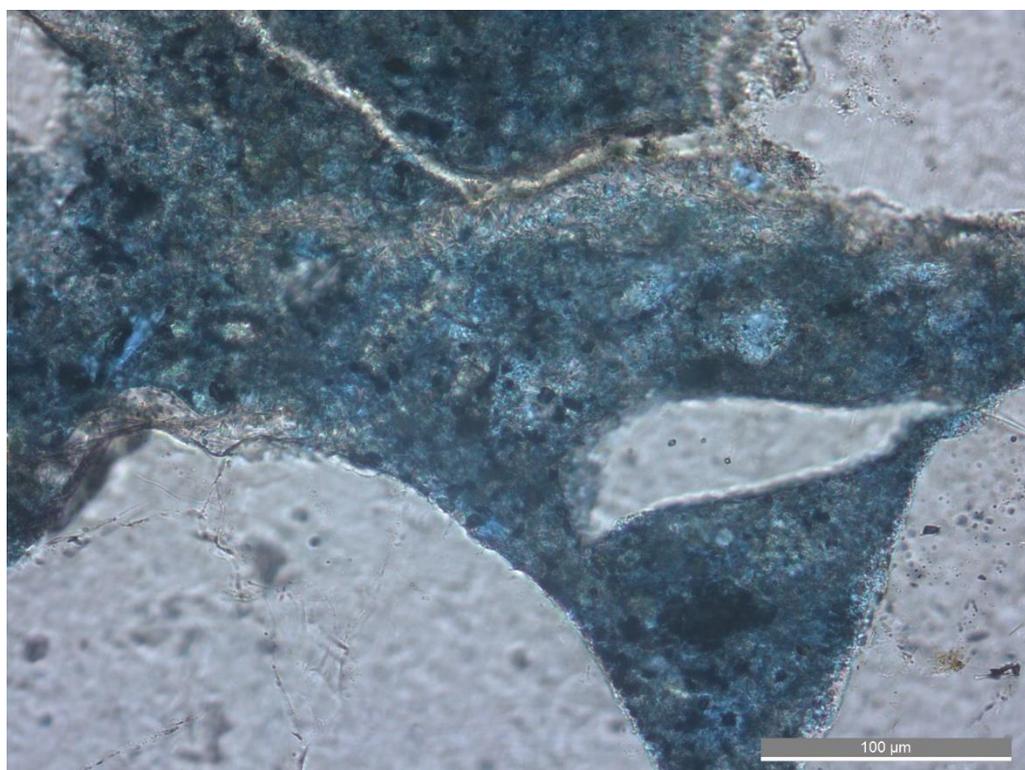


Bild 18: Probe GDN 2, Süd. Hier sind deutliche Gelbildungen in Rissen zu sehen. Diese sind typisch für eine AKR – Schädigung. Aufnahme in planpolarisiertem Licht, Bindemittelmatrix hoch porös durch Lösungsprozesse.

