

Die Mikroflora neogener Gesteine an Ringstraßenbauten

Katja Sterflinger & Hacer Sert

Die Häufigkeit und Diversität gesteinsbesiedelnder Pilze, Bakterien, Algen und Flechten wird in erster Linie durch die physikalisch-chemischen Gesteinsparameter sowie durch die Exposition der Gesteine bestimmt. Neogene Kalke und Kalksandsteine zeichnen sich durch eine relative hohe Porosität und Wasseraufnahmekapazität aus und bieten daher Mikroorganismen gute Wachstumsbedingungen. Die im innerstädtischen Bereich von Wien exponierten Gesteine sind flächendeckend und bis in mehrere Millimeter Tiefe von Pilzen und Bakterien besiedelt. Die in ländlichen Gebieten Niederösterreichs und des Burgenlandes exponierten Gesteinsoberflächen sind in erster Linie von epi- und endolithischen Flechten besiedelt. Die Artenvielfalt der Pilze ist im Stadtbereich wesentlich höher als auf dem Land. Verantwortlich dafür ist zum einen die in der Stadt fehlende Raumkonkurrenz zwischen Flechten und Pilzen sowie die innerstädtische, organische Luftverschmutzung, die das Wachstum der Bakterien und Pilze fördert.

Geoaktive Mikroorganismen

Kalke und Kalksandsteine des Neogens wurden von mikroskopisch kleinen Organismen gebildet. Die Schalen und Carbonatausfällungen der Foraminiferen, Coccolithen, Bryozoen und Algen verleihen dem Stein seine typische Porosität und Erscheinung. Diese zwischen 24 und 1,8 Millionen Jahre alten Gesteine werden schon wenige Tage nach der Exposition einer frischen Oberfläche – durch natürlichen Abbruch oder Bearbeitung – von wiederum geoaktiven Mikroorganismen besiedelt. Diese epi- und endolithischen Pilze, Bakterien, Algen und Flechten prägen das optische Erscheinungsbild des natürlich anstehenden Gesteins ebenso wie all unserer Gebäude und Monumente. Auf beiden verstärken sie die ebenfalls mit der Exposition einsetzenden physikalischen und chemischen Veränderungs- und Verwitterungsprozesse (EASTON, 1994; GRAVESEN et al. 1994; KRUMBEIN, 1993). Pilzsporen, Bakterien- und Algenzellen, die mit der Luft verdriftet werden, gelangen auf die Steinoberflächen und wachsen dort unter geeigneten Bedingungen zu neuen Kolonien, Biofilmen und Myzelien heran. Auf Grund ihrer sehr unterschiedlichen Lebensansprüche sind jedoch nicht alle Organismen gleichermaßen dazu befähigt sich auf den Gesteinen zu etablieren. Die Gesteinsoberfläche ist ein oligotropher Standort und viele der an hohen Nährstoffkonzentrationen gewöhnten Pilze können nicht unter Nährstoffmangel leben (COOKE & WHIPPS, 1993). Viele Bakterien brauchen hohe Wasseraktivitäten und können nicht an einem Standort leben, der durch extreme Feuchte-Trockenwechsel gekennzeichnet ist. Dennoch zeichnen sich Gesteinsoberflächen durch eine erstaunlich hohe Keimdichte aus und bieten einer großen Anzahl von Arten, mit an diesen Standort angepassten ökophysiologischen Eigenschaften, einen besonderen Lebensraum (SAIZ-JIMENEZ; 1994; STERFLINGER & PRILLINGER, 2000).

Die Lebensbedingungen am Stein hängen

- (a) von den physikalisch-chemischen Parametern des Gesteins, wie Porosität, Wasseraufnahmekapazität, pH-Wert, und
- (b) von den klimatischen und sonstigen Umweltfaktoren, wie Temperatur, UV-Einstrahlung, Niederschlag, organische Luftverschmutzung ab.

Um die biogenen Verwitterungsprozesse an denkmalgeschützten Gebäuden in Wien besser verstehen zu können, wurde in den Jahren 2000 bis 2003 die Fassade des Naturhistorischen Museums in Wien, die Fassade des Rathauses in Wien und vergleichend Steinbrüche in Niederösterreich sowie im Burgenland hinsichtlich ihrer mikrobiellen Besiedlung untersucht.

