Veröff. Museum für Naturkunde Chemnitz	**40**	2017	69-92

Verwendung, Eigenschaften und Verwitterung von Chemnitzer Zeisigwald-Tuff („Hilbersdorfer Porphyrtuff“) als Bau- und Bildhauergestein

Heiner Siedel, Dresden

Kurzfassung

Zeisigwald-Tuff ist in und um Chemnitz seit dem Mittelalter bis ins frühe 20. Jahrhundert vielfach als Bau- und Bildhauerstein für Bauwerke und plastische Bildwerke verwendet worden. Der Tuff zeigt stark schwankende technische Kennwerte, die seiner komplexen geologischen Entstehung als pyroklastisches Gestein zuzuschreiben sind. Eine Zusammenstellung publizierter Gesteinskennwerte lässt verglichen mit anderen Baugesteinen verhältnismäßig geringe Festigkeiten, eine starke Festigkeitsreduzierung bei Durchfeuchtung und ungünstige Porenstruktur sowie wechselnde Tonmineralgehalte, verbunden mit einer moderaten bis extrem hohen hydrischen Dehnung erkennen. Die auch in der Baupraxis bekannten Schwankungen in der Verwitterungsbeständigkeit haben dem Material in der historischen Bewertung teilweise sehr ungünstige Qualitätsbeurteilungen eingetragen. Über lange Zeiträume an Bauwerken exponierte Tuffsteine zeigen, dass neben stark durch Bröckelzerfall, Schuppen- und Schalenbildung sowie Auswittern von Gesteinskomponenten geschädigten Varietäten auch verwitterungsresistentere Arten des Tuffsteins existieren. Eine systematische Untersuchung von petrographischen und gesteinstechnischen Eigenschaften dieser verschiedenen Varietäten wäre für ein detailliertes Verständnis der Verwitterungsmechanismen wie auch für eine zielgerichtete Auswahl geeigneten Ersatzmaterials für verwitterte Oberflächen wünschenswert.

Abstract

Tuffstone from Zeisigwald had been a common sculpture and building stone in the area around Chemnitz and in the city itself from the middle ages until the early 20th century. The tuffstone shows strongly scattering values for its technical properties, which is due to its complex geological origin as a pyroclastic rock. A survey of published values of technical properties shows relatively low mechanical strength compared to other building stones, a tremendous loss of strength when saturated by water as well as an unfavorable pore structure and varying clay mineral contents, the latter connected with a moderate to extreme hydric dilatation. It was because of the variable durability long known to building practitioners that the quality of the material was negatively evaluated in some historic sources. However, looking at tuffstones exposed on buildings for decades one will recognize that beside varieties strongly affected by crumbling, flaking and scaling or loss of components there are others with better weathering resistance, too. A systematic investigation into petrographic and technical properties of these different varieties would contribute to a more detailed understanding of the weathering mechanisms as well as to the choice of appropriate replacement materials for deteriorated surfaces.

1 Einleitung

Große Teile Sachsens sind geologisch geprägt durch die intensiven vulkanischen Prozesse der ausklingenden variszischen Gebirgsbildung. Zwischen Rotliegend-Sedimenten finden sich zum Teil mächtige vulkanische Abfolgen. Neben „Porphyren“ verschiedener Eruptionsphasen, von denen viele heute als Ignimbrite ange-

Anschrift des Autors
Prof. Dr. Heiner Siedel, TU Dresden, Institut für Geotechnik, Professur für Angewandte Geologie, 01062 Dresden,
e-mail: Heiner.Siedel@tu-dresden.de

sehen werden, sind in der Nordwestsächsischen Senke und in der Vorerzgebirgs-Senke auch pyroklastische Ablagerungen, teils wiederum mit Übergängen zu Ignimbriten, zu finden. Diese „Porphyrtuffe“ waren wegen ihrer porösen Struktur und besseren Bearbeitbarkeit im Vergleich zu den harten „Porphyr“-Gesteinen teilweise bereits seit dem Mittelalter Gegenstand eines systematischen Abbaus und stellen das Material hervorragender Bau- und plastischer Bildwerke dar (Siedel 2006, 2016). Unter ihnen spielt das früher um Chemnitz in verschiedenen Steinbrüchen gewonnene pyroklastische Gestein eine bedeutende Rolle, das hier im Kontext seiner baustofflichen Nutzung weiterhin mit seinem traditionellen Namen als „Porphyrtuff“ bezeichnet werden soll. Nach den Untersuchungen von Fischer (1990) muss das teils hellbeige gefärbte bis stärker rötlich fleckige oder seltener gelbliche, oft aber violette und hell gefleckte Gestein als Teil einer ignimbritischen Sequenz angesehen werden. Geologisch wird es als Zeisigwald-Tuff (früher „oberer Tuff“) innerhalb der Leukersdorf-Formation des Oberrotliegend eingeordnet (Walter & Schneider 2008). Das Material prägt mit seinem meist auffällig „bunten“ Erscheinungsbild (Abb. 1) sehr stark die bauliche Landschaft rund um Chemnitz und ist auch an zahlreichen Sakral- und Profanbauten der Stadt selbst zu finden. In der folgenden Darstellung sollen vor allem seine Verwendung, seine technischen Eigenschaften und seine Dauerhaftigkeit als Baugestein im Mittelpunkt stehen.

2 Genutzte Vorkommen und Bezeichnung des Gesteins

Darstellungen und Überlegungen zur historischen Gewinnung und der Lage der ehemaligen Steinbrüche um Chemnitz, die schon von Happach (1955) genannt werden, finden sich bei Beeger & Quellmalz (1964), Krönert (1965) und Urban (1983) und jüngst nochmals bei Jentsch (2014) und sollen hier nicht erneut detailliert dargestellt werden. Urban hat den Versuch unternommen, die Nutzung verschiedener abgebauter Vorkommen und das typische farbliche Erscheinungsbild der entsprechenden Gesteine anhand der in Chemnitz noch vorhandenen historischen Bauwerke zu periodisieren. Der graugrüne „Kristalltuff“, der nur in wenigen frühen romanischen Resten sowie umfangreicher an der Stiftskirche in Chemnitz-Ebersdorf vorkommt und der älteren Planitz-Formation (früher „unterer Tuff“) zugeordnet werden muss (Walter & Schneider 2008), soll hier nicht weiter behandelt werden. Dagegen spielt eine beigefarbene bis weißlich-graue, hellrot bis kräftig ziegelrot gefleckte Farbvarietät des Zeisigwald-Tuffs seit dem 13. Jahrhundert bis um 1500 an verschiedenen Bauwerken der Stadt und vereinzelt auch der Umgebung eine größere Rolle. Nach Krönert (1965) und Urban (1983) wurde solches Material aus einem Steinbruch am Kapellenberg (in der Literatur mitunter als Steinbruch hinter der Nikolauskirche genannt) gewonnen, aber wohl auch in einem als „dy alde steyngrube“ bezeichneten kleineren Vorkommen im streichenden Verlauf des Tuffvorkommens nordöstlich des Kapellenbergs abgebaut. Jentsch (2014) verweist auf eine mögliche, begrenzte nochmalige Verwendung an Industriebauten im 19. Jahrhundert. Die größten Mengen des als Werkstein verwendeten Materials kommen aber zweifellos aus dem Zeisigwald bei der Ortslage Hilbersdorf (Abb. 2), von wo Steinbrüche nach Urban (1983) seit dem ausgehenden 15. Jahrhundert verschieden farbige Tuffsteine geliefert haben, darunter neben den häufigen violetten, mehr oder weniger hell gefleckten Farbvarietäten auch gleichmäßig hell beige gefärbte, wie sie beispielsweise für die Bildhauerarbeit der Tulpenkanzel im Freiberger Dom verwendet worden sind.
In der älteren historischen Literatur wird das Material bereits von Agricola (1546) als genutztes Baugestein erwähnt und zu den „Felsgesteinen“ gezählt, zu denen nach seiner Beschreibung auch der Sandstein gehört, der jedoch bei mechanischer Beanspruchung in Körner zerfällt, während der nicht näher namentlich bezeichnete Tuffstein in großen Stücken bricht. Albinus (1590) lehnt sich in seiner Bergchronik an Agricola an, wenn er die Lage der Steinbrüche um Chemnitz beschreibt, ordnet aber das Gestein in die Kategorie „Schlemmstein“ ein (im Unterschied zum „Sandstein“): „Man hat aber zweyerley art solcher Stein daraus man Werckstück machet / als den Sandstein und den Schlemmstein.“ Mit Letzterem wird ein weniger grobkörniges, weicheres Gestein bezeichnet. Richter (1763) beschreibt das Gestein in seiner Stadtchronik als „Mergelgebürge“ und korrigiert damit einen anderen Autor, der von Sandstein gesprochen hat. Charpentier (1778) erwähnt ebenfalls den Begriff „Mergelstein“, wie er „in dasiger Gegend, wiewohl unächt“ gebraucht wird. Er ordnet den Tuffstein dem „porphyrartigen Gebürge, mit abwechselnden Thon- und Leimenlagern“ zu. Kretschmar (1822) berichtet, dass „ein weißer und röthlicher thoniger Sandstein zu Mauerwerk und Steinmetzarbeit, der … erst an der Luft verhärtet“ in Steinbrüchen im Zeisigwald gewonnen wird. Weiterhin

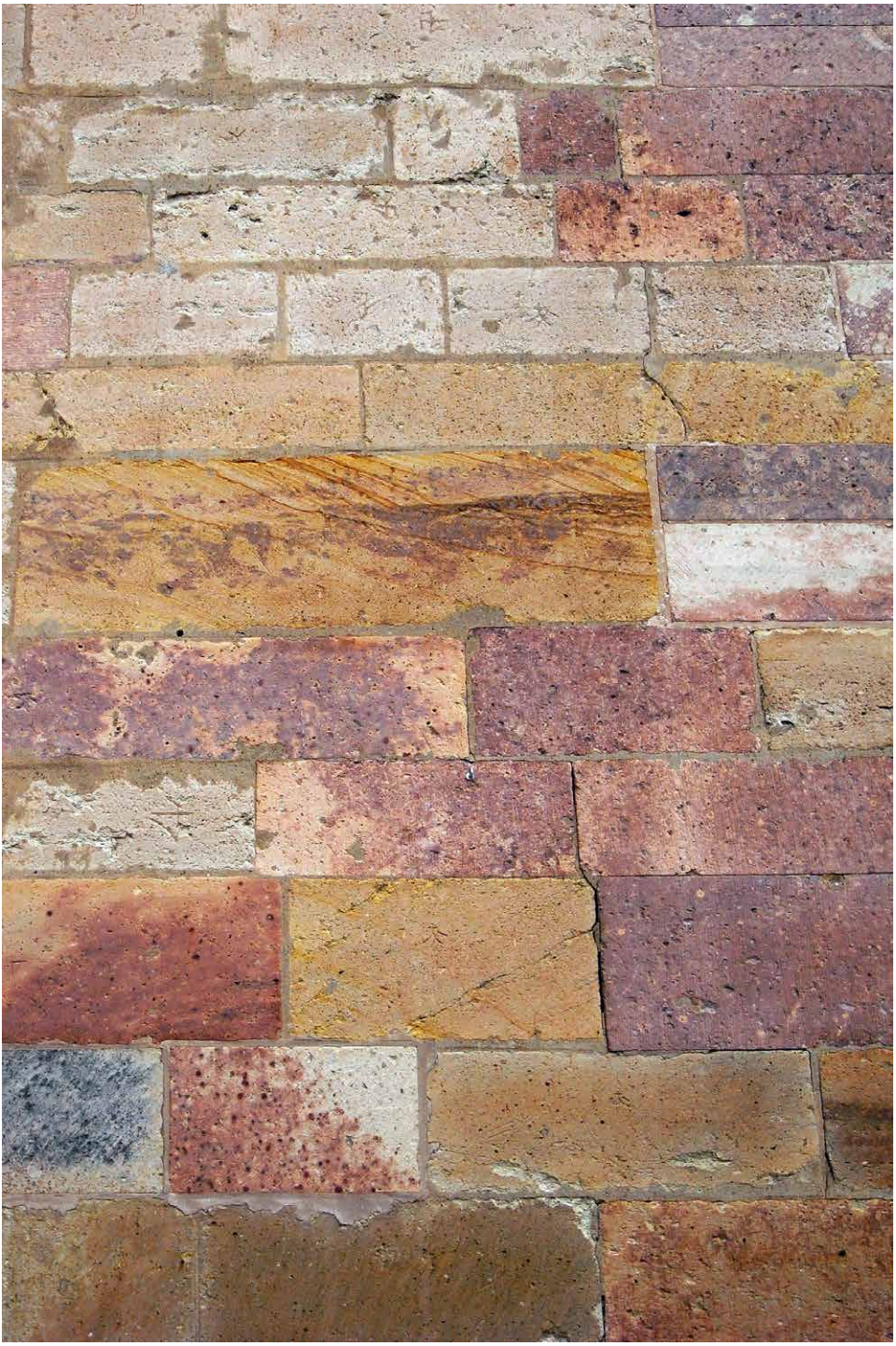


Abb. 1 Farblich unterschiedliche Varietäten von Zeisigwald-Tuff im Mauerwerk der Chemnitzer Schlosskirche.