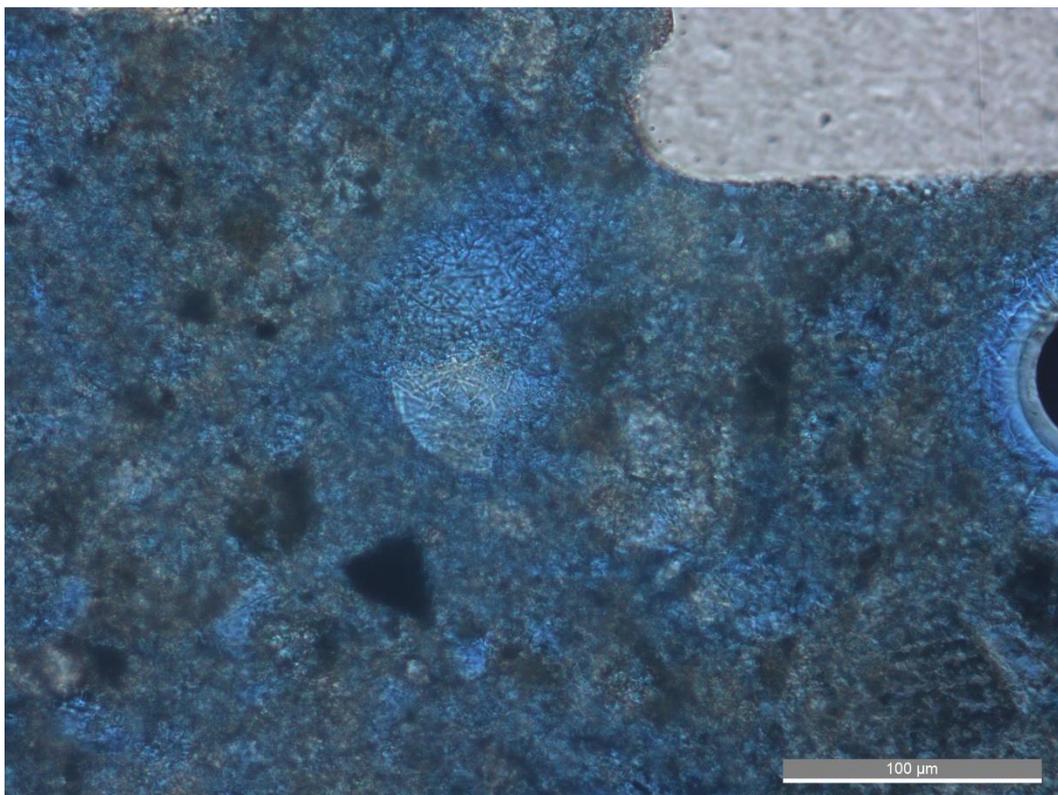


Bild 19: Probe GDN 2, neben Gelbildung (Bildmitte) sind auch viele nadelige Kristallbildungen sichtbar.

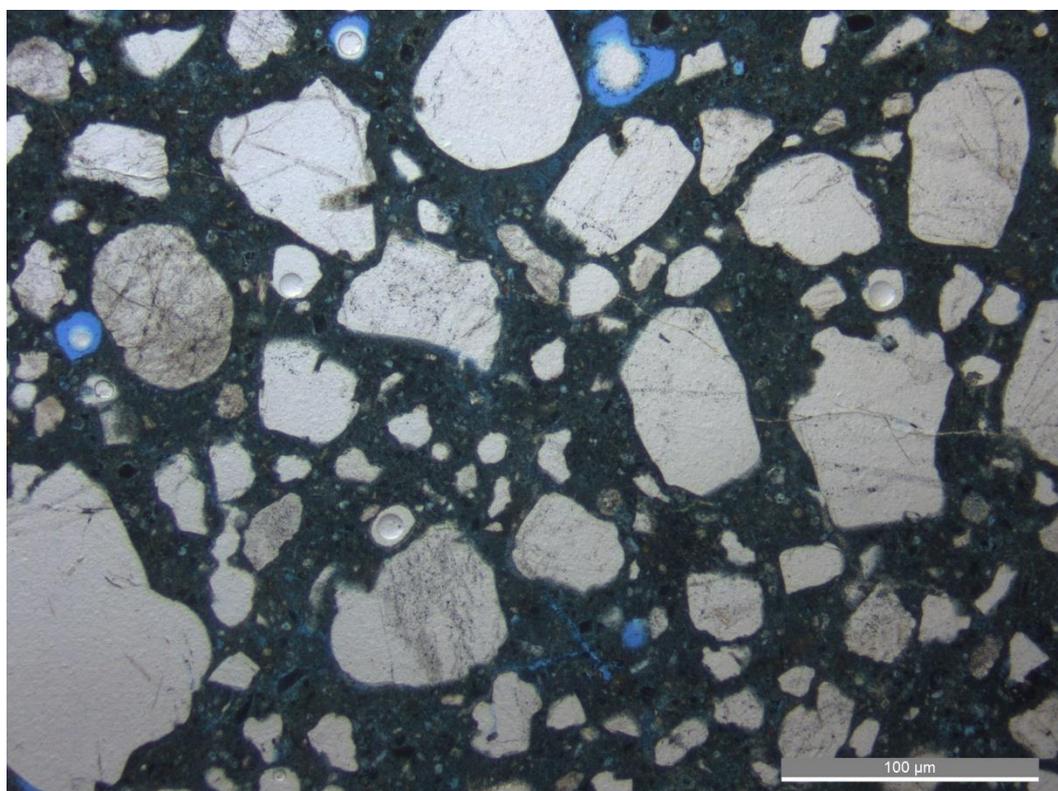


Bild 20: Probe GDN 2, jüngerer PCC – Mörtel mit Rissbildung und AKR – Gel in den Rissen.