Die Mikroflora neogener Kalksandsteine

Die nachfolgend beschriebenen Gesteine stehen exemplarisch für Kalke und Kalksandsteine, die in der Zeit der Errichtung der Bauwerke an der „Wiener Ringstraße“ aber auch für andere Monumentalbauten wie z.B. den Wiener Stephansdom häufig verwendet wurden (KIESLINGER, 1972):

- Aflenzer Kalkstein (Naturhistorisches Museum, Wien)
- Breitenbrunner Foraminiferen-Kalksandstein (Naturhistorisches Museum, Wien)
- Mannersdorfer Kalksandstein (Rathaus, Wien; Steinbruch Mannersdorf im Burgenland)
- St. Margarethener Kalksandstein (Naturhistorisches Museum, Rathaus, Wien; Römersteinbruch im Burgenland)
- Zogelsdorfer Kalksandstein (Naturhistorisches Museum, Rathaus, Wien; Johannessteinbruch bei Eggenburg in Niederösterreich)

Die Kalke und Kalksandsteine sind sowohl in der Stadt wie auch in den Steinbrüchen von Pilzen und Bakterien besiedelt. Die Besiedlung der Gesteine in Wien ist in erster Linie in den Porenräumen und Rissen des Gesteins lokalisiert und kann an Spaltflächen als durchgehender Biofilm auftreten (Abb. 2C, D, E). Der sehr poröse St. Margarethener Stein zeichnet sich durch die höchsten Besiedlungsdichten aus. Vom Aflenzer Kalk konnten keine Organismen isoliert werden. Dieser Stein bildet bei Exposition durch sekundäre Mineralisierung eine sehr fest geschlossene Oberflächenhaut aus, die das Eindringen der Mikroorganismen erheblich erschwert.

In Tabelle 2 sind die typischen, auf den neogenen Kalken vorkommenden Pilzarten aufgeführt. Von den 20 in der Stadt regelmäßig auftretenden Pilzarten sind nur fünf Arten bereits in den Steinbrüchen am Stein vorhanden. Alle weiteren Arten kommen erst im Laufe der jahrelangen Exposition in der Stadt hinzu. Flechtenbesiedlung tritt fast ausschließlich in den ländlichen Gebieten auf und kann dort eine komplette – den Sinterkrusten in der Stadt optisch ähnliche –

Verkrustung und Verschwärzung des Gesteins verursachen (Abb. 1D und 2B). Da ein Großteil der Flechten sehr empfindlich auf Luftverschmutzung reagiert und in der Stadt abstirbt, findet man in der Stadt mit wenigen Ausnahmen keine Besiedlung durch Flechten.

Auf Basis der hier durchgeführten Untersuchungen und aus anderen Studien stammender Ergebnisse (BRAAMS, 1992) kann festgestellt werden, dass der Mikropilz *Epicoccum nigrum* sowie dessen Synanamorphe aus der Gattung *Phoma* zu den häufigsten Besiedlern von Steinoberflächen in gemäßigten Klimaregionen gehören. *Epicoccum nigrum* ist ein bislang in erster Linie als Bodenbewohner bekannter Pilz, der durch Produktion der Pigmente β -Carotin, γ -Carotin, Rhodoxanthin und Torularhodin leuchtend rot-orange Myzelien bildet. Bisher ist ungeklärt, in wie weit die Pigmentierung von *E. nigrum* zur Verfärbung und Patinierung der Gesteinsoberflächen beiträgt.

Die schwarzen, klumpenartigen Kolonien von *Mycocalicium victoriae* sind in hoher Anzahl auf den Gesteinen der Steinbrüche zu finden (Abb. 2A). Dieser Pilz tritt in Assoziation mit den Flechten auf und geht daher mit Rückgang der Flechten im Stadtgebiet zurück.