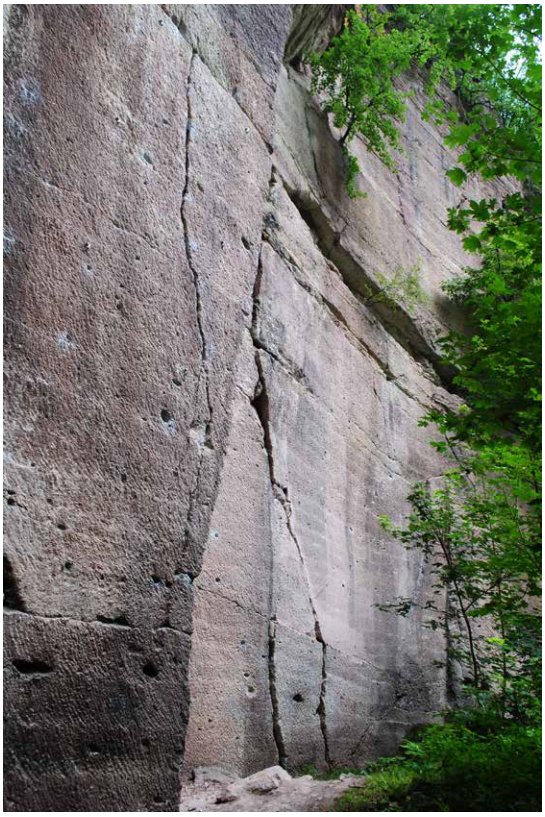


Abb. 2
Steinbruchwand mit Spuren des Abbaus im ehemaligen Findewirthschen Bruch im Zeisigwald.

schreibt er von den ältesten Kommunbrüchen an der Zschopauer Straße, die einen „sehr harten Thonstein“ geliefert hätten und den „hinter der Nikolaikirche und bei der Scharfrichterei ergiebigen Brüchen eines Thonporphyrs“. Naumann (1838) hat den Tuffstein dann als „Thonstein“ bezeichnet. Im Ergebnis einer Untersuchung am Material der Tulpenkanzel im Freiberger Dom aus Zeisigwalder Tuff durch die Freiberger Bergakademie 1869 wird das Gestein ebenfalls als feiner weißer „Thonstein, aus dem Rothliegenden“ bezeichnet (Siedel 1995). Nach Siegert & Lehmann (1877), den Erstkartierern des geologischen Messtischblattes Chemnitz, benennt auch Sterzel (1898) das Gestein als „oberen (oder Zeisigwalder Porphyrtuff oder „Thonstein“ (To).“ Er gebraucht den früher üblichen Begriff Tonstein nur noch in Anführungszeichen, wohl weil er an ältere Literatur anschließen will. Herrmann (1899) benennt das Gestein als „Porphyrtuff des Zeisigwaldes bei Chemnitz“ und setzt erklärend in Klammern hinzu: „In der Technik als Hilbersdorfer Porphyr, auch als weicher Porphyr, Hilbersdorfer Sandstein, Thonporphyrtuff, Thonstein etc. bezeichnet.“ Das deutet darauf hin, dass ältere, damals wissenschaftlich schon fragliche oder falsche Bezeichnungen vor allem in der Baupraxis noch in Gebrauch waren. Die uneinheitlichen, teilweise verwirrenden Begrifflichkeiten in den älteren Quellen müssen vor dem Hintergrund einer noch wenig entwickelten Systematik der Gesteine mit deutlichen Unterschieden zu unserer heutigen Terminologie gesehen werden. Dies kann auch bei Beschreibungen der Steingewinnung und -verwendungen im historischen Kontext manchmal zu Unschärfen führen und verdient Beachtung, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Die Benennung des verbreiteten Baugesteins als „Zeisigwald-Tuff“ (oder Zeisigwalder Tuff in der früheren Literatur) nimmt gleichzeitig die gültige geologisch-stratigraphische Bezeichnung und deren *locus typicus* auf und weist auf das über Jahrhunderte bedeutendste Abbaugebiet hin. Die geologische Bezeichnung „Zeisigwalder Tuff“ als Synonym für den „oberen Porphyrtuff“ älterer Nomenklatur ist bereits in den Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte bei Siegert & Lehmann (1877) zu finden und umfasst dort sämtliche farblichen Varietäten der beschriebenen historischen Abbaue, ausgenommen den „unteren Tuff“ oder „Kristalltuff“, der auch stratigraphisch vom Zeisigwalder Tuff differenziert werden muss. Die farbliche Beschreibung des Zeisigwalder Tuffs bei Siegert & Lehmann (1877) lautet wie folgt: „Er ist meist grünlich, blassrosa bis ziegelroth, hell- bis dunkelviolett gefärbt oder vollkommen weiss, jedoch selten einfarbig, sondern meist gesprenkelt, gefleckt oder gestreift.“ Die Autoren schließen in den stratigraphischen Begriff des Zeisigwalder Tuffs also sämtliche in den Aufschlüssen vorkommenden Farbvarietäten ein, die die Tuffe der heutigen Leukersdorf-Formation umfassen. In diesem Sinne wird der Name hier auch für das Baugestein verwendet. Er ist somit nicht völlig synonym mit dem von Baupraktikern auch benutzten Namen „Hilbersdorfer Porphyrtuff“, der kein stratigraphischer, sondern ein Lokalname ist. Damit werden vor allem die bei der Ortslage Hilbersdorf im Zeisigwald abgebauten Tuffe gemeint, die in den letzten 500 Jahren bevorzugt und in großen Mengen als Baugesteine eingesetzt worden sind. Die in früheren Zeiten in deutlich geringerem Umfang am Kapellenberg und im Bruch „dy alde steyngrube“ abgebauten, nach Urban (1983) rot-weiß gefleckten Tuffe gleichen stra-

Abb. 3
Rot-weiß gefleckte Farbvarietäten des Zeisigwald-Tuffs, wie sie im Mittelalter südlich der Stadt abgebaut worden sind, im Mauerwerk des Roten Turms in Chemnitz.

tigraphischen Alters (Abb. 3) dürften demnach streng genommen nicht als „Hilbersdorfer Tuff“ bezeichnet werden. Jedoch erscheint eine weitere Unterteilung der als Baugesteine verwendeten Zeisigwald-Tuffe allein auf der Basis der Unterscheidung farblicher Varietäten, wie es jüngst Jentsch (2010) mit der Neuschöpfung des aus der Literatur nicht bekannten Begriffs „Porphyrtuff Typ Kapellenberg“ oder „Kapellenberger Porphyrtuff“ vorgeschlagen hat, nicht sinnvoll. Aufgrund der derzeit schlechten Aufschlussverhältnisse lassen sich für dieses Material einerseits keine geologisch wirklich gesicherten Aussagen zu den Vorkommen machen, auch wenn die bekannten Zusammenhänge zwischen Betriebszeit der ältesten Brüche und Baubefunden sowie temporäre Aufschlüsse (Urban 1983) die Herkunft tatsächlich nahe legen. Vor allem aber fehlen systematische technisch-petrographische Untersuchungen zu den Eigenschaften dieser und der Hilbersdorfer Tuffe im engeren Sinne, die eine solche Unterteilung eventuell als baupraktisch sinnvoll und gerechtfertigt erscheinen lassen könnten, falls signifikante Unterschiede auftreten würden. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass auch innerhalb einer Ablagerungssequenz in einzelnen Steinbrüchen entstehungsbedingt größere Schwankungen der petrographisch-technischen Kennwerte auftreten, so dass Unterschiede in den technischen Gebrauchs- und Verwitterungseigenschaften weder an farblichen noch an Herkunftsmerkmalen allein festzumachen sein dürften. Dem Verfasser scheint es daher nahe liegender, für alle ehemals genutzten Tuffe der Leukersdorf-Formation am baupraktischen Oberbegriff „Zeisigwald-Tuff“ bzw. „Zeisigwalder Porphyrtuff“ festzuhalten, der in der Literatur eingeführt und auch überregional bekannt ist. Dies schließt eine historische Zuordnung rot-weiß gefleckter Farbvarietäten zu den älteren Chemnitzer Steinbrüchen, wie sie bereits Krönert (1965) und Urban (1983) begründet vorgenommen haben, natürlich nicht aus.

3 Verwendung und Verbreitung als Bau- und Bildhauergestein

Die bauliche Verwendung des Zeisigwald-Tuffs reicht zurück bis in die frühe Zeit des Steinbaus in der Stadt Chemnitz (Krönert 1965, Urban 1983). Ältere erhaltene Bauten der Stadt aus dem 13.–15. Jahrhundert zeigen, wie schon beschrieben, vielfach die rot-weiß gefleckte Farbvarietät der stadtnahen Steinbrüche (Abb. 4). Urban (1983) führt als Beispiele den schon vor dem Stadtmauerbau existierenden Roten Turm, nicht zugängliche Reste der alten Stadtmauer (vor 1264), frühgotische Bausubstanz der Schlosskirche von der Mitte des 13. Jahrhunderts und den um 1274 erbauten östlichen Kreuzgangflügel des Schlossbergmuseums (ehem. Benediktinerkloster) an. Auch in gotischen Fenstergewänden der in wesentlichen Teilen im 13. und 14. Jahrhundert errichteten Jakobikirche ist das Material nachweisbar (Abb. 5). Es wurde als Werkstein im Mauerwerk, aber auch für die Herstellung von profilierten Bauelementen wie Gewänden oder Gewölberippen genutzt. Die Verbreitung dürfte in den ersten Jahrhunderten der Gewinnung weitgehend auf die Stadt Chemnitz be-

schränkt gewesen sein. Allerdings konnte der Verfasser beispielsweise auch bei der Begutachtung von in den frühen 1990er Jahren im Gelände des ehemaligen Zisterzienserklosters Grünhain (gestiftet 1232) durch das Landesamt für Denkmalpflege Sachsen ergrabenen Natursteinelementen (Teile von Gewölberippen, Torso einer knienden Figur) weißlich-gelb und rot-weiß gefleckte Varietäten des Zeisigwald-Tuffs identifizieren. So kann davon ausgegangen werden, dass das Gestein bereits in der Frühzeit der Gewinnung gelegentlich in der Umgebung der Stadt Chemnitz verwendet worden ist, vielleicht im Zusammenhang mit am Bau beteiligten Steinmetzen, die auch in Chemnitz tätig gewesen sind und das Material kannten. Die insgesamt verarbeiteten Mengen werden nicht zu groß gewesen sein; bis in das 15. Jahrhundert hatte in Chemnitz der Holzbau vorgeherrscht (Krönert 1965).