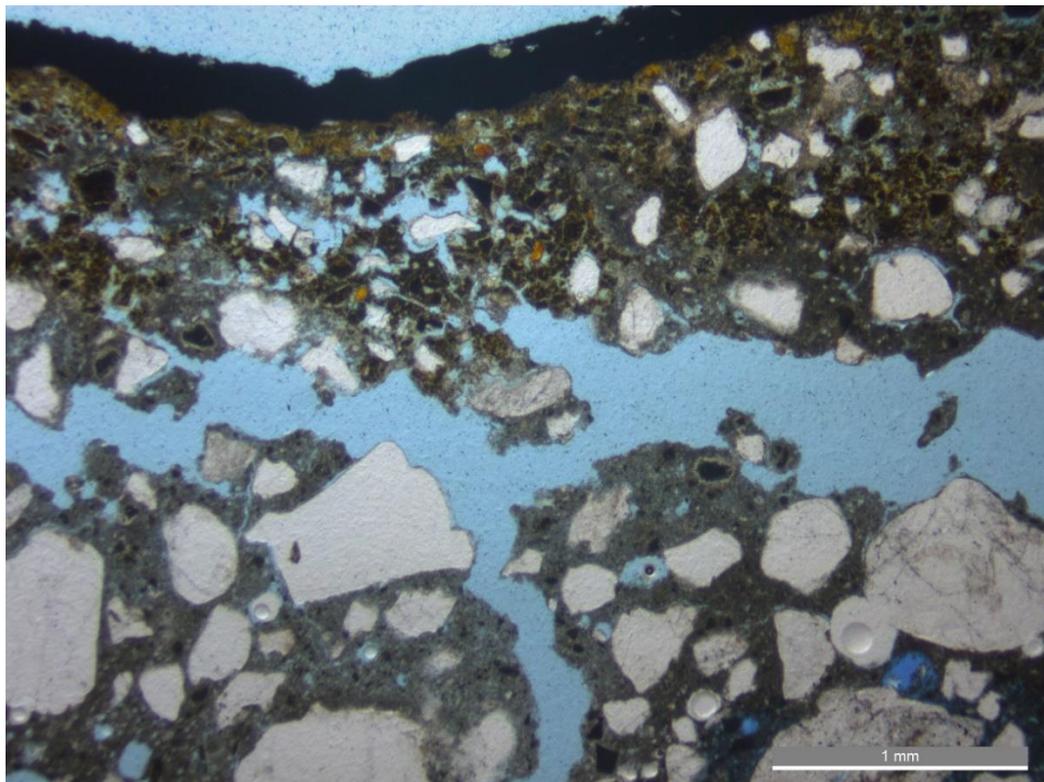


Bild 21: Probe GDN 2, breite Risse und Gefügauflösung unter der Oberfläche.

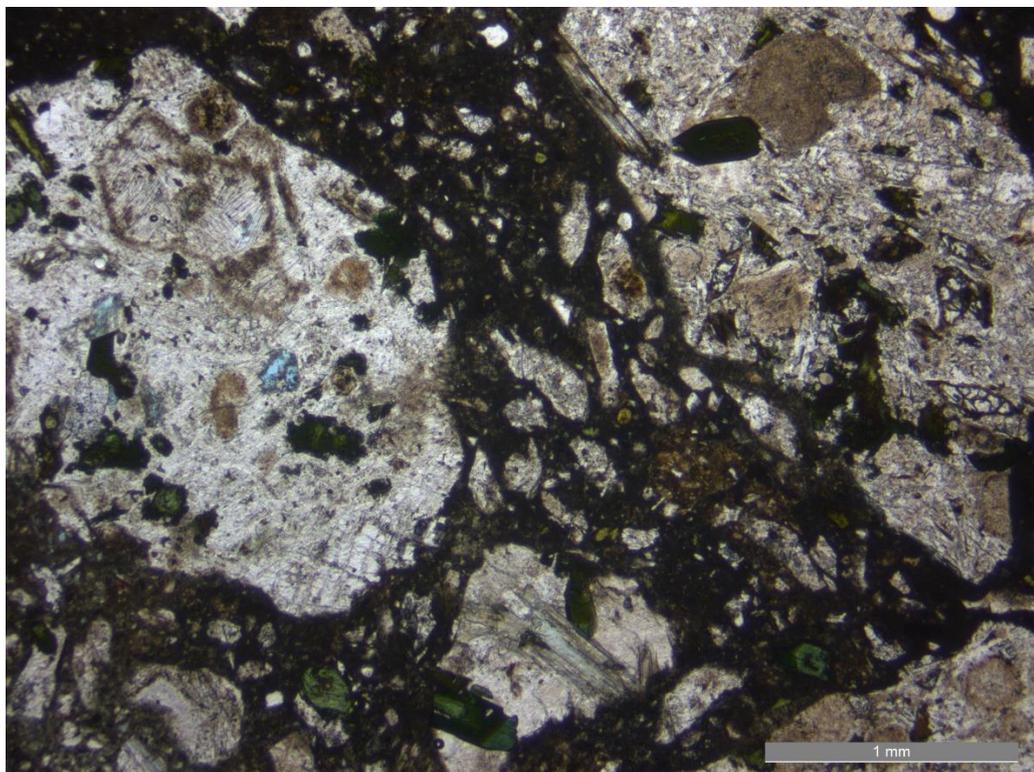


Bild 22: Probe GDN 8, Bohrkern des Kernbetones mit autohydrothermal verändertem Phonolith als ausschließliche Gesteinskörnung in der Bindemittelmatrix aus Portlandzement.