Die als echte Spezialisten der Gesteinsbesiedlung und Zerstörung anzusehenden schwarzen Hefen und meristematischen Pilze *Capnobotryella* sp. (Abb. 2D), *Coniosporium apollinis*, *C. perforans*, *Exophiala* sp. und *Sarcinomyces petricola* treten fast ausschließlich im Stadtgebiet auf. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass diese Pilze (a) im ländlichen Gebiet von den Flechten in Raumkonkurrenz verdrängt werden und (b) die in der Stadt verstärkt vorhandenen organischen Luftinhaltsstoffe inklusive der Kohlenwasserstoffe als Nahrungsgrundlage nutzen können.

Tabelle 1: Durchschnittliche Keimzahlen von Pilzen und Bakterien (KBE = Kolonie Bildende Einheiten)

Gesteinsart	Bakterien (KBE)*		Pilze (KBE)*	
	Stadt Wien	Land	Stadt Wien	Land
Aflenzer Kalk	0	n.d.	0	n.d.
Breitenbrunner Kalksandstein	$3,4 \cdot 10^4$	n.d.	$2,3 \cdot 10^5$	n.d.
Mannersdorfer Kalksandstein	$1,6 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^2$
St. Margarethener Kalksandstein	$2 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$
Zogelsdorfer Kalksandstein	$5,7 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$

*Die hier aufgeführten Werte sind Durchschnittswerte aus jeweils bis zu 20 an den Gebäuden bzw. Steinbrüchen im Zeitraum von 2 Jahren entnommenen Proben.

Tabelle 2: Pilzvorkommen auf den Gesteinen. Die Pilze wurden durch DNA-Sequenzierung identifiziert (STERFLINGER & PRILLINGER, 2000)

Pilzspezies Land	Pilzspezies Stadt Wien
<i>Alternaria tenuissima</i>	<i>Alternaria tenuissima</i>
	<i>Aureobasidium pullulans</i>
	<i>Capnobotryella sp. nov.</i>
	<i>Cladosporium cladosporioides</i>
<i>Cladosporium herbarum</i>	<i>Cladosporium herbarum</i>
	<i>Cladosporium tenuissimum</i>
	<i>Coniosporium apollinis</i>
	<i>Coniosporium perforans</i>
	<i>Coniothyrium sp.</i>
	<i>Cryptococcus sp.</i>
<i>Epicoccum nigrum</i>	<i>Epicoccum nigrum</i>
	<i>Exophila sp. nov.</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
	<i>Geotrichum sp.</i>
	<i>Phialophora sp.</i>
	<i>Phoma exigua var. foveata</i>
	<i>Phoma glomerata</i>
	<i>Phoma macrostoma</i>
<i>Mycocalicium victoriae</i>	<i>Mycocalicium victoriae</i>
	<i>Sarcinomyces petricola</i>

Biogene Verwitterung neogener Kalke und Kalksandsteine

Mikroorganismen sind geoaktive Agenzien und tragen in erheblichem Maße zur Umwandlung und Verwitterung von Gesteinen bei (BRILL, 1995). Die wesentlichen, an den hier untersuchten Gesteinen beobachteten Folgen des Bewuchses sind:

- (A) Die optische Veränderung der Oberflächen durch die schwarz-braune Pigmentierung der mikrokolonialen Pilze, der schwarzen Hefen (Abb. 1B, 2A) und der schwarz-braunen Flechtenthalli (Abb. 1D, 2B). Die schwarz pigmentierten Pilze können an manchen Stellen Krusten ausbilden, die makroskopisch granulären Sinterkrusten ähneln.
- (B) Die Anlösung des Gesteins durch Kohlensäure. Durch die Respiration der im Gestein vorhandenen chemorganotrophen Pilze und Bakterien entsteht Kohlendioxid, welches in der wässrigen Umgebung der Porenräume zu Kohlensäure reagiert. Dadurch kommt es zur Anlösung des carbonatischen Gesteins und in Folge tritt ein mit Schalen- und Rissbildung einhergehender Materialverlust ein. Die Bildung organischer Säuren kann noch zusätzlich zu diesem Prozess beitragen, konnte jedoch bei keinem der hier beschriebenen Organismen unter Laborbedingungen nachgewiesen werden.
- (C) Das Durchwachsen und Absprengen von Fassungen und Schlämmen (Abb. 1C). Werden Fassungen oder Schlämmen auf nur oberflächlich gereinigte Steine aufgebracht, wachsen die aus dem Porenraum rasch wieder an die Oberfläche und es kann bereits wenige nach Aufbringen der Schlämmen zu Absprengungen und Verfärbungen kommen.