Die Eröffnung neuer Steinbrüche im Gebiet des Zeisigwaldes wird von Krönert (1965) und Urban (1983) übereinstimmend mit dem ausgehenden 15. Jahrhundert angesetzt. Dies lässt sich am erhaltenen historischen Baubestand an den nun vertretenen, im Zeisigwald vorkommenden violetten und oben beschriebenen andersfarbigen und bunt gefleckten, aber auch beige-weißen Tuffgesteinen nachweisen (Urban 1983) und wird von Krönert (1965) auf die Erschöpfung bzw. kapazitive Überlastung der bisherigen Abbaustellen zurückgeführt. Krönert erwähnt in diesem Zusammenhang den steigenden Materialbedarf der Stadt vor dem Hintergrund der Förderung des Steinbaus aus Brandschutzgründen wie auch den wachsenden Wohlstand mit entsprechendem Repräsentationsbedürfnis.

An der Wende des 15. zum 16. Jahrhundert wurden in der Folge der Erzfunde und des „Großen Berggeschreys“ zahlreiche Menschen angezogen, die sich in der Erzgebirgsregion niederließen. Städtegründungen

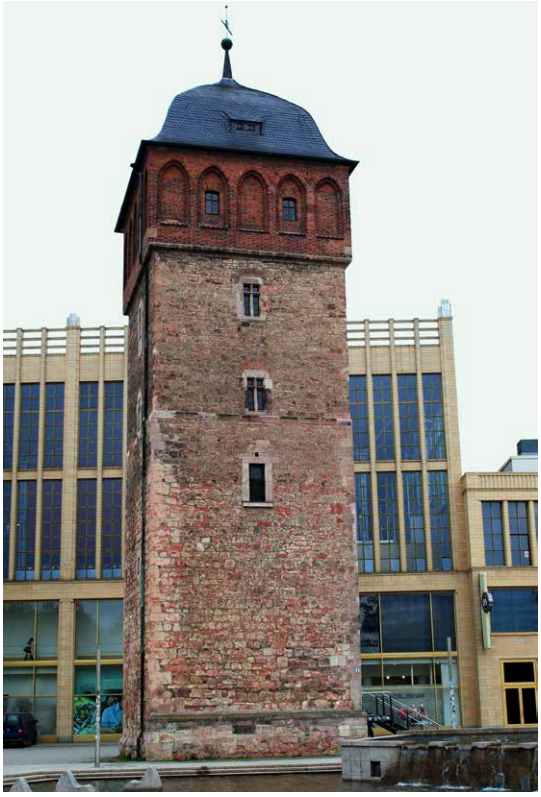


Abb. 4
Die rot gefleckten Zeisigwald-Tuff-Varietäten haben dem Roten Turm in Chemnitz, dessen Fundamente aus dem 12. Jahrhundert stammen, seinen Namen gegeben.

Abb. 5
Detail eines verwitterten Fenstergewändes an der Jakobikirche in Chemnitz aus rot-weiß geflecktem Zeisigwald-Tuff.

waren die Folge, wie die von Annaberg (1495), Marienberg (1521) und anderen. Das Mauerwerk der notwendigen Steinbauten wurde meist aus grob behauenen Bruchsteinen der lokal vorkommenden Massengesteine wie des Erzgebirgsgneises errichtet. Für Bauzier, Portal- und Fenstergewände an Sakral- und Profanbauten sowie zur Ausstattung von Kirchen durch Taufsteine, Kanzeln, Altarbauten, für die Herstellung von Grabplatten usw. war jedoch gut bearbeitbarer Werk- bzw. Bildhauerstein gefragt. Neben Kreidesandsteinen kam hier der Zeisigwald-Tuff in dieser Zeit verstärkt zum Einsatz. Schöne Beispiele finden sich in vielen Erzgebirgsstädten, so in Marienberg (Abb. 6). Die Renaissance-Fenstergewände des aus Bruchstein errichteten ehemaligen Rittergutes Geyersberg in Geyer, das vom Baumeister Hieronymus Lotter aus Leipzig 1566 erworben und umgebaut wurde, bestanden aus Zeisigwald-Tuff, bis sie auf Grund ihres schlechten Zustands jüngst durch Sandsteinkopien ersetzt wurden. Aus Zeisigwald-Tuff sind auch die erhaltenen Originalteile heute wieder farbig überfasster Gewände der spätgotischen Vorhangbogenfenster und gerade geschlossenen Renaissancefenster (Abb. 7) des Schlosses in Schlettau. Hier wie in manchen anderen Fällen ist das Material unter einer im Zuge von Restaurierungsmaßnahmen erneuerten Farbfassung schwer zu identifizieren. Viele weitere solche Beispiele könnten angeführt werden. Die Verwendung des Steins für die genannten Zwecke zieht sich auch durch die folgenden Jahrhunderte, in denen vielfach Gebäude nach Stadtbränden oder Kriegszerstörungen wieder errichtet wurden (Abb. 8).

Im ersten Drittel des 18. Jahrhunderts ist Zeisigwald-Tuff auch zur Herstellung einiger der flächendeckend in Kursachsen errichteten Postdistanz- und Straßensäulen durch Chemnitzer Steinmetze für die Stadt und ihre Umgebung verwendet worden (Franke et al. 1989). Davon ist nur wenig erhalten, wohl auch, weil der recht verwitterungsanfällige Stein in vielen Fällen stark zerstört die Zeitläufte weniger gut überstand als andere Gesteinsmaterialien und zudem oft zum Zeitpunkt von Restaurierungen und Nachbildungen dieser technischen Denkmale in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nicht mehr als Neustein verfügbar war. Die Säulen, für die Zeisigwald-Tuff bzw. Hilbersdorfer Tuff als Material genannt wird, befinden sich in einem Umkreis von ca. 20 km um Chemnitz (Franke et al. 1989). Für die Stadt Penig wird beispielsweise berichtet, dass deren Postmeilensäulen nach dem Willen des Stadtrates ursprünglich aus Rochlitzer Porphyrtuff hergestellt werden sollten. Der gräflich-schönburgische Amtmann Pitterlin ließ sie allerdings unter Negierung des Ansinnens der Stadt bei seinem Schwager, dem Chemnitzer Steinmetz Martin Hertel aus Zeisigwald-Tuff fertigen. 1880 musste die verbliebene, 1736 aufgestellte Säule bereits repariert werden, um 1930 waren die Inschriften kaum noch zu erkennen.

Abb. 6
Sitznischenportal mit der Jahreszahl 1539 am ehemaligen Bergamt (Markt 14) in Marienberg aus Zeisigwald-Tuff.

Abb. 7
Renaissance-Fenster am Schloss Schlettau mit originalen Gewändeteilen aus Zeisigwald-Tuff, bei der Restaurierung farbig überfasst.

Abb. 8
Detail des Portalgewändes aus Zeisigwald-Tuff an einem Wohnhaus in Annaberg.

1988 wurde eine Kopie der verbliebenen, stark verwitterten Säule aus Rochlitzer Tuff angefertigt und aufgestellt (Franke et al. 1989). Auch andere Säulen, so die in Frankenberg, die nach Mitteilung des Stadtrates in Chemnitz aus Zeisigwald-Tuff hergestellt wurde, um „großen Anfuhrlohn" zu sparen, sind nach starker Verwitterung durch Rochlitzer Material ersetzt worden (Franke et al. 1989). An der ebenfalls erneuerten Distanzsäule aus Granit in Zschopau (Abb. 9) ist von der ursprünglich ganz aus Zeisigwald-Tuff bestehenden Säule von 1727 das originale Wappen (Franke et al. 1989) erhalten. Adam Friedrich Zürner, der kurfürstliche Beauftragte für die Errichtung der Säulen, hatte sich übrigens auch für Materialfragen interessiert und bei der Frankenberger Säule moniert, der Chemnitzer Stein sei nicht genügend fest – er hatte dafür zunächst eine Bestellung bei den Rochlitzer Steinmetzen ausgelöst (Franke et al. 1989).
Unbedingt erwähnt werden müssen in diesem Zusammenhang Beispiele für die vielfältige bildhauerische Bearbeitung des Zeisigwald-Tuffs. Deren beste werden wohl durch die Werke des Meisters H. W. repräsentiert, der im ersten Viertel des 16. Jahrhunderts vor allem in Chemnitz (u. a. Beeger & Quellmalz 1965), aber auch in Freiberg (Kiesewetter et al. 1995), Annaberg (Magirius 2003; Abb. 10 und 11) und anderen Orten der Region seine Spuren hinterlassen hat. Die bildhauerische Behandlung des im bruchfrischen, feuchten Zustand weichen Tuffsteins an der Freiberger Tulpenkanzel durch den Meister H. W. erinnert mit ihren filigranen Querschnitten an Schnitzarbeiten. Kiesewetter und Stuhr (in Kiesewetter et al. 1995) haben die Fertigung des Bildwerkes im Detail untersucht und kommen zu dem Schluss, dass seine Teile wohl in Chemnitz entstanden und dann in Freiberg zusammengesetzt worden sein müssen, Meister H. W. also von seiner in Chemnitz vermuteten Werkstatt aus operiert hat. Da er sicher auch für die Beschaffung des Steinmaterials verantwortlich gewesen ist, war die Nutzung des Tuffsteins aus dem Zeisigwald im wahrsten Sinne des Wortes nahe liegend. Sein Zeitgenosse Franz Maidburg und viele spätere Bildhauer (Abb. 12) haben das weiche Material ebenfalls gern zur Verarbeitung verwendet.

Wohl vor allem aus Kostengründen beschränkte sich der Einsatz des ausgesuchten Werksteinmaterials, das unter hohem Transportaufwand ins Gebirge oder das Erzgebirgsvorland gebracht werden musste, außerhalb der Stadt Chemnitz auf steinmetzmäßig oder bildhauerisch bearbeitete Bauteile im Sichtbereich. Der damalige Transport von Naturstein auf Wagen über schlechte Straßen stellte einen erheblichen Kostenfaktor dar. Betrachtet man die im Rahmen dieser Arbeit in der Übersicht erfasste Verbreitung von Zeisigwald-Tuff an Bauwerken, bleibt sie bis weit in das 19. Jahrhundert hinein auf Entfernungen von weniger als 50 km vom Gewinnungsort im Zeisigwald begrenzt (Abb. 13). Weiter östlich dominierten die ebenso brauchbaren Kreide-Sandsteine des Elbtals sowie des Tharandter Waldes – letztere sind beispielsweise häufig in Freiberg zu finden – die Baulandschaft. Der Zeisigwald-Tuff kann auch in Bauwerken von Ortschaften nördlich von Chemnitz nachgewiesen werden, so in Penig und Mittweida (Abb. 14). Hier überlagert sich sein Vorkommen aber oft schon stark mit dem des Rochlitzer Porphyrtuffs, dessen Verbreitungsgebiet sich nach Nordwesten anschloss und der für die zwischen Leipzig und seinem Gewinnungsgebiet gelegene Region den wichtigsten Werk- und Bildhauerstein darstellte. Wegen dessen meist besserer Verwitterungsbeständigkeit sind verwitterte Bauteile aus Zeisigwald-Tuff später auch mitunter durch Rochlitzer Material ersetzt worden. Weiter im Westen wurde vielfach Zwickauer Kohlesandstein (bis in das 18. Jahrhundert) und Buntsandstein aus den näher gelegenen Vorkommen Thüringens und Sachsen-Anhalts als Werk- und Bildhauerstein verwendet. Trotzdem ist Zeisigwald-Tuff beispielsweise an Bauwerken aus der Mitte des 19. Jahrhunderts in Zwickau oder zur Herstellung der Figur des ehemaligen Marktbrunnens in Glauchau (1758) verwendet worden. Ausnahmen vereinzelter Verwendung des Chemnitzer Tuffs im 19. und 20. Jahrhundert über den beschriebenen Bereich hinaus, z. B. für Grabmale in Dresden (Börner et al. 2011, Abb. 15) oder eine Sockelverkleidung in Greiz (Weise & Aselmeyer 2009) sind selten.