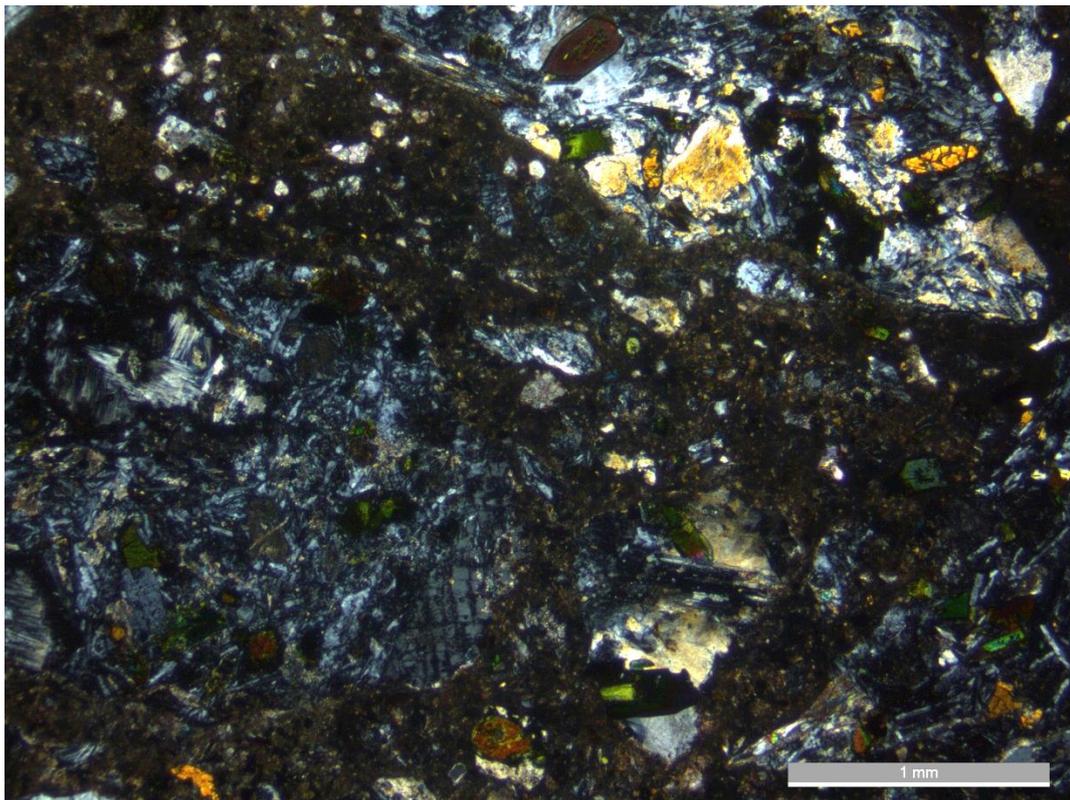


Bild 23: Probe GDN 8, selber Bildausschnitt wie vorher, jedoch gekreuzt polarisiertes Licht.

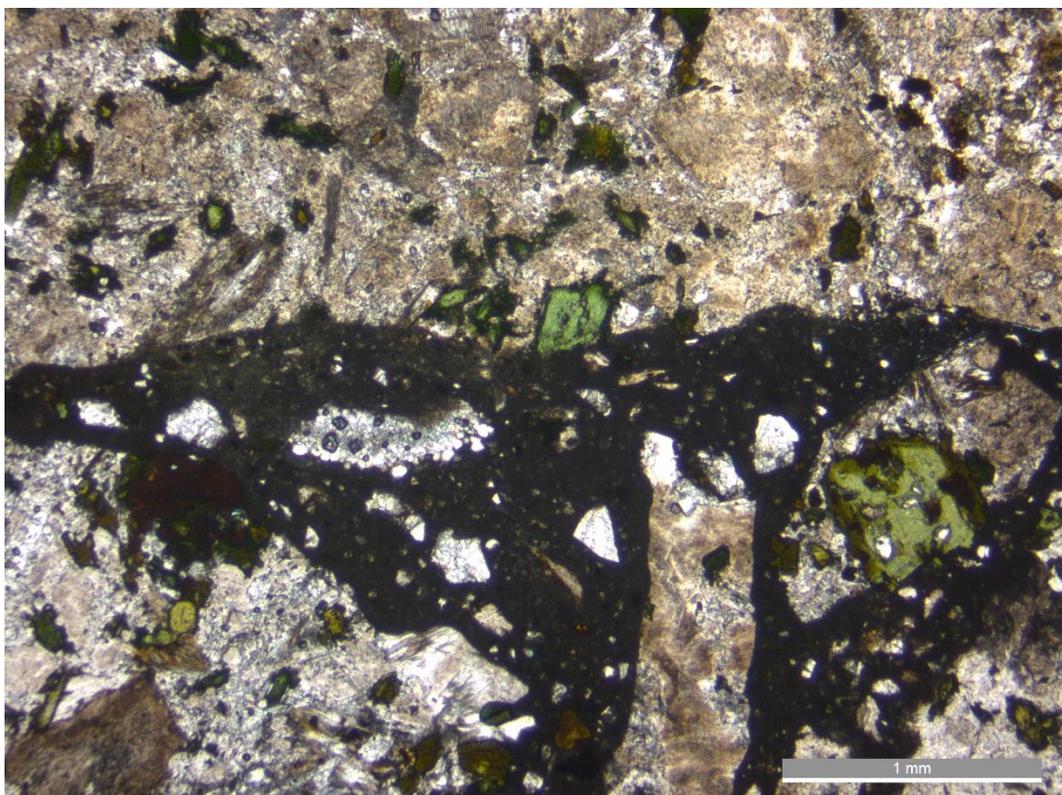


Bild 24: Probe GDN 8, stark überprägter Phonolith mit grünem Aegirinaugit.

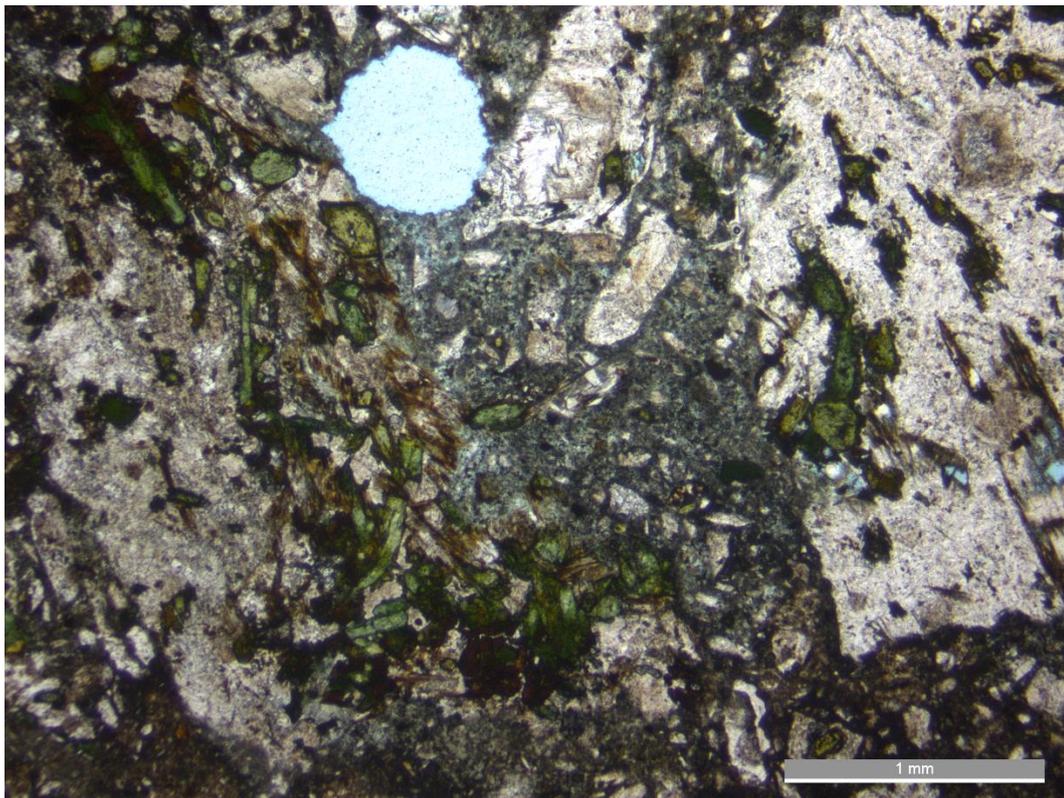


Bild 25: Probe GDN 8, hier sind Teile des zementären Bindemittels stärker ausgelaugt und poröser, oberhalb der Bildmitte ein gut sichtbare, blau angefärbte, größere Einzelpore.