Vorbeugung und Bekämpfung der Mikroflora

Die Lebensstrategien der Bakterien und Pilze basieren auf einer bis zu 3,8 Milliarden Jahre alten Evolutionsgeschichte. Diese hat eine so enorme Vielfalt an Anpassungsmechanismen hervorgebracht, dass es unmöglich ist die biogene Verwitterung an frei exponierten Gebäudeoberflächen völlig zu unterbinden.

Um die biogene Verwitterung kulturell wertvoller Monumente auf ein Minimum zu reduzieren, sollten folgende Grundsätze befolgt werden:

- (1) Die regelmäßige Reinigung ist die Grundlage zur Vermeidung eines fortschreitenden Zerstörungsprozesses,
- (2) Das Aufbringen von Hydrophobierungsmitteln bringt nur einen kurzfristigen Schutz vor der Wiederbesiedlung, denn sobald die Hydrophobierung Lücken aufweist, dringt Wasser ins Gestein ein und in Folge entsteht ein treibhausartiges Kleinklima im Gesteininneren, das dem mikrobiellen Bewuchs sogar förderlich ist (KRUMBEIN & GORBUSHINA, 1995),
- (3) Das Einbringen von Kohlenstoffquellen, Stickstoff oder Phosphat, z.B. als Bestandteile von Steinfestigungsmitteln, sollte weitestgehend vermieden werden und
- (4) die Anwendung von bioziden Wirkstoffen kann sinnvoll sein, sollte aber immer Objektspezifisch abgeklärt werden.

Während der mikrobielle Bewuchs auf den vom Menschen gemachten Objekten ein unerwünschter Effekt ist – wenn er auch bisweilen durch seine spezifische Patina zur romantischen Verklärung beiträgt – darf man nicht vergessen, dass die biogene Gesteinsverwitterung in der freien Natur eine gewaltige geologische Kraft darstellt, die den Zyklus der Elemente katalysiert.

Dank

Frau Mag. G. Zober (Konservierung/Restaurierung Wedenig) und Herr Mag. J. Nimmrichter (Amtsteinkonservator, Bundesdenkmalamt) waren bei der Auswahl der Probenstandorte und bei der Probenahme eine große Hilfe. Prof. Dr. A. Rohatsch danke ich für das Zurverfügungstellen der Gesteinskartierung der Musterachse des Naturhistorischen Museums.

Literatur

- BRAAMS, J. (1992): Ecological studies of the fungal microflora inhabiting historical sandstone monuments. PhD thesis, 104 S., Oldenburg.
- BRILL, H. (ed) 1995. Mikrobielle Materialzerstörung und Materialschutz. - Gustav Fischer Verlag, 290S., Jena.
- COOKE, R. C. & WHIPPS, J. M. (1993): Ecophysiology of fungi. – Blackwell Scientific Publications, 337 S., Oxford.
- EASTON, R. M. (1994): Lichens and rock: a review. – *Geoscience Canada* 21, 59-76, Calgary.
- GRAVENSEN, S., FRISVAD, J.C., SAMSON, R. A. (1994): Micro-fungi. Damaging effects on building materials. – Munksgaard, 20 S., Copenhagen.
- KIESLINGER, A. (1972): Die Steine der Wiener Ringstrasse – Ihre technische und künstlerische Bedeutung. Franz Steiner Verlag GmbH, 665 S., Wiesbaden.
- KRUMBEIN, W. E. (1993): Zum Begriff Patina, seiner Beziehung zu Krusten und Verfärbungen und deren Auswirkungen auf den Zustand von Monumenten. – In: Jahresberichte Steinerfall - Steinkonservierung, Bd 3, Verlag Ernst und Sohn, 215-229, Berlin.
- KRUMBEIN, W. E & GORBUSHINA, A. A. (1995): On the interaction of water repellent treatments of building surfaces with organic pollution, micro-organisms and microbial communities. - In: WITTMAN, F., SIEMES, T. & VERHOEF, L. (eds): Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents, Delft.
- SAIZ-JIMENEZ, C. (1994): Biodeterioration of stone in historic buildings and monuments. – In: LIEWELLYN GC, DASHEK WW, O'REAR C. E. (eds): Biodeterioration research 4, Mycotoxins, Wood decay, Plant Stress, Biocorrosion and general Biodeterioration. Plenum, 587-603, New York.
- STERFLINGER, K. & PRILLINGER, H. (2000): Molecular taxonomy and biodiversity of rock fungal communities in an urban environment (Vienna, Austria). – *Antonie van Leeuwenhoek* 80, 275-286.