Ihren Höhepunkt hatten Abbau und Nutzung des Zeisigwald-Tuffs im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts. Mit dem Bauboom der Gründerzeit (zumal in der rasant wachsenden Industriestadt Chemnitz) erfuhr seine Verwendung und Verbreitung einen letzten starken Aufschwung, über den Friedrich & Heppe (1870) berichten: „Der sandige Thonstein des Zeisigwaldes bei Chemnitz, auch unter dem Namen Hilbersdorfer Sandstein bekannt, wird in einer ansehnlichen Zahl von Steinbrüchen (darunter 12 größere und bis zu 60 Ellen tiefe) gewonnen und als Bau- und Werkstein zu Wagen und durch die Eisenbahn bis weit ins Erzgebirge hinauf und andererseits bis in die Gegend von Zwickau und Döbeln versendet. Die Hauptmasse verbraucht vor allen Dingen Chemnitz, welches entsprechend seiner sehr starken Bevölkerungszunahme und bei seinem stets nachwachsendem Gewerbebetrieb außerordentlich viel und zum Theil sehr große Neubauten in und um sich hat entstehen sehen, die fast sämmtlich von dem ausgezeichneten Baumaterial aufgeführt und mit ihm verziert sind.“ Richter (1763) hatte über 100 Jahre früher nur 7 Steinbrüche im Zeisigwald beschrieben. Gebauer (1893), der sich auf Friedrich & Heppe (1870) bezieht, spricht von der Gewinnung im Zeisigwald in 40 „zum teil sehr ausgedehnten und über 30 m tiefen Brüchen“ und gibt deren Angaben zur Verbreitung wörtlich wieder. Herrmann (1899) nennt den Zeisigwald die „Hauptsteinkammer von Chemnitz“ und erwähnt auch zu dieser Zeit noch 40 Steinbrüche mit ca. 600 Arbeitern.

Abb. 9
Erhaltenes Originalwappen aus Zeisigwald-Tuff, wiederverwendet bei der Rekonstruktion der Postdistanzsäule in Zschopau.

Abb. 11
Taufstein der St. Annen-Kirche in Annaberg, Werk des Meisters H. W. aus Zeisigwald-Tuff.

Abb. 10
Schlussstein des Meisters H. W. aus Zeisigwald-Tuff mit Darstellung der Danielslegende in der Kirche St. Annen in Annaberg.

Abb. 12
Relief aus Zeisigwald-Tuff mit der Jahreszahl 1751 an der Adler-Apotheke in Zschopau.

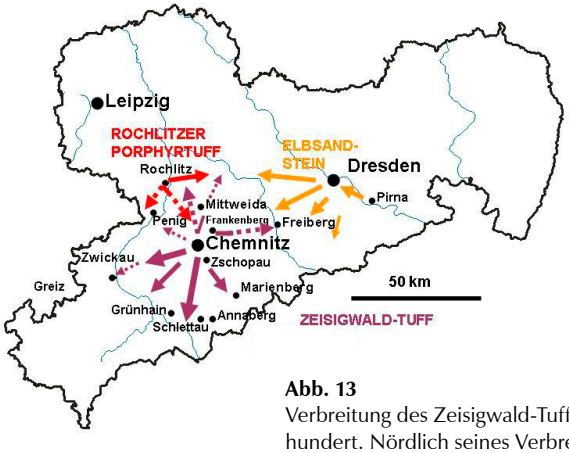


Abb. 13
Verbreitung des Zeisigwald-Tuffs an Bauwerken in sächsischen Städten bis ins 19. Jahrhundert. Nördlich seines Verbreitungsgebietes dominierte der Rochlitzer Porphyrtuff als Werkstein, östlich die Kreidesandsteine der Elbtalkreide und des Tharandter Waldes.

Abb. 14
Eingangsportal am sogenannten Emmerichschen Eckhaus in Mittweida mit Sitznischenportal aus Zeisigwald-Tuff mit der Jahreszahl 1537. Die erneuerten Fenstergewände darüber bestehen aus Rochlitzer Porphyrtuff.

Anfang der 1880er Jahre waren nach diesem Autor noch etwa 1000 Arbeiter dort beschäftigt gewesen. In verschiedenen Stadtteilen von Chemnitz finden sich prächtige Beispiele dieser letzten großen Verwendungsperiode (Abb. 16). Aber auch Häuser derselben Bauperiode im ganzen Erzgebirgsraum zeigen (meist in schlichterer Form) häufig Fenster- und Portalgewände aus Chemnitzer Stein (Abb. 17). Die große Zeit des Zeisigwald-Tuffs hielt noch bis über die Jahrhundertwende an, was sich auch an Bauwerken der Stadt Chemnitz gut ablesen lässt (Heinz & Siedel 2009). Dann setzte bis 1910 der rasche Niedergang ein, von dem sich die Steingewinnung im Zeisigwald nie mehr erholte. Als Ursachen nennt Krönert (1965) die Konkurrenz von Bausteinen mit besseren Festigkeitseigenschaften wie Elbsandstein oder Lausitzer Granit, die über das Schienennetz der Eisenbahn nun in größeren Mengen bei niedrigen Transportkosten über weitere Strecken versendet werden konnten, was auch ihre zunehmende Nutzung an Chemnitzer Fassaden widerspiegelt (vgl. Heinz & Siedel 2009). Der Zeisigwald-Tuff war ein Verlierer dieser Entwicklung der Infrastruktur, die den genannten anderen sächsischen Gesteinen noch einmal Produktionszuwächse brachte. Zunächst hatten der transportgünstige Standort der Hilbersdorfer Brüche nahe der Stadt Chemnitz, deren Steinbedarf groß blieb, und die dadurch geringeren Kosten diese Entwicklung noch bremsen können: „Der Preis der Waren beträgt in Chemnitz nur ca. 2/3 von dem des Elbsandsteins.“ (Herrmann 1899). Doch auch die industrielle Massenproduktion von Ziegel und Beton verdrängten nun den einheimischen Stein verstärkt aus der baulichen Anwendung (Krönert 1965) und setzte die Natursteinindustrie insgesamt unter Druck.

Abb. 15
Grabmal aus Zeisigwald-Tuff im Urnenhain des Friedhofs Dresden-Tolkewitz; die erste Bestattung in diesem Grab erfolgte 1937.

Abb. 16 Portalschmuck aus Zeisigwald-Tuff an einem Wohnhaus in Chemnitz.

Um 1900 war die künftige Entwicklung schon absehbar, als Herrmann (1899) schrieb: „Ein außerordentlich gefährlicher Rivale ist der Werksteinindustrie, die also für Sachsen den größten Teil der Granit-, Sandstein- und Porphyrtuffindustrie umfasst, in den Cementwaren entstanden.“ Weiter beklagt er, dass „im modernen Spekulationsbauwesen vielfach nur die Frage nach der Billigkeit der Waren maßgebend ist. Wir sehen bei uns deshalb die Anwendung dieser gewöhnlichen, billigen Cementwaren, die vielfach beim Bauplatze selbst hergestellt werden, rapide Fortschritte machen und direkt unter den Augen von Sandstein- und Granitbrüchen ausgeübt.“ In dieser nochmals verschärften Konkurrenzsituation werden die zum Teil bekannt ungünstigen bzw. ungleichmäßigen Verwitterungseigenschaften (vgl. Abschnitte 4 und 5) ein Übriges dazu beigetragen haben, dass der Zeisigwald-Tuff den technisch besser bewerteten Natursteinen und modernen Baustoffen unterlegen war und bis zur endgültigen Einstellung der Produktion nur noch ein lokales Nischendasein am Natursteinmarkt fristete.

Abb. 17
Ladenzone eines Gebäudes in Zschopau, gestaltet mit Zeisigwald-Tuff.

4 Technische Eigenschaften

Der Zeisigwald-Tuff wurde im 20. Jahrhundert nur noch in geringem Umfang, in dessen zweiter Hälfte nur noch sporadisch vor allem für denkmalpflegerische Zwecke abgebaut. Dies dürfte die Ursache dafür sein, dass für ihn technische Kennwerte in der Literatur viel seltener zu finden sind als beispielsweise für den Elbsandstein, der kontinuierlich bis heute produziert und als Werkstein verwendet wird. Die technische Materialprüfung steckte zur Zeit des Niedergangs der Verwendung des Zeisigwald-Tuffs noch in den Kinderschuhen. Prüfungen der Gesteinskennwerte an den in Deutschland seit den 1880er Jahren entstehenden Materialprüfungsanstalten (Herrmann 1899 nennt neben Chemnitz, wo er selbst an den Technischen Staatslehranstalten unterrichtete, Dresden, Berlin, München, Stuttgart, Wien und Zürich im deutschsprachigen Raum) wurden erst später zu standardisierten Routineverfahren entwickelt. So gibt Herrmann (1899) für das Material – wie auch für andere Baugesteine – nur einige wenige Festigkeits- und Wasseraufnahmewerte an (Tab. 1), die wohl dessen älteste bekannte Gesteinskennwerte sind.

Tabelle 1 Kennwerte für den Zeisigwald-Tuff, geprüft durch die Prüfungsanstalt für Baumaterialien an den Technischen Staatslehranstalten Chemnitz 1892 (aus Herrmann 1899)

Name und Bruchstelle des Gesteins	Seitenlänge der Würfel (cm)	Anzahl der Proben	Druckfestigkeit lufttrocken (kg/cm²)	Spezifisches Gewicht
Porphyrtuff aus d. Zeisigwalde b. Chemnitz	5	5	215,9	1,907
Desgl. herrührend v. alten Teilen der im J. 1525 erbauten Schloßkirche zu Chemnitz				
a) von den Pfeilern	-	4	176,6	-
b) von einem Schlußstein	-	3	334	-

In den 1990er Jahren wurden für denkmalpflegerische Instandsetzungsarbeiten an verschiedenen Objekten, in denen das zu dieser Zeit nicht mehr abgebaute Material verbaut bzw. verwendet worden ist, Kenntnisse der technischen Eigenschaften benötigt. Im Zuge von Restaurierungsarbeiten an der Tulpenkanzel im Freiberger Dom hat der Autor damals vorliegende und während der Bearbeitung gemessene technische Kennwerte zusammengestellt (Siedel 1995). Problematisch war derzeit bereits die Gewinnung repräsentativen Gesteinsmaterials. Die untersuchten Tuffvarietäten stammten in der Regel nicht aus den schwer zugänglichen, verwitterten Steinbruchwänden der auflässigen Gewinnungsstätten im Zeisigwald, sondern aus unverwitterten Bereichen von Ausbau- oder Abbruchmaterial aus historischen Bauwerken oder aus Restmaterial des Abbaus, das in den Steinbrüchen liegen geblieben war. Varietäten wurden dem entsprechend an farblichen und strukturellen Unterschieden festgemacht, konnten aber nicht geologischen Einheiten in den Ablagerungssequenzen (Fischer 1990) genauer zugeordnet werden. Auch war keine systematische vergleichende Prüfung möglich, weil dazu nötige größere Probemengen einzelner Varietäten nicht ausreichend oder überhaupt nicht zur Verfügung standen. Das hat sich auch in der seitdem vergangenen Zeit nicht geändert, obwohl einige neue Daten hinzugekommen sind (Kreissl 2010, Wedekind et al. 2013, eigene Untersuchungen). Auch wenn die Datenlage nach wie vor noch nicht befriedigend ist, scheint es doch sinnvoll, vorhandene Kennwerte hier im Zusammenhang zu bewerten und als Grundlage einer Diskussion der Verwitterungseigenschaften (vgl. Abschnitt 5) zusammenfassend darzustellen.
In den Tabellen 2 und 3 sind die Daten aus Siedel (1995), ergänzt um einige neue eigene Messungen, sowie Daten aus Kreissl (2010) und Wedekind et al. (2013) zusammengestellt. Mit den Rohdaten aus Kreissl (2010) wurden Werte für eine dort ausgehaltene „beige bis cremefarbene Varietät“ (= einen „hellen weißen Tuff mit wenigen roten bis violetten Einsprenglingen / Flecken) und eine „violette Varietät“ berechnet. Während die Daten von Siedel (1995) an Ausbausteinen verschiedener Farbvarietäten gemessen wurden, stammen die Proben von Kreissl (2010) „aus dem Zeisigwald in Chemnitz“, d. h. aus dort aufgelesenem Restmaterial des früheren Abbaus. Über die Herkunft der Proben von Wedekind et al. (2013) wird in der Arbeit nichts mitge-

teilt. Die im eigenen Labor gemessenen Daten zur kapillaren Wasseraufnahme, hydrischen Dehnung und Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck wurden an Bohrkernen aus Ausbaumaterial im Rahmen einer Untersuchung zur Instandsetzung der Schlosskirche in Chemnitz für das Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. bestimmt (beige, ± violett gefleckte Varietät).