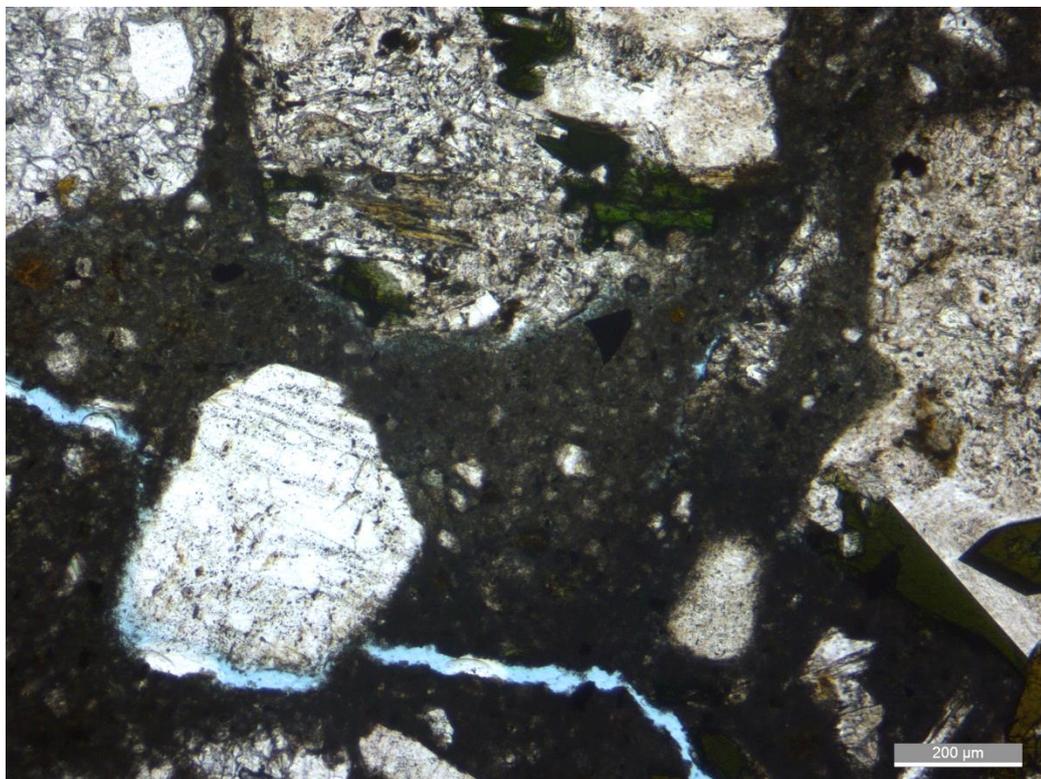


Bild 26: Probe GDN 8, sehr dichter zementärer Bindemittelbereich mit Rissbildung (blau angefärbt).

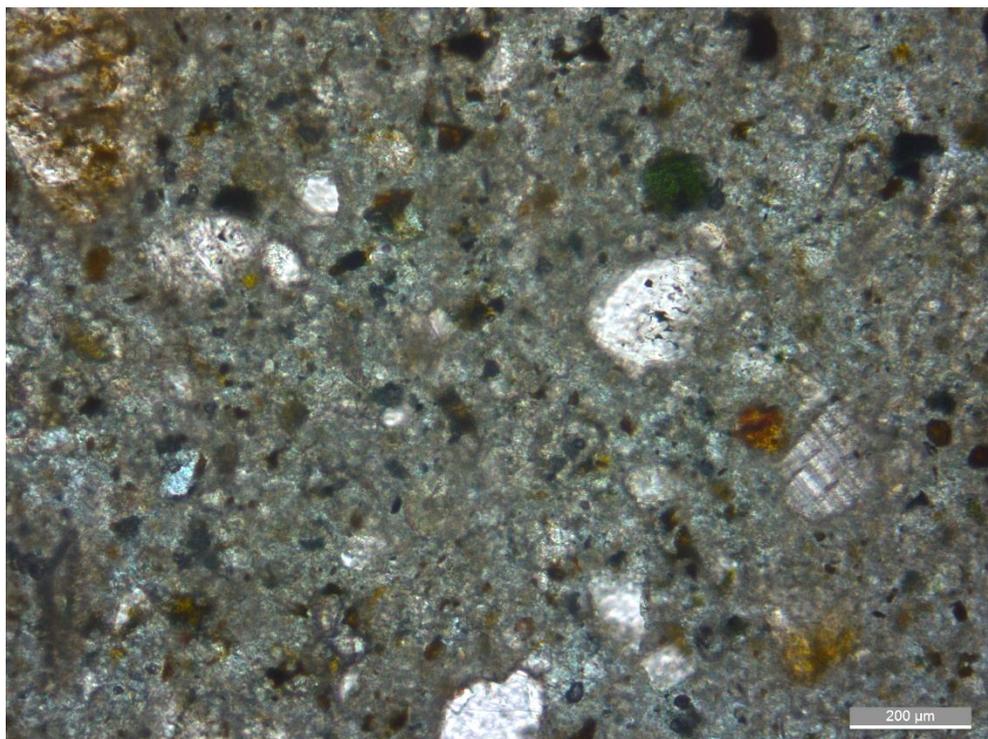


Bild 27: Probe GDN 8, Bindemittelbereich stärker ausgelaugt und poröser, es sind nahezu keine Hinweise mehr auf erhaltene Restklinkerphasen zu sehen, diese sind fast vollständig reagiert zu CSH – Phasen und Portlandit bzw. Kalzit (karbonatisiert).

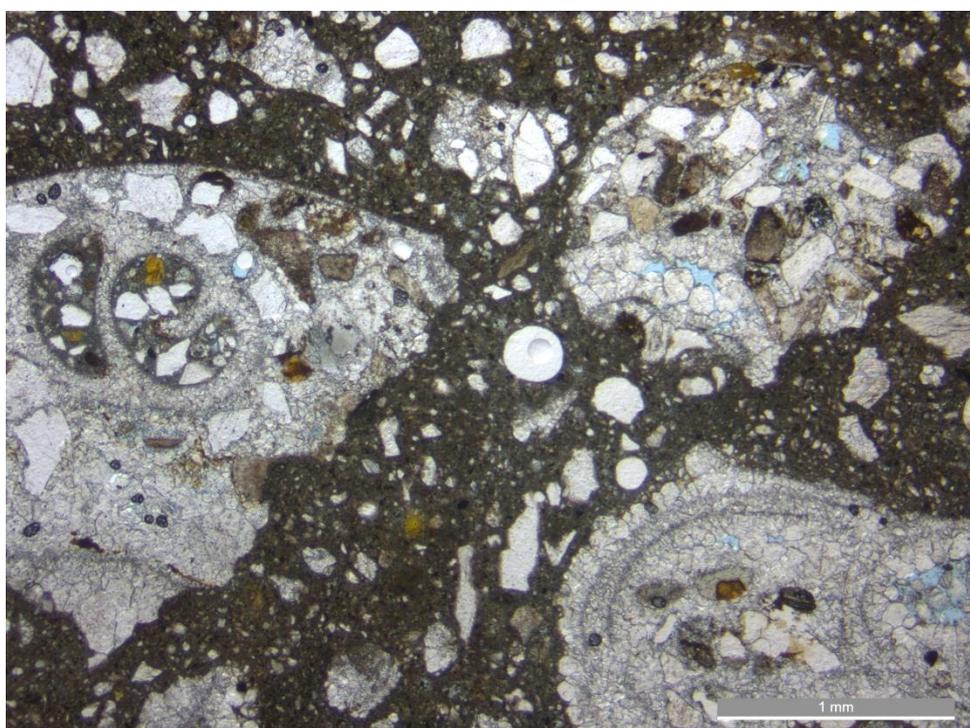


Bild 28: Lesesteinprobe, das Material enthält viel porösen Kalkstein mit teilweise Quarzsand, wir vermuten Pfaffenweiler Kalksandstein als Gesteinskörnung.

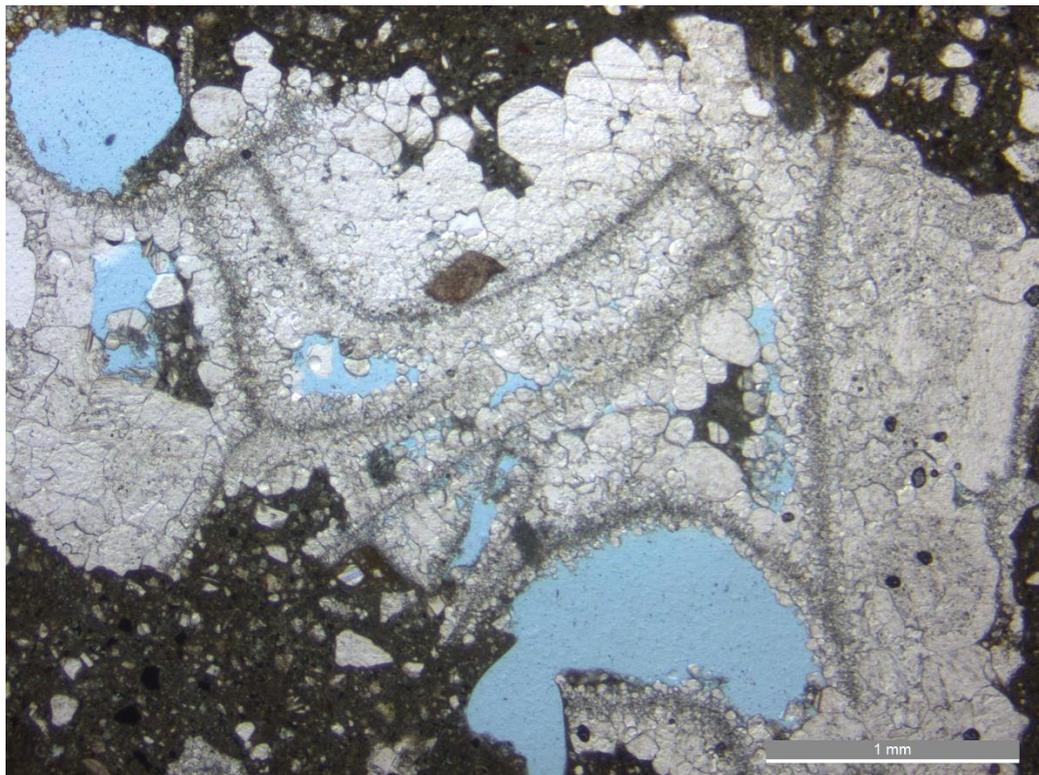


Bild 29: Lesesteinprobe, karbonatische Gesteinskörnung, porös und sparitisch kristallisiert.

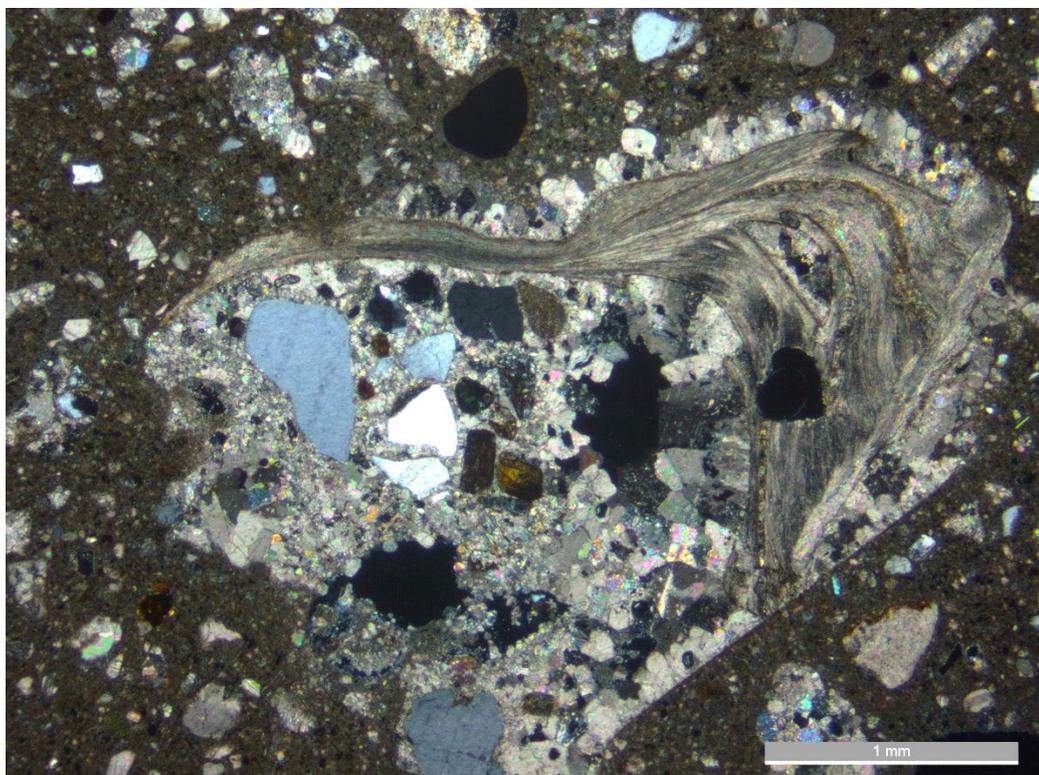


Bild 30: Lesesteinprobe, Aufnahme im gekreuzt polarisierten Licht, Kalkstein mit Quarzkorneinschlüssen und Schalenresten sowie teilweise sparitischer Kristallisation, vermutlich Kalksandstein aus Pfaffenweiler

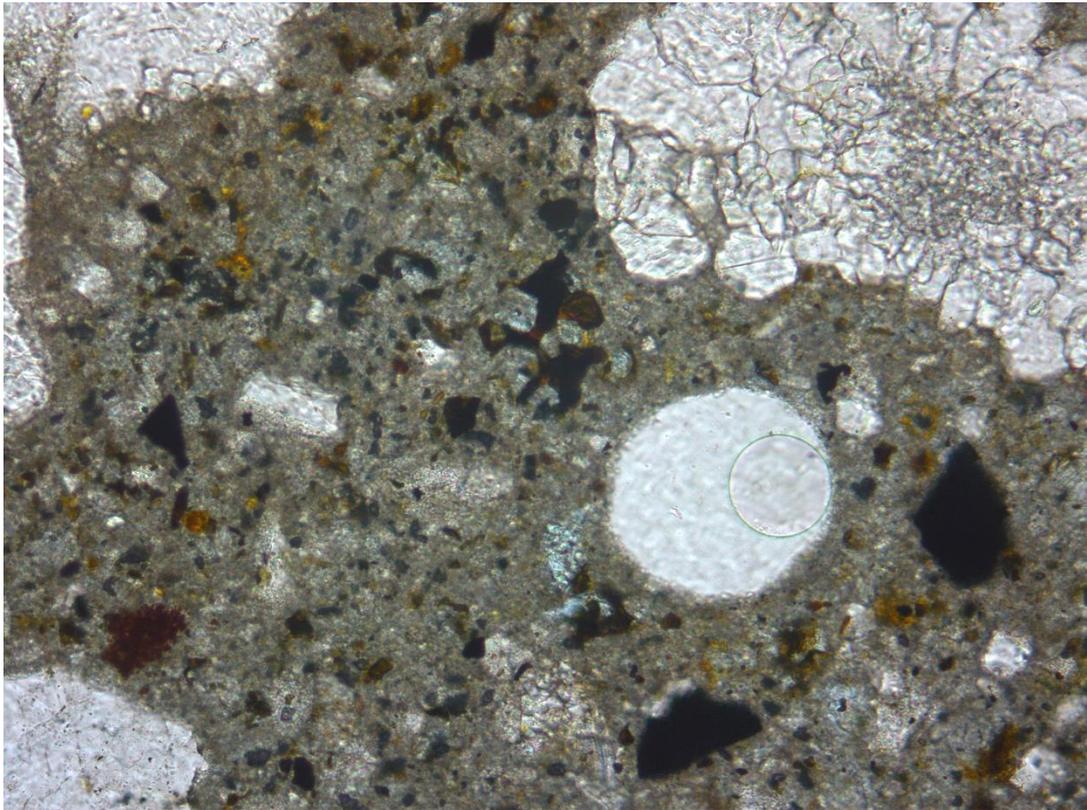


Bild 31: Lesesteinprobe, zementärer Bindemittelbereich, karbonatisiert, oberhalb der Bildmitte ist ein Reliktaggregat von Klinker sichtbar.