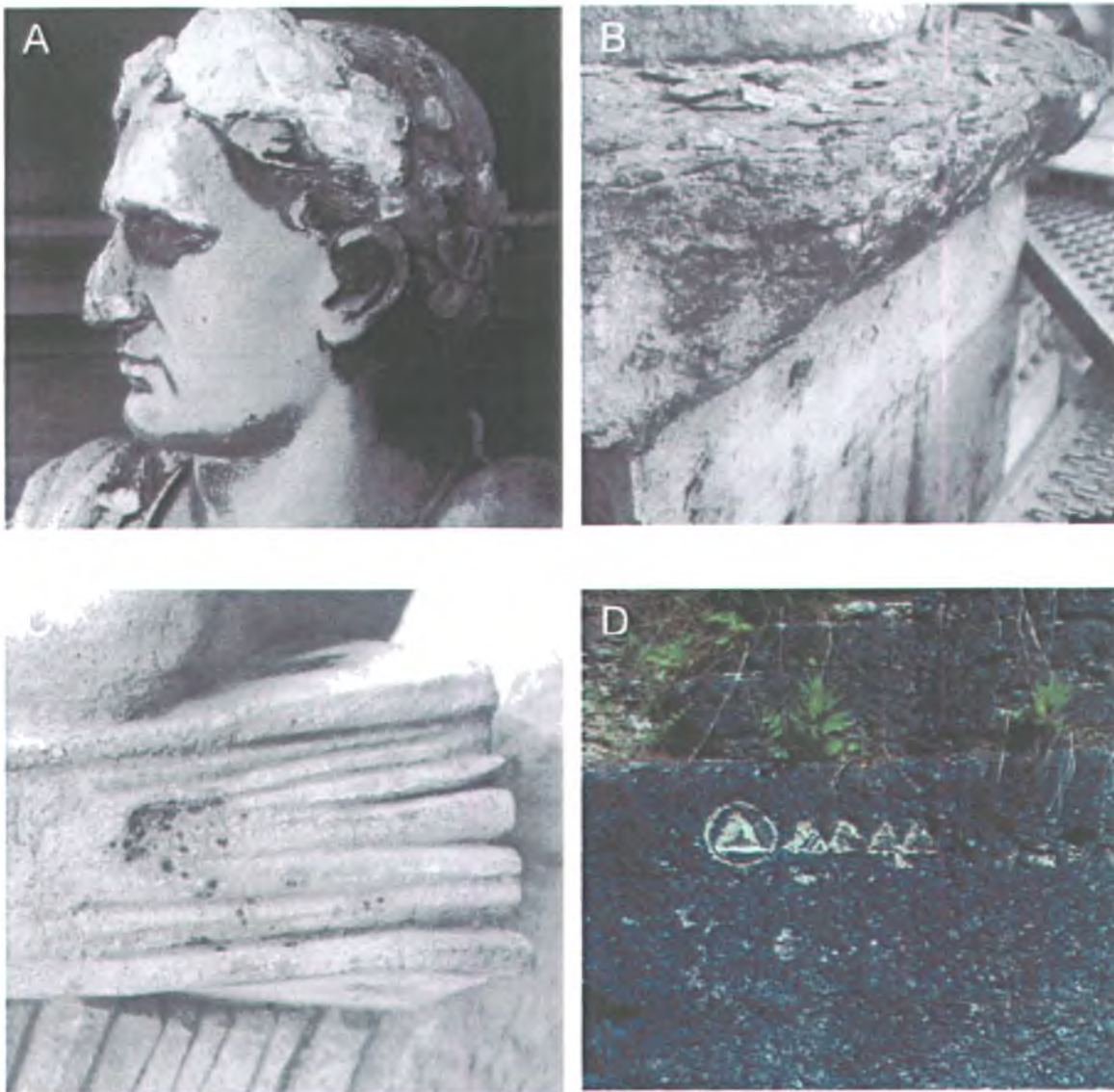


Abb.1:

(A) Fassade des Naturhistorischen Museums, stark geschädigte Figur aus Kalksandstein. Die Schwärzung ist durch ein Gemisch aus Sinterkruste, Pilzwachstum und Schmutz hervorgerufen.