Tabelle 2 Zusammenstellung von gesteinsmechanischen und thermischen Kennwerten für den Zeisigwald-Tuff aus verschiedenen Quellen

Kennwert	Quelle	Mittelwert	Minimum	Maximum	Probenzahl / Standardabweichung
Druckfestigkeit [MPa], trocken	Siedel 1995	25,40	17,5	43	11 / 7,98
	Kreissl 2010	25,5[1,3] 32,2[2,3]	22,1[1,3] 29,3[2,3]	29,6[1,3] 35,5[2,3]	10 / 2,90[1,3] 4 / 2,60[2,3]
	Wedekind et al. 2013	32,0[3] 37,2 / 39,8[4]			Einzelwerte?
Druckfestigkeit [MPa], nach 96 h Wasserlagerung	Kreissl 2010	11,6[1] 12,2[2]	6,5[1] 11,1[2]	17,0[1] 12,8[2]	6 / 4,6[1] 3 / 1,0[2]
Biegezugfestigkeit [MPa]	Siedel 1995	5,5	4,0	7,0	7 / 1,13
	Kreissl 2010	6,4[3] 5,9[4]	6,3[3]	6,7[3]	3 / 0,23[3] 1[4]
Statischer Elastizitätsmodul [MPa]	Kreissl 2010	4.182[1,3] 5.069[2,4]	3.899[1,3]	4.819[1,3]	4 / 433[1,3] 1[2,4]
Dynamischer Elastizitätsmodul [MPa]	Kreissl 2010	10.432[1,3] 13.610[2,4]	9.300[1,3]	11.770[1,3]	4 / 1.048[1,3] 1[2,4]
Lineare thermische Dilatation [10^{-6} / K]	Siedel 1995	8,50			5 / 1,10

[1] weiße Varietät [2] violette Varietät [3] senkrecht zur Schichtung [4] parallel zur Schichtung

Die *Druckfestigkeiten* der untersuchten Zeisigwald-Tuffe liegen mit Streubereich zwischen 18 und 43 MPa und übereinstimmenden Mittelwerten von 25 MPa bei Kreissl (2010) und Siedel (1995) in einem für als Baugesteine genutzte Pyroklastite und Sedimentgesteine eher niedrigen Bereich. Siegesmund & Dürrast (2014) geben für Tuffe einen Streubereich zwischen etwa 10 und 50 MPa an, Peschel (1983) nennt für rhyolithische und trachytische Pyroklastite 45 bis 100 MPa. Die letztgenannten hohen Werte sind vielleicht durch Verkieselungserscheinungen bedingt, die bei den hier untersuchten Varietäten des als Werkstein genutzten Zeisigwald-Tuffs nicht vorliegen. Erklärbar werden seine für Baugesteine eher geringen Druckfestigkeiten (zum Vergleich: Postaer Elbsandstein ca. 65 MPa, Cottaer Elbsandstein 38–46 MPa, Siedel et al. 2011) durch die hohe Gesamtporosität (vgl. Tab. 3) und einen merklichen Tonmineralgehalt des Tuffs. Die durch die Untersuchungen von Kreissl (2010) festgestellte, stark verminderte Druckfestigkeit bei Wassersättigung (Tab. 2) ist bemerkenswert. Der Effekt der Erniedrigung der Festigkeit bei hohem Wassergehalt ist lange bekannt: Steinmetze wissen aus der Erfahrung, dass bruchfrischer, „bergfeuchter“ Naturstein leichter bearbeitbar ist als abgelagerter, ausgetrockneter. Bereits Hirschwald (1908) hatte einen „Erweichungskoeffizienten“ definiert, der über die Veränderlichkeit der Festigkeitseigenschaften bei Durchfeuchtung von Natursteinmaterial quantitativ Auskunft geben sollte. Dabei wird die Biegezugfestigkeit des durchfeuchteten Steins ins Verhältnis zur Festigkeit des trockenen Steins gesetzt. Je höher dieser Wert ist (immer < 1), desto weniger reagiert das Material auf Feuchteeinflüsse. Siedel (2010) hat zur Einordnung eigener Untersuchungen an Elbsandsteinen Vergleichswerte aus der Literatur (bezüglich Druck- und Zugfestigkeiten) zusammengestellt, die für Tuffgesteine besonders starke Effekte zeigen. So wurden für rhyolithische Tuffe Erweichungen bei Wassersättigung auf nur 16 bis 68 % der ursprünglichen Druckfestigkeiten gemessen. Für die hier untersuchten weißen Zei-

sigwald-Tuffe beträgt die Druckfestigkeit nach Wassersättigung im Durchschnitt ca. 45%, für die druckfestere violette Varietät sogar nur etwa 38% der Ausgangs-Druckfestigkeit (Abb. 18).

Tabelle 3 Zusammenstellung von Porenraum- und Feuchte-Kennwerten für den Zeisigwald-Tuff aus verschiedenen Quellen

Kennwert	Quelle	Mittelwert	Minimum	Maximum	Probenzahl / Standard-abweichung
Reindichte [g/cm³]	Siedel (1995)	2,67	2,64	2,74	5 / 0,04
	Kreissl (2010)	2,66[1] 2,71[2]	2,64[1] 2,69[2]	2,68[1] 2,73[2]	4 / 0,02[1] 2 / 0,03[2]
	Wedekind et al. (2013)	2,63			?
Rohdichte [g/cm³]	Siedel (1995)	1,78	1,63	1,85	5 / 0,09
	Kreissl (2010)	1,75[1] 1,89[2]	1,73[1] 1,88[2]	1,76[1] 1,90[2]	6 / 0,01[1] 3 / 0,01[2]
	Wedekind et al. (2013)	1,83			?
Gesamtporosität [Vol.%] (Hg-Porosimetrie)	Siedel (1995)	32,10	31,06	32,76	5 / 1,10
	Kreissl (2010)	32,20[1] 26,27[2]	25,78[1]	36,11[1]	5 / 3,86[1] 1[2]
	Wedekind et al. (2013)	30,24			?
Offene Porosität [Vol.%]	Kreissl (2010)	28,63[1] 21,27[2]	27,09[1] 20,64[2]	30,36[1] 21,62[2]	6 / 1,13[1] 3 / 0,55[2]
Wasseraufnahme-koeffizient [kg/m²√h]	Siedel (1995)	1,75	1,58	1,92	2 / 0,24
	Siedel (unv., 2017)	1,18	1,09	1,30	4 / 0,09
	Kreissl (2010)	1,18[1]	0,85[1]	1,41[1]	7 / 0,22[1]
	Wedekind et al. (2013)	0,18[3] 0,16 / 0,20[4]			?
Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck [M.%]	Siedel (1995)	12,60			4 / 0,49
	Siedel (unv., 2017)	11,58	10,90	12,17	4 / 0,52
	Kreissl (2010)	11,79[1] 10,03[2]	9,52[1]	12,86[1]	6 / 1,25[1] 1[2]
Wasseraufnahme unter Vakuum [M.%]	Siedel (1995)	18,98	19,50	18,45	2 / 0,52
Wasserdampfdiffusions-widerstandszahl μ (50-100% r. F.)	Siedel (1995)	12,5	10,9	13,0	
Hydrische Dilatation [mm/m] bei Wassersättigung	Siedel (1995)	2,79	2,11	3,46	2 / 0,95
	Siedel (unv., 2017)	0,86	0,68	1,22	4 / 0,24
	Wedekind et al. (2013)	0,62[3] 0,47 / 0,58[4]			?

[1] weiße Varietät [2] violette Varietät [3] senkrecht zur Schichtung [4] parallel zur Schichtung

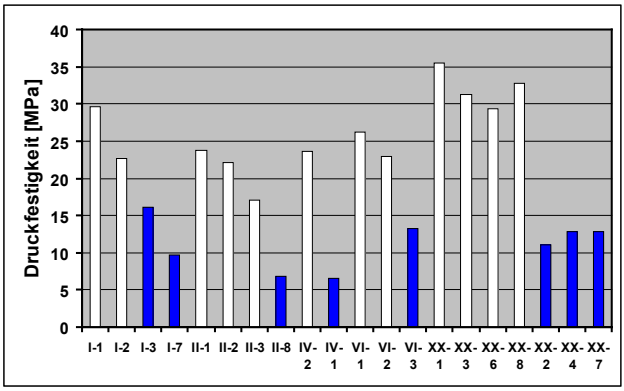
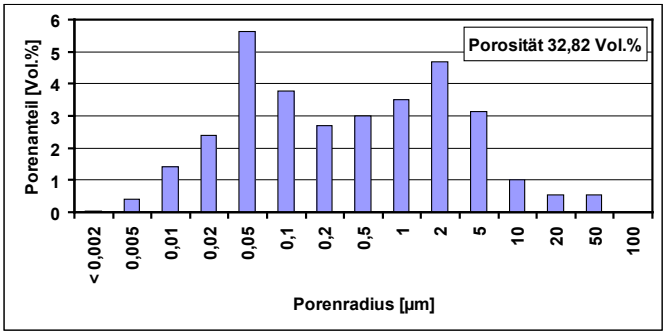


Abb. 18
Druckfestigkeiten von Probenserien weißer (I, II, IV, VI) und violetter Zeisigwald-Tuff-Varietäten (XX) im trockenen (weiß) und wassergesättigten Zustand (blau). Daten aus Kreissl (2010).

Die *Biegezugfestigkeiten* liegen in einem den Elbsandsteinen vergleichbaren Wertebereich. Auch die *thermische Dilatation* des Zeisigwald-Tuffs ist nicht auffällig und fällt in den Bereich vergleichbarer pyroklastischer und sedimentärer Gesteine (vgl. Siegesmund & Dürrast 2014).
Mit *Gesamtporositäten* zwischen 26 und 36 Vol.% liegt der Zeisigwald Tuff im mittleren Bereich der für Tuff angegebenen Spannweite von 20–65 Vol.% (Peschel 1983) bzw. 8 bis 46 % (Siegesmund & Dürrast 2014). Die in Tab. 3 dargestellten Porositäten sind mit Quecksilberdruckporosimetrie (Mercury Intrusion Porosimetry, MIP) gemessen worden und repräsentieren damit die effektive Porosität der Tuffproben, weil geschlossene, für die unter Druck eingepresste Flüssigkeit nicht zugängliche Poren nicht erfasst werden können. Die wenigen Werte für die *offene Porosität*, bestimmt nach DIN EN 1936 über die Wasseraufnahme bei leichtem Unterdruck bzw. Atmosphärendruck, aus Kreissl (2010) zeigen, dass der unter Atmosphärendruck für Flüssigkeiten zugängliche Porenraum des Gesteins noch deutlich unter dem mit MIP bestimmten liegen kann. Dennoch ist die *Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck* mit 10 bis 12 M.% recht hoch und liegt über der Wasseraufnahme von Elbsandstein, obwohl sich im Vergleich zur *Wasseraufnahme unter Vakuum* wiederum zeigt, dass bei Normaldruck nur ein Teil des offenen Porenraums mit Wasser gefüllt werden kann (Sättigungsbeiwert = 0,65, Siedel 1995). Der geringe *Wasseraufnahmekoeffizient* weist zudem darauf hin, dass die *kapillare Wasseraufnahme* bei diesem Gestein ein eher langsamer Prozess ist. Der *Wasserdampfdiffusionswiderstand* liegt in einem für poröse Sedimentgesteine üblichen niedrigen Bereich.
In diesem Zusammenhang soll auf die Verteilung der Porengrößen hingewiesen werden, wie sie mit der Methode der Quecksilberdruckporosimetrie erfasst werden kann. Die entsprechenden MIP-Diagramme (Abb. 19) zeigen eine ausgeprägt bimodale Verteilung der Poreneintrittsradien mit Maxima im kapillaren Bereich >0,1–100 μm sowie im oberen Bereich der Mikroporen (<0,1 μm). Mindestens ein Teil des relativ hohen Mikroporenanteils – aus den MIP-Messungen von Kreissl (2010) wurden zwischen 32 und 49 % Porenraumanteile <0,1 μm an dem mit derselben Methode bestimmten effektiven Gesamtporenraum berechnet – muss sicher dem Tonmineralgehalt in dem Gestein zugeordnet werden. Nachgewiesen wurden in Röntgenphasenanalysen regelmäßig Kaolinit und Illit sowie teilweise auch Illit-Montmorillonit-Wechsellagerungsminerale (Siedel 1995, Fischer 1990). Im Hinblick auf Verwitterungsprozesse ist eine solche Verteilung der Poren problematisch, wie aus Untersuchungen von Sandsteinen bekannt ist. Frost- und Salzsprengdrucke können durch den Verbund von Kapillarporen mit einem großen Anteil von Mikroporen besonders wirksam werden (Fitzner & Basten 1994). Die Mikroporen sind weiterhin für ein höheres Wasserrückhaltevermögen des Gesteins bei Verdunstung und damit eine langsamere Trocknung im Vergleich zu grobporigen Gesteinen verantwortlich (Fitzner 1988).
Schließlich soll noch auf die *hydrische* (Tab. 4) und *hygrische Dilatation* (Abb. 20) des Gesteins eingegangen werden. Die hier festgestellten Beträge variieren für verschiedene untersuchte Proben des Gesteins beträchtlich. Während in Siedel (1995) sehr hohe Quelldehnungen bei Wasserlagerung festgestellt worden sind, zeigten jüngere eigene Untersuchungen anderer Gesteinsvarietäten hohe bis moderate hydrische Dilatationen, wobei starke Schwankungen auch innerhalb eines Gesteinsblocks auftreten können. Die von Wedekind



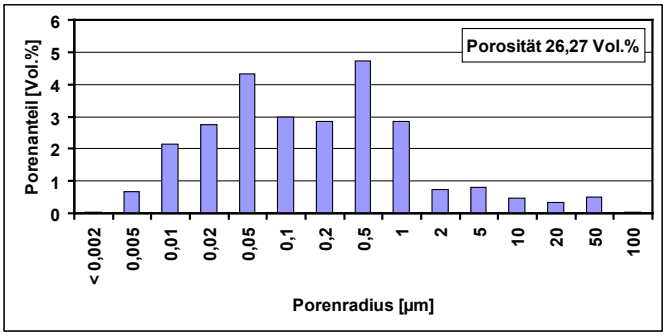


Abb. 19
Diagramme der Porenradienverteilung (Quecksilberdruckporosimetrie) an a) einer weißen und b) einer violetten Probe des Zeisigwald-Tuffs (berechnet nach Daten aus Kreissl 2010). Die angegebene Gesamtporosität ist die Summe der in der Verteilung dargestellten Porenraumanteile verschieden großer Poren.

et al. (2013) untersuchte Probe weist bei hoher Druckfestigkeit und sehr geringer kapillarer Wasseraufnahme eine mittlere hydrische Dehnung auf. Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass die hydrische Dilatation nur schwach mit der Gesamtwasseraufnahme der untersuchten Proben korreliert. Für ihre Ausprägung spielen Porengrößenverteilung und Tonmineralgehalt (Ruedrich et al. 2011) wohl eine größere Rolle.
Abb. 21 zeigt die Sorptionsisothermen von Zeisigwalder Tuffproben verschiedener Farbvarietäten. Sie belegt die Möglichkeit dieses Gesteins, bei hohen Umgebungsluftfeuchtigkeiten (unter 100 % r. F.) flüssiges Wasser aus der Raumluft im Porengefüge niederzuschlagen. Dieser Effekt der so genannten „Kapillarkondensation" beruht auf der Dampfdruckerniedrigung über stark gekrümmten Oberflächen von Mikroporen. Bei hohen Raumluftfeuchten von 95% r. F. kann das Gestein zwischen 1,5 und 3 M.% Wasser auf diese Weise aufnehmen, ohne dass es direkt durch flüssiges Wasser befeuchtet wird. Die Unterschiede für die untersuchten Farbvarietäten weisen gleichzeitig darauf hin, dass ihre Porenstrukturen verschiedene Mikroporenanteile enthalten. Die durch den Effekt der Wasseraufnahme durch Kapillarkondensation bedingte Quelldehnung (hygrische Dilatation, Abb. 20) ist mit ca. 0,5 mm/m im Verhältnis zu der an den gleichen Proben gemessenen hydrischen Dilatation (Dehnung bei Wasserlagerung, Tab. 3, Siedel 1995) gering.
Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die untersuchten Zeisigwald-Tuffe für Baugesteine relativ geringe Festigkeiten zeigen, die sich bei Durchfeuchtung nochmals stark verringern. Innerhalb der von Kreissl (2010) untersuchten Proben können negative Zusammenhänge zwischen Gesamtporosität (bzw. effektiven Porosität nach MIP) und Druckfestigkeit hergestellt werden (geringere Porosität bei höherer Festigkeit). Obwohl die hell beige / weiße und die violette Varietät aufgrund der Mittelwerte für Festigkeit und Porosität deutlich unterscheidbar sind, gibt es jedoch bei den Einzelwerten Überlagerungen, die darauf hindeuten, dass eine Einteilung in unterschiedlich belastbare bzw. verwitterungsbeständige Varietäten des Tuffs für Einzelproben nicht eindeutig an der Gesteinsfarbe festgemacht werden kann.
Die Porosität der Zeisigwald-Tuffe ist recht hoch, wird jedoch unter Atmosphärendruck nur unvollständig mit Wasser gefüllt. Die kapillare Wasseraufnahme erfolgt langsam. Ein hoher Mikroporenanteil <0,1 μm und nachgewiesene Tonmineralgehalte dürften für ebenso langsame Austrocknung sorgen. Auffällig ist weiterhin die stark schwankende hydrische Dehnung, die neben Festigkeitsunterschieden für das Verwitterungsverhalten entscheidende Bedeutung haben dürfte.

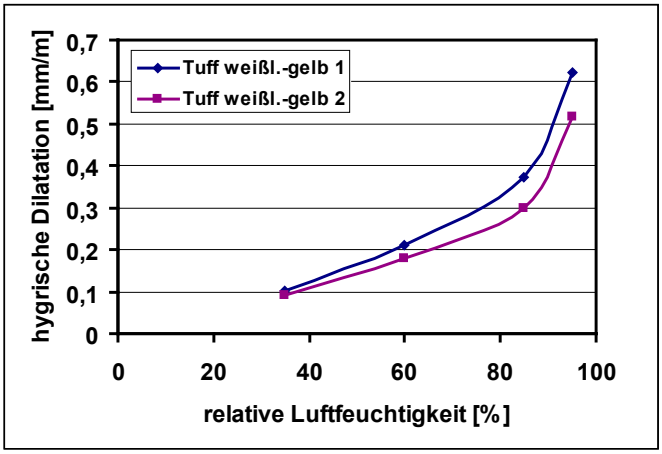


Abb. 20
Hygrische Dilatation von Proben des Zeisigwald-Tuffs (verschiedene Farbvarietäten, nach Siedel 1995).

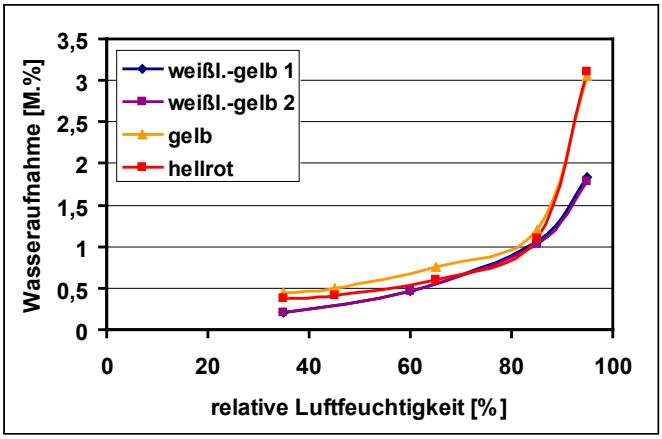


Abb. 21
Sorptionsisothermen von verschieden gefärbten Proben des Zeisigwald-Tuffs (nach Siedel 1995).

5 Verwitterungsverhalten

Bewertungen des Verwitterungsverhaltens der von Petrus Albinus (1590) den „Schlemmsteinen“ zugeordneten Zeisigwald-Tuffe finden sich schon in dessen Beschreibung: „Es ist aber zu mercken / das die Schlemmstein / sonderlich die weich und mittelmeßig sein / wandelbar werden / denn sie zermilben sich am Wetter: Item / zuspringen von Kelte und Frost / eins theils werden auch wol von der Sonnen und Hitz gehoben. Ich habe aber auch das gegenspiel gesehen / das die Leichstein aus Schlemmstein sehr lang am Wetter ohn allen Wandel liegen.“ Einschlüsse im Tuffstein betreffend fährt er fort: „Bisweilen ist ein Steinmarck im Schlemmstein daher Löcher drinnen werden / so dasselbe im hawen draus fellet. Bisweilen sind auch schwarze Kiesel und Hornstein drinnen / welche im arbeiten loß werden und heraus fallen / und die Stein uneben und unscheinbar machen.“ Hiermit ist das Problem des Gesteins schon frühzeitig umrissen worden. Als wesentliche Mängel werden sein unterschiedliches Verwitterungsverhalten und seine Inhomogenität beschrieben, die bereits die Bearbeitung erschweren kann. Adam Daniel Richter (1763) vermutet in seiner Stadtchronik für den Steinbruch am Kapellenberg („nahe bei der Stadt, in dem Niclasberge“) eine Einstellung aus Qualitätsgründen: „… jetzo aber ist er eingegangen, die Steine stehen nicht im Wetter.“ Auch für die damals gängigen Werksteinbrüche im Zeisigwald gibt er unterschiedliche Qualitätsbewertungen ab und erwähnt neben einem, in dem „schöne Werckstücken“ gebrochen werden auch solche, deren Stein „viele Markgallen“ hat oder nicht gut im Wetter steht. Die schwankende Qualität des Tuffsteins wurde also durchaus früh kritisch

betrachtet. Ausgesprochen negativ äußert sich dann Otto Herrmann (1899) über die Materialqualität und die Farbschwankungen: „Infolge der unschönen Farbe, welche nirgends regelmäßige, angenehme Zeichnungen aufweist, der zahllosen, allmählich hervortretenden Buckel (Konkretionen) und der in den Waren nach und nach massenhaft entstehenden Löcher, der geringen Festigkeit und großen Verwitterbarkeit stellt das Gestein ein dürftiges Baumaterial dar …". Die bildhauerischen Arbeiten in Zeisigwald-Tuff bezeichnet er gar „vom technischen Standpunkte aus nur als Verirrungen in der Materialauswahl". Der Geologe Herrmann war zu dieser Zeit Lehrer an den Technischen Staatslehranstalten in Chemnitz und kannte die Materialprobleme sicher aus eigener Erfahrung. Seine überraschend pauschale, negative Haltung zum einheimischen Chemnitzer Stein erklärt sich möglicherweise zum Teil aus Ärger über die massenhafte, unkritische Verwendung auch schlechter Qualitäten des billigen Tuffs in der Stadt zu dieser Zeit: „Wie schlicht und ärmlich ist schon das Bild vieler Chemnitzer Straßen mit ihrem dürftigen natürlichen Hauptbaustein, dem Zeisigwaldporphyrtuff, gegenüber dem anderer Städte mit einem günstigeren Baumaterial. Verdankt nicht Dresden seinen vornehmen, sonnigen Charakter zu einem guten Teile der reichen Verwendung des edlen Elbsandsteins in seinen Bauwerken! Freilich werden solche Betrachtungen nur schwierig Gehör finden, da leider im modernen Spekulationsbauwesen vielfach nur die Frage nach der Billigkeit der Waren maßgebend ist." (Herrmann 1899). Beeger & Quellmalz (1964) haben dieses negative Urteil über den Zeisigwald-Tuff auf der Basis eigener Untersuchungen zum Verwitterungszustand am Material des Nordportals der Schlosskirche in Chemnitz (heute im Innenraum der Kirche) wieder relativiert und festgestellt, dass „ …das verwendete Baumaterial von unterschiedlicher Qualität ist. Das bedeutet, dass einzelne Partien in den Steinbrüchen als Werkstein relativ gut geeignet waren." Diese differenziertere Sicht wird durch eigene Beobachtungen an vielen Bauwerken bestätigt.

Betrachtet man durch Verwitterung geschädigte Gesteinsblöcke oder Partien von Objekten, deren Material seit Jahrzehnten oder Jahrhunderten im Außenraum exponiert ist, können verschiedene typische Verwitterungsformen festgestellt werden. Häufig ist die Bildung von ± oberflächenparallelen Schuppen (Abb. 22) oder Schalen (Abb. 23, s. auch Abb. 5). Daneben sind auch Bröckelzerfall (Abb. 24) oder Verlust von Komponenten durch Auswitterung zu beobachten (Abb. 25). Schadenschwerpunkte an Gebäuden sind in der Regel die Bereiche, die starker Feuchtebelastung ausgesetzt sind, wie Sockel, Gesimse und weitere erdberührte oder auskragende Partien (Abb. 26). Bemerkenswert ist weiterhin, dass teilweise gleichartig exponierte Blöcke sehr verschiedene Grade der Verwitterung zeigen (Abb. 25). Dies verweist wiederum auf die Inhomogenität des Materials mit stark streuenden technischen Eigenschaften (vgl. Abschnitt 4). Unter Berücksichtigung der vorhandenen Kenntnisse dieser Eigenschaften muss vor allem der teilweise hohe Gehalt an Tonmineralen in der Gesteinsmatrix mit hohen bis extremen hydrischen Dehnungen bei Durchfeuchtung und entsprechender Schrumpfungen bei Austrocknung als eine Ursache für die beobachteten Schäden gesehen werden. Die gemessenen hydrischen Dilatationen über 1 mm/m liegen dabei erfahrungsgemäß im kritischen Bereich für eine besondere Verwitterungsanfälligkeit. Die ungleichmäßige Verteilung tonreicher und tonärmerer Partien im Tuffstein ist sicherlich für stärkere Schwankungen dieser Eigenschaft nicht nur von Werksteinblock zu Werksteinblock, sondern auch innerhalb ein und desselben Blocks verantwortlich und kann bei einer Vielzahl von Befeuchtungs- / Trocknungswechseln zur Rissbildung und schließlich Ablösung größerer in sich intakter Bereiche (Abbröckeln) führen. Auf diese Weise initial entstandene Mikrorisse transportieren einsickerndes Wasser in die Tiefe und befördern auch den Frostangriff in den bereits entfestigten Zonen, der zusätzlich zum Schadbild des Bröckelzerfalls beiträgt. Die Schuppen- und Schalenbildung im oberflächennahen Bereich von Gesteinsblöcken können als Resultat der mit häufigen starken Feuchtewechseln in der Oberflächenzone verbundenen mechanischen Scherspannungen angesehen werden. Gesteinspartien mit geringerer Gesamtporosität, höherer mechanischer Festigkeit und geringerem Tonmineralgehalt sowie geringerer hydrischer Dehnung sollten der Wechselbelastung durch Befeuchtung und Austrocknung besser widerstehen. Innerhalb des Gefüges wittern einzelne dichtere Lapilli mit geringer Wasseraufnahme an der Grenzfläche zur weicheren und poröseren Gesteinsmatrix aus, weil sich dort Frost- und Salzangriffe durch Staunässe oder behinderten Salztransport massieren (Siedel 2008).

Als wichtiger Faktor für die Verwitterungsanfälligkeit des Tuffsteins ist auch der starke Festigkeitsverlust bei Durchfeuchtung zu sehen, der die Widerstandsfähigkeit des Gesteins bei Verwitterungsvorgängen unter Feuchteeinfluss zusätzlich schwächt. Weiterhin ist die ungünstige bimodale Porenstruktur mit relativ hohem

Abb. 22 Verwitterung eines Steinblocks im Gebäudesockel durch Schuppenbildung am Zeisigwald-Tuff.
Abb. 23 Schalenbildung durch oberflächenparalle Risse an einem Werksteinblock aus Zeisigwald-Tuff.
Abb. 24 Bröckelzerfall an einem Gesimsteil aus Zeisigwald-Tuff.
Abb. 25 Auswittern von Komponenten (Lapilli) und Zurückwittern der Oberfläche an einem Werkstein aus Zeisigwald-Tuff.
Abb. 26 Starke Verwitterung des Zeisigwald-Tuffs an auskragenden, feuchteexponierten Partien der Fassade (Gesims und Sohlbank des Fensters).

Mikroporenanteil zu nennen, die Frost- und Salzschäden begünstigen dürfte, wenn man die Ergebnisse von Untersuchungen an Bausandsteinen (Fitzner & Basten 1994) auf den Tuffstein überträgt.
Erwähnt sei schließlich noch, dass eine Konservierung geschädigter Oberflächen mit den üblichen Methoden, wie z.B. Steinfestigung durch im Gefüge ausreagierende, flüssig aufgebrachte Festigersysteme, beim Zeisigwald-Tuff problematisch ist. Neben dem grundsätzlichen Problem mangelnder Eindringtiefen in das feinporige Gestein (Siedel et al. 1995) besteht hier zusätzlich die Schwierigkeit, offene Risse hinter Schalen und bröckelnden Gesteinsbereichen zu überbrücken, um diese Bereiche wieder an das intakte Gefüge anzubinden. Dies kann mit konfektionierten Steinfestigern auf Grund der zu großen Rissweiten in der Regel nicht gelingen. Für einfache Quadersteine wird daher Steinaustausch bzw. Steinergänzung mit entsprechend angepassten Ergänzungsmörteln (vgl. z.B. Kreissl 2010) in vielen Fällen die einzige vertretbare Lösung darstellen können. Wertvolle Bereiche wie Bauzier und Skulptur müssen dagegen im Einzelfall unter Hinzuziehung von Sonderfachleuten mit nicht standardisierten, aufwendigeren Konservierungsverfahren behandelt werden (Wendler 2008). Eine bei anderen Gesteinen wie Sandstein oft angewendete Oberflächenfestigung mit handelsüblichen Kieselsäureestern oder Kunstharzen wird für den Zeisigwald-Tuff keine nachhaltige Lösung darstellen, es besteht hier sogar die Gefahr der Überfestigung und dadurch beschleunigten Schädigung der Oberflächen.

6 Ausblick

Der heute nicht mehr abgebaute Zeisigwald-Tuff stellt ein früher regional sehr verbreitetes Baugestein dar, das teilweise starke Verwitterungsschäden besonders in feuchte- und salzbelasteten Einbausituationen zeigt, konservatorisch aber problematisch ist. In vielen Fällen wird die Oberfläche verwitterter Zeisigwald-Tuffsteine deshalb heute mit Steinergänzungsmörteln ersetzt bzw. ausgebessert, die farblich und strukturell mehr oder weniger gut an den Tuffstein angepasst sind. Die Betrachtung von einige Jahrzehnte alten Steinergänzungsmassen an Chemnitzer Fassaden zeigt, dass ihre Dauerhaftigkeit sehr unterschiedlich ist, wohl auch wegen der verschiedenen, den Steineigenschaften mehr oder weniger gut angepassten technischen Kennwerten der Ergänzungen. Oft wird der verwitterte Zeisigwald-Tuff auch durch Vorblendung von Natursteinaustauschmaterial ersetzt. Weil im konkreten Fall das Originalmaterial sich in der früher verwendeten verwitterungsanfälligen Varietät als wenig dauerhaft erwiesen hat, Zeisigwald-Tuff heute nicht mehr abgebaut wird (Neustein also aus den alten Brüchen nicht mehr geliefert werden kann) und qualitativ guter Originalstein aus dem Abbruch älterer Gebäude immer schwerer zu beschaffen ist, erfolgt ein Austausch bzw. Ersatz, besonders in der Sockelzone von Gebäuden, häufig mit anderem Gesteinsmaterial. Die vielfache Verwendung von dichten magmatischen Gesteinen wie Granit für Ergänzungen am Gebäudesockel ist technisch sicher sinnvoll, denkmalpflegerisch aber zumindest fragwürdig. Diskussionswürdig, wenn auch farblich auf den ersten Blick für Laien kaum vom Original unterscheidbar, ist das Beispiel der Verwendung eines bunten Gesteins (Quarzit?) vom internationalen Natursteinmarkt für die Instandsetzung eines Gebäudes in Mittweida (Abb. 27), an dem noch originale Gewände- und Simsteile aus Zeisigwald-Tuff erhalten sind.
Für alle Eingriffe in den Natursteinbestand eines historischen Gebäudes (Ergänzung, teilweiser Austausch, Konservierung verwitterter Oberflächen) sind Gesteinskennwerte des Originalgesteins für eine qualifizierte, dem Originalmaterial angepasste Materialentscheidung und -auswahl erforderlich. Nach wie vor ist jedoch die Datenbasis vorliegender technischer Kennwerte für den Zeisigwald-Tuff sehr dünn. Auch ist sie, bezogen auf die vorkommenden Varietäten, eher unsystematisch ermittelt worden. Eine umfangreichere, systematische Untersuchung und Korrelation von verwitterungsrelevanten petrographischen und gesteinstechnischen Eigenschaften verschiedener, verwitterungsanfälliger und -resistenter Varietäten wäre für ein detailliertes Verständnis der Verwitterungsmechanismen wünschenswert. Auch wäre dies für eine zielgerichtete Auswahl geeigneter Maßnahmen und angepasster Materialien für verwitterte Oberflächen von großem Nutzen. Das bezieht sich auf die Bewertung von wiederverwendbarem Ausbaumaterial historischer Gebäude ebenso wie auf die Anpassung geeigneter Steinergänzungsmörtel, sowie schließlich auch auf grundsätzliche Überlegungen, eine Gewinnung geeigneter Neusteine in noch zugänglichen Steinbrüchen für spezielle Restaurierungsaufgaben gegebenenfalls wieder möglich zu machen.

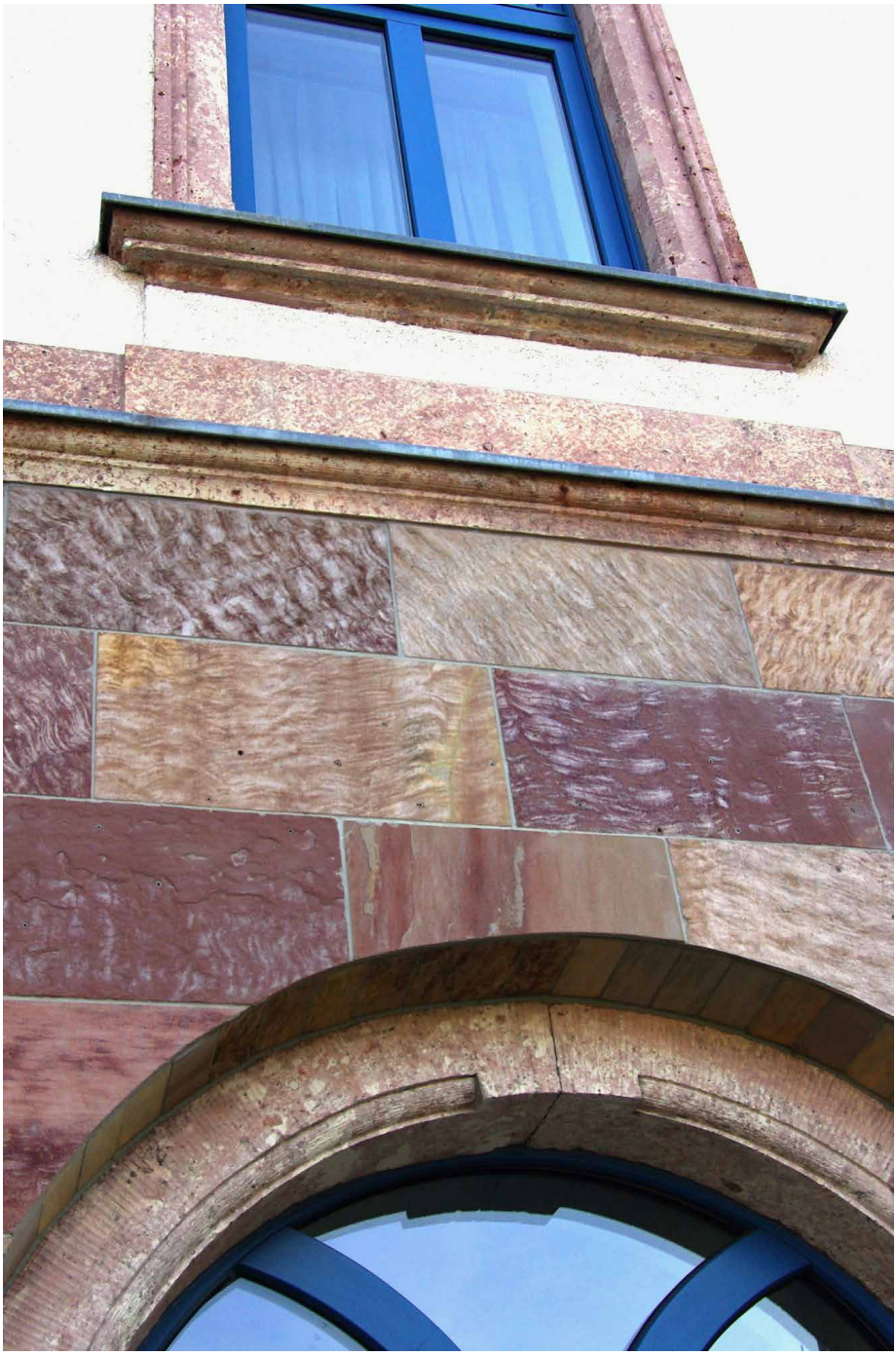


Abb. 27
Mit farbigem Naturstein unbekannter Provenienz (Quarzit?) ergänzte historische Fassade in Mittweida. Daneben sind noch originale Natursteinelemente aus Zeisigwald-Tuff in Fenstergewänden und Simsen erhalten.

7 Literatur

Agricola, G. (1546): De natura fossilium. Übersetzt von G. Fraustadt. Durchgesehen und ergänzt von F. Krafft. 2006, 434 S.; Wiesbaden (Marixverlag).
Albinus, P. (1590): Meißnische Bergchronica. 205 S.; Dresden.
Charpentier, J. F. W. (1778): Mineralogische Geographie der Chursächsischen Lande. 432 S.; Leipzig (Crusius).
Beeger, D. & Quellmalz, W. (1964): Geologisch-Mineralogische Untersuchungen an den Porphyrtuffen des Nordportals der Schlosskirche zu Karl-Marx-Stadt. – Jb. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden, **1964**: 249–290; Dresden.
Börner, J.; Heinz, F.; Kaden, M. & Lange, J.-M. (2011): Grabmalgesteine Städtischer Urnenhain Dresden-Tolkewitz. – Geokommunen, **3**: 1–64 (Miniaturen zur Geologie Sachsens, Senckenberg Naturhistorische Sammlungen, Museum für Mineralogie und Geologie); Dresden
Fischer, F. (1990): Lithologie und Genese des Zeisigwald-Tuffs (Rotliegendes, Vorerzgebirgs-Senke). – Veröff. Mus. Naturk. Chemnitz, **14**: 61–74; Chemnitz.
Fitzner, B. (1988): Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Hohlraumgefüge von Natursteinen und physikalischen Verwitterungsvorgängen. – Mitt. Ing.- u. Hydrogeol. RWTH Aachen, **29**: 1–217; Aachen.
Fitzner, B. & Basten, D. (1994): Gesteinsporosität – Klassifizierung, messtechnische Erfassung und Bewertung ihrer Verwitterungsrelevanz. – Jahresberichte Steinzerfall –Steinkonservierung, **1992**: 19–32; Berlin.
Franke, J.; Grundmann, F.; Hofmann. F. H.; Preuss, B.; Rühle, S. & Stimmel, E. (1989): Lexikon Kursächsische Postmeilensäulen. 416 S.; Berlin (Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen).
Friedrich, O. & Heppe, G. (1870): Sachsens Boden. Band **2**: 138–139; Zwickau (Verein zur Verbreitung guter und wohlfeiler Volksschriften).
Gebauer, H. (1893): Die Volkswirtschaft im Königreiche Sachsen. Band 2: 576 S.; Dresden (Baensch).
Happach, P. (1955): Die Chemnitzer Umwelt des Dr. Georgius Agricola nach den Quellen des Stadtarchivs Karl-Marx-Stadt. – Beiträge zur Heimatgeschichte Karl-Marx-Stadts, **6**: 5–88; Karl-Marx-Stadt.
Heinz, F. & Siedel, H. (2009): Naturstein an Gebäuden der Chemnitzer Innenstadt in Vergangenheit und Gegenwart. – Veröff. Museum für Naturkunde Chemnitz, **32**: 5–24; Chemnitz.
Herrmann, O. (1899): Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie. 428 S.; Berlin (Gebr. Borntraeger).
Hirschwald, J. (1908): Die Prüfung der natürlichen Bausteine auf ihre Wetterbeständigkeit. – Z. Prakt. Geologie, **16**: 257–264; Berlin.
Jentsch, F. (2014): Steinbrüche der Stadt Chemnitz – Teil I. Von den Anfängen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts. – Chemnitzer Roland, **21** (2): 15–22.
Jentsch, F. (2010) Gesteine in den Bauten des Bendiktinerklosters und des Schlosses von Chemnitz. Vortragsmanuskript, 5 S., Agricola-Forschungszentrum Chemnitz, https://www-user.tu-chemnitz.de/□fna/21jentsch.pdf (abgerufen am 08.08.2017).
Kiesewetter, A.; Siedel, H. & Stuhr, M. (1995): Die Tulpenkanzel im Dom zu Freiberg. Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen, **2**: 152 S.; München (Lipp).
Kreissl, S. (2010): Eigenschaften und Schadensphänomene des Hilbersdorfer Tuffs sowie Möglichkeiten der Gesteinsergänzung mittels Mörtel. – Diplomarbeit, Studiengang Bauingenieurwesen / Hochbau, Staatliche Studienakademie Glauchau.
Kretschmar, C.G. (1822): Chemnitz wie es war und wie es ist. Ortsbeschreibung und geschichtlicher Abriß der Stadt. S. 360; Chemnitz (Selbstverlag).
Krönert, G. (1965): Der Porphyrtuff als Baustein im alten Chemnitz und die Geschichte der Steinarbeiter aus dem Zeisigwald. – Beitr. zur Heimatgeschichte von Karl-Marx-Stadt, **12**: 171–204; Karl-Marx-Stadt.
Magirius, H. (Hrsg.) (2003): Die schöne Tür in der Sankt Annenkirche zu Annaberg. 127 S.; Dresden (Michel Sandstein).
Naumann, C. F. (1838): Erläuterungen zu Section XV der geognostischen Charte des Königreichs Sachsen und der angrenzenden Länderabtheilungen. 494 S.; Dresden und Leipzig (Arnold).
Peschel, A. (1983): Natursteine. Monographienreihe nutzbare Gesteine und Industrieminerale, 448 S.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
Richter, A. D. (1763): Umständliche aus zuverläßigen Nachrichten zusammengetragene Chronica der an dem

Fuße des Meißnischen Ertzgebürges gelegenen, Königl. Pohln. und Churfürstl. Sächß. Stadt Chemnitz. S. 46–47; Zittau und Leipzig (Schöps).
Ruedrich, J.; Bartelsen, T.; Dohrmann, R. & Siegesmund, S. (2011): Moisture expansion as a deterioration factor for sandstone used in buildings. – Environ. Earth Sci., **63**: 1545–1564; Berlin, Heidelberg.
Siedel, H. (2016): Zur historischen Nutzung nordwestsächsischer Vulkanite als Baustoff. – In: Hess, V., Rascher, J. & Zellmer, H. (Hrsg.) Kultur.Wert.Stein. Verantwortung und Chancen für Geoparks. – Schriftenreihe Dt. Ges. Geowiss., **88**: 73–90; Stuttgart.
Siedel, H. (2010): Historic building stones and flooding: changes of physical properties due to water saturation. – ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities, **24**: 452–461; Reston.
Siedel, H. (2008): Salt-induced alveolar weathering of rhyolite tuff on a building: causes and processes. – In: Proceedings of the 1st International Conference on Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures (SWBSS) pp. 79–88; Copenhagen (Technical University of Denmark).
Siedel, H. (2006): Sächsische „Porphyrtuffe“ aus dem Rotliegend als Baugesteine: Vorkommen, Anwendung, Eigenschaften und Verwitterung. – In: ARKUS-Tagung „Denkmalgestein Tuff“. – Berichte des Instituts für Steinkonservierung, **22**: 47–58; Mainz.
Siedel, H. (1995): Materialien der Kanzel und des Fundaments. – In: Kiesewetter, A., Siedel, H. & Stuhr, M.: Die Tulpenkanzel im Dom zu Freiberg. Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen, **2**: 68–74; München.
Siedel, H.; Götze, J.; Kleeberg, K. & Palme, G. (2011): Sachsen. In: Ehling, A. & Siedel H. (Hrsg.): Bausandsteine in Deutschland. Band **2**: Sachsen-Anhalt, Sachsen und Schlesien (Polen), S. 161–270; Stuttgart (Schweizerbart).
Siedel, H.; Honsinger, D. J. & Breitbach, M. (1995): Laborversuche zur Substanzverfestigung und Horizontalabdichtung. – In: Kiesewetter, A., Siedel, H. & Stuhr, M.: Die Tulpenkanzel im Dom zu Freiberg. Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen, **2**: 119–128; München.
Siegert, Th. & Lehmann, J. (1877): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte des Königreichs Sachsen. Section Chemnitz, 97 S.; Leipzig (W. Engelmann).
Siegesmund, S. & Dürrast, H. (2014): Physical and mechanical properties of rocks. – In: Siegesmund, S. & Snethlage, R. (eds.): Stone in Architecture, 5th edition, pp. 97–224; Heidelberg (Springer).
Sterzel, J. T. (1898): Die geologischen Verhältnisse der Gegend von Chemnitz. – Festschrift der Chemnitzer Bezirksvereins Deutscher Ingenieure, S. 15; Chemnitz (H. Wilisch).
Urban, G. (1983): Die Karl-Marx-Städter Porphyrtuffe und ihre Nutzung im Verlauf der Stadtgeschichte. – Veröff. Mus. Naturk. Karl-Marx-Stadt **12**: 3–14; Karl-Marx-Stadt.
Walter, H. & Schneider, J. W. (2008): Perm – Rotliegend. – In: Pälchen, W. & Walter, H. (Hrsg.): Geologie von Sachsen. Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte, S. 223–257; Stuttgart (Schweizerbart).
Wedekind, W.; López-Doncel, R.; Dohrmann, R., Kocher, M. & Siegesmund, S. (2013): Weathering of volcanic tuff rocks caused by moisture expansion. – Environ. Earth. Sci., **69**: 1203–1224; Berlin, Heidelberg.
Weise, G. & Aselmeyer, G. U. (2009): Greiz. – In: Schroeder, J. H. (Hrsg.): Steine in deutschen Städten, S. 59–70; Berlin (Selbstverlag Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e. V.).
Wendler, E. (2008): Lapillituff – ein häufig verwendetes und empfindliches Baugestein mit Konservierungsproblemen. – In: Erhaltung seltener Denkmalgesteine. – Arbeitshefte des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums, **21**: 57–66; Berlin.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Veröffentlichungen des Museums für Naturkunde Chemnitz

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: 40

Autor(en)/Author(s): Siedel Heiner

Artikel/Article: Verwendung, Eigenschaften und Verwitterung von Chemnitzer Zeisigwald-Tuff („Hilbersdorfer Porphyrtuff“) als Bau- und Bildhauergestein 69-92