Dr.-Ing. habil. G. Meier
Oberschöna OT Wegefarth
http://www.dr-gmeier.de

Holz im Altbergbau *
Timber in old mines

Günter Meier

ZUSAMMENFASSUNG :

Holz war über Jahrhunderte das wichtigste und vielseitigste Ausbaumaterial im Bergbau. Bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung und bei Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten von tagesnahen Grubenbauen ist der hohe Volumenanteil an Altholz zu berücksichtigen. Der differenzierte Holzeinsatz in Abbauen und Strecken des Altbergbaus wird in den Größenordnungen umrissen. Vor allem in lufterfüllten Grubenbauen und Luft-Wasser-Wechselzonen wirkt die Zersetzung des Holzes durch Pilze zeitlich sehr differenziert. Holz in ständig wassererfüllten Bergbauteilen ist weitestgehend langzeitstabil. Bei bergtechnischen Maßnahmen zur Sicherung und Verwahrung von Grubenbauen sollte Holz nach den Arbeiten wieder entfernt werden. Weitere Analysen, Schlussfolgerungen und Hinweise zur Holzproblematik im Altbergbau werden gegeben.

Abstract

Over a period of centuries timber was the most important and multifunctional support system. The high volume share of timber has to consider on geotechnical and mine surveying evaluations as well as on safe keeping of shallow and old mines. The differentiated use of timber in old mine working and old mine roads is showed. Especially in aerated and alternating aerated mines respectively the decomposition of timber by fungi is variable on time. Therefore timber should be removed after works for safe keeping old mines. In this article furthermore analysis, conclusions and clues concerning timber in old mines are given.

1 Problemstellung

In den zurückliegenden Jahrhunderten war Holz das vorherrschende Ausbaumaterial und vielseitiger Baustoff in fast allen Zweigen des Bergbaus. Nicht nur als Stützkonstruktion zur Sicherung der Grubenbaue bei unterschiedlichen Abbauverfahren, sondern auch als Einbauten in Schächten und Stollen sowie an Werkzeugen oder Maschinen im Bergbau fand Holz als universelles Material eine breite und allseitige Verwendung. Selbst als Energieträger wurde Holz beim Feuersetzen zur Auflockerung von sehr festen, quarzreichen Gesteinen und Erzkörpern im untertägigen Bergbau eingesetzt. Auf den unersättlichen Bedarf an Holz beim Verhüttungsprozess sei an dieser Stelle nur hingewiesen.

* Veröffentlicht in: Tagungsband 6. Altbergbau-Kolloquium, RWTH Aachen, 09. bis 11.11.2006, S. 217 bis 229, VGE Verlag GmbH, Essen 2006

Enorme Mengen des nachwachsenden Rohstoffes Holz kamen in den zurückliegenden Bergbauepochen zum Einsatz. Wälder und sogar ganze Gebirgszüge wurden zu diesem Zweck kahl geschlagen. Bis heute erfüllt Holz als stützendes Element bei bergmännischen Arbeiten oder in Form von Einbauten zumindest temporär, beispielsweise bei Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen im Altbergbau, ebenfalls seine Funktion. Der vielseitige natürliche Baustoff mit seiner günstigen Verarbeitbarkeit und im Allgemeinen ausreichenden Festigkeits- und damit Tragfähigkeitseigenschaften, hoher Elastizität, geringen Transport- und Einbaukosten einschließlich der Warnfähigkeit bei Gebirgsbewegungen machten über die Jahrhunderte das Holz unentbehrlich im Bergbau. Als organischer Rohstoff hat das Holz jedoch den Nachteil der verhältnismäßig raschen Vergänglichkeit. Holz löst sich dabei in Wasser, Gas und feste Restbestandteile auf. Der daraus resultierende Volumenschwund hinterlässt in den unter- und übertägigen Altbergbaurelikten teils erhebliche Hohlräume. Aber auch die stützende Funktion als Ausbauelement wird durch die Holzzersetzung abgebaut bzw. aufgehoben, was zu Spannungsumlagerungen im Gebirge, Materialbewegungen und somit zu Einwirkungen auf die Tagesoberfläche führen kann. Im Übertagebereich können durch Holzzerfall Bewegungen in Halden und in deren Böschungen oder in Verfüll- und Verbruchzonen von Schächten und Abbauen auftreten. Diese Prozesse des Volumenschwundes unterliegen vor allem in ihrem zeitlichen Verlauf sehr unterschiedlichen inneren und äußeren Einflüssen, woraus sehr differenzierte Erscheinungsbilder und zeitliche Abläufe der Bewegungen resultieren. Bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung von altbergbaulichen Einwirkungsbereichen und von langzeitwirksamen Sicherungs- und Verwahrungsmaßnahmen ist der Verbleib von Holz in den Grubenbauen einschließlich Halden, Kippen und Verbruchzonen sowie Versatzbereichen zu berücksichtigen. Anhand von Volumenberechnungen lassen sich die Größenordnungen von Auswirkungen des Holzvolumenschwundes auf die Tagesoberfläche abschätzen.