(B) Schalige, aufstehende Bereiche an Zogelsdorfer Kalksandstein. Die Mikroorganismen sind in den Spaltflächen lokalisiert (siehe auch Abb. 2E)

(C) Dach des Naturhistorischen Museums, Teil einer geschlammten Figur aus Kalksandstein. Die schwarzen Grübchen im Stein und in der Schlämme sind durch schwarze Hefen verursacht.

(D) Zogelsdorfer Kalksandstein im Johannessteinbruch. Die Oberfläche ist durch Krustenflechten verschwärzt.

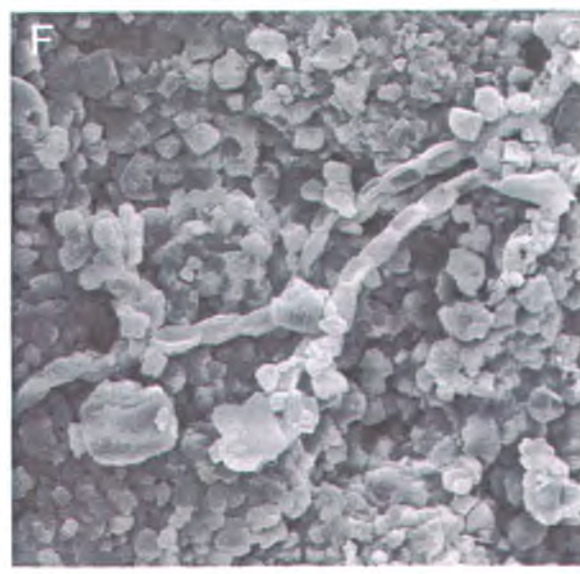
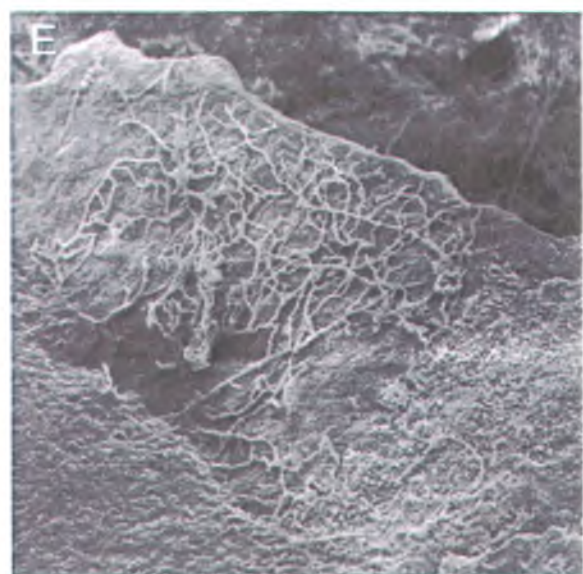
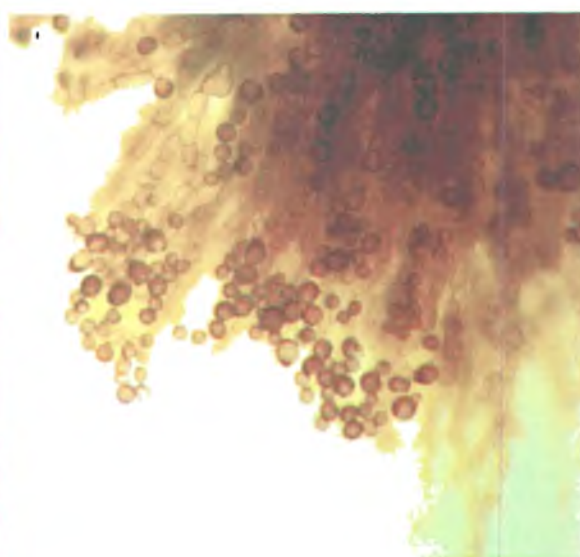
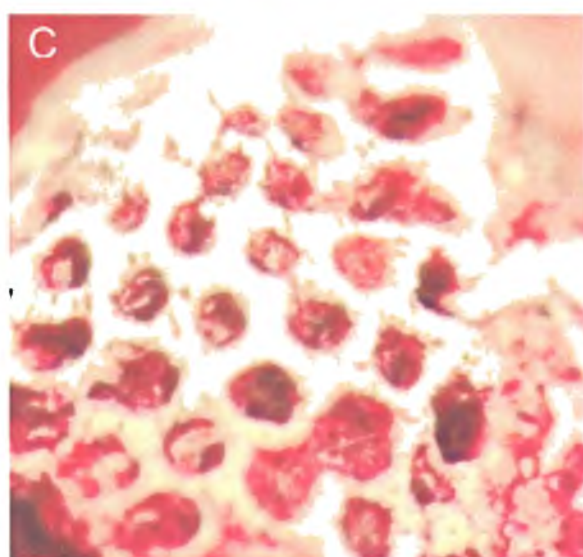
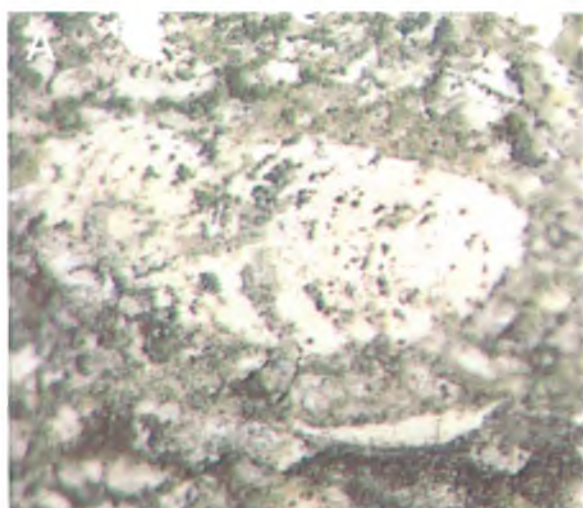


Abb. 2:

(A) Römersteinbruch, Mikrokolonien Schwarzer Pilze;

(B) Flechtenbewuchs auf St. Margarethener Stein im Römersteinbruch;

(C) Probe von Zogeldorfer Kalksandstein. Die Biofilme wurden mit Perjodsäure-Schiffs Reagenz angefärbt. Die in einer Foraminiferenschale vorhandenen Poren sind mit Organismen fast vollständig ausgefüllt.

(D) Solche dickwandigen, dunkel pigmentierten Pilze – hier *Capnobotryella* sp. – sind Spezialisten der Gesteinsbesiedlung und Zerstörung.

(E) Rathaus, St. Margarethener Kalksanstein, rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Pilzmyzels auf der Rückseite einer Gesteinsscholle (x 500).

(F) Rathaus, Mannersdorfer Kalksandstein, Pilzhyphen und Sporenträger (x 960).

Tabelle neogener Steinbrüche in Wien, Niederösterreich und dem Burgenland

Lokalität	Alter	Gestein	Bd.-land	Bez.	Gem.	ÖK-Nr.	GBA-Nr.	Status	BMN L	BMN B	NR	RW_M34	HW_M34
Windpassing	Karpatium	Sandstein (Quarzreich)	N	HL	Grabern	22	022/177-M	Deponie	728688	387606	022/177-M	728689	387607
Hauskirchen	Sarmatium	Cerithienkalk, Oolith	N	GF	Hauskirchen	25	025/162	Stillgelegt	781850	386950	025/162	781850	386950
Nußdorf (Wien XIX.) Eichelhofweg	Badenium	Algenschuttkalk (Geröllführend), Kalksandstein (Quarzreich)	W	W	Döbling	41	041/53A	Stillgelegt	752100	347400	041/053A	752100	347400
Velm – Götzendorf	Pannonium	Sandstein	N	GF	Velm-Götzendorf	42	042/001	Stillgelegt	784630	371320	042/001	784630	371320
Kalksburg (Wien XXIII.) Zemlinskyg.	Badenium	Konglomerat	W	W	Liesing	58	058/012	Naturdenkmal	744200	333750	058/012	744020	333750
Atzgersdorf / Robinsonweg	Sarmatium	Kalksandstein, Oolith	W	W	Liesing	58	058/313C	Stillgelegt	746360	333650	058/313C	746360	333650
Wolfsthal	Sarmatium	Cerithienkalk, Oolith	N	BL	Wolfsthal-Berg	61	061/004 & 061/005	Stillgelegt	799250	332680	061/004	799250	332680
Bad Deutsch Altenburg	Badenium	Algenschuttkalk, Brekzie	N	BL	Hainburg a.d. Donau	61	061/010	Stillgelegt	794000	332500	061/005	798800	332550
Edelstal	Pannonium	Sandstein	B	BL	Prellenkirchen	61	061/17	Stillgelegt	798150	328590	061/010	794000	332500
Lindabrunn	Badenium	Konglomerat, Grobsandstein	N	BD	Enzesfeld-Lindabrunn	76	076/005	in Betrieb	737200	308550	061/017	798150	328590
Baden / Rauchstallbrunngraben	Badenium	Algenschuttkalk	N	BD	Baden	76	076/009	Stillgelegt	740050	317800	061/246	794350	332600
Wöllersdorf	Badenium	Algenschuttkalk	N	WN	Wöllersdorf-Steinabrückl	76	076/033	Stillgelegt	737200	301900	076/005	737200	308550
Bad Fischau	Badenium	Konglomerat	N	WN	Bad Fischau-Brunn	79	076/18	Stillgelegt	736320	299380	076/009A	740050	317750
Loretto / Czernybruch	Sarmatium	Algen-Foraminiferen-Kalksandstein	B	EU	Leithaprodersdorf	77	077/017	Stillgelegt	364100	307650	076/009B	740350	317800

Lokalität	Alter	Gestein	Bd.-land	Bez.	Gem.	OK-Nr.	GBA-Nr.	Status	BMN L	BMN B	NR	RW_M34	HW_M34
Müllendorf	Badenium	Algenschuttkalk, Korallenriffkalk, "Kreide"	B	EU	Großhöflein-Müllendorf	77	077/022-24	in Betrieb	760600	300550	076/018	736320	299380
Au a. L. / Edelmühle	Sarmatium	Algen-Foraminiferen-Kalksandstein	B	BL	Au a. L.	77	077/65-M	Stillgelegt	765900	308850	076/033	737200	301900
St. Margarethen	Badenium	Algen-Foraminiferen-Kalksandstein	B	EU	St. Margarethen	78	078/003A	in Betrieb	772500	296000	077/017	764100	307650
Mannersdorf a. L. /	Badenium	Corallinaceenkalk	B	BL	Mannersdorf	78	078/014	in Betrieb	770800	314300	077/022-024	758900	302000
Breitenbrunn	Sarmatium	Foraminiferensandstein	B	EU	Breitenbrunn	78	078/025	Stillgelegt	779400	312850	077/065-M	765900	308850
Sommerein	Pannonium	Algenschuttkalk mit Quarzgeröllen, Algen-Foraminiferen-Kalksandstein	N	BL	Sommerein	78	078/038	Stillgelegt	774400	316500	078/003A	772500	296000
Oslip / Silberberg	Badenium	Algenschuttkalk	B	EU	Oslip	78	078/048	Stillgelegt	772700	298000	078/014	770800	314100
Kaisersteinbruch Hausbruch	Badenium	Algen-Foraminiferen-Schuttkalk	B	ND	Bruckneudorf	78	078/058	Stillgelegt	777700	316500	078/025	779400	312850
Winden	Badenium Sarmatium Pannonium	Algenschuttkalke (Badenium); Bivalvenlumachellen & Algenschuttkalke (Sarmatium) Algenschuttkalke, quarzführend (Pannonium)	B	ND	Winden am See	78	078/238	Deponie	781320	299380	078/038	774400	316500
Rohrbach	Pannonium	Konglomerat	N	NK	Ternitz	105	105/007	in Betrieb	729000	287780	078/048A-(M)	772770	297960