2 Vergänglichkeit des Holzes

2.1 Zusammensetzung und Haltbarkeit des Holzes

Der organische Rohstoff Holz unterliegt biologischen, chemischen und physikalischen Abbauprozessen. Ohne Einfluss von lebenden Organismen sind im Altbergbau chemische und physikalische Veränderungen der Holzsubstanz als untergeordnet einzustufen. Die Zusammensetzung des Holzes ist von der Holzart abhängig. Im Rahmen der Altbergbauproblematik sind nur einheimische Holzarten von Interesse. Nach Goldscheider (2003) sind im Holz folgende Bestandteile enthalten:

Cellulose	40 bis 50 %
Lignin 20	30 %
Hemicellulose (Polyosen)	20 bis 30 %
Kerninhaltsstoffe (z. B. Fette, Stärke, Harz)	1 bis 3 %
Feste Restbestandteile (Asche)	0,1 bis 0,5 %

Bäume aus winterlichen Klimazonen besitzen Jahresringe. Der Stamm baut sich aus dem Splint- und Kernholz auf, wovon die äußeren 20 bis 40 Jahresringe das aktive, lebende Splintholz bilden. Die Cellulose gibt dem Holz seine Zugfestigkeit. Das Lignin ist für die Druckfestigkeit und Steifigkeit verantwortlich. Die Kerninhaltsstoffe wirken gegen Schadinsekten, Pilze und Bakterien.

Für die Holzzersetzung durch Pilze und Bakterien ist der Feuchtigkeitsgehalt der Holzsubstanz bestimmend. Im frisch geschlagenen Zustand kann einheimisches Nadelholz im Splintholz Feuchtigkeitsgehalte bis zu 200 % und Kernholz zwischen 60 und 40 % aufweisen, bei Laubholz liegen die Werte für beide Holztypen zwischen 60 und 80 %. Nach dem Abtrocknen des

geschlagenen Holzes ist das Wasser in freier Form in den Zellhohlräumen gebunden und in den Zellwänden eingebaut. Es stellt sich eine Fasersättigungsfeuchte ein. Sie ist der Gleichgewichtsfeuchtegehalt, der sich bei einer Umgebungsluft mit 100 % relativer Luftfeuchtigkeit asymptotisch einpegelt. Durchschnittlich liegt bei vielen Holzarten die Fasersättigungsfeuchte bei etwa 28 bis 32 %, unterhalb von 20 % können holzzerstörende Pilze nicht mehr wachsen. Gelangen Hölzer in wassergesättigte Bereiche, so erreicht der maximale Feuchtegehalt Werte beispielsweise bei Kiefer von 170 % (GOLDSCHEIDER 2003). Für Pilze liegen somit die notwendigen Wachstumsbedingungen zwischen der Fasersättigung und dem maximalen Feuchtegehalt. Für ein Pilzwachstum ist ein gewisser Luftanteil in den Zellhohlräumen erforderlich.

Unter den verschiedenen Feuchtigkeitsbedingungen und in Abhängigkeit von den Holzarten ergeben sich sehr unterschiedliche Haltbarkeiten (Tabelle 1).

Tab.1 : Dauerhaftigkeit verschiedener einheimischer Holzarten in Jahren (Issel 1902)

Holzart	ständig unter Wasser	Wechsel von nass und trocken		immer trocken
		an der Luft	unter Luftabschluss	
Ahorn	20	10	5	1000
Birke	10	5	3	500
Buche (weiß)	750	80	130	1000
Buche (rot)	10	20	5	800
Eiche	700	120	200	1800
Erle	800	5	2	400
Esche	10	20	3	500
Fichte	60	45	20	900
Kiefer	500	80	120	1000
Lärche	600	90	150	1800
Pappel	10	3	1	500
Tanne	70	50	25	900
Ulme	1000	100	180	1500

Die Angaben über die Haltbarkeit von Grubenholz sind in der Literatur sehr unterschiedlich, da mehrere Faktoren mit sehr differenzierten Wertigkeiten hier ihren Einfluss nehmen. BOKI (1955) verweist beispielsweise darauf, dass Holzausbau in Strecken mit ausziehenden Wettern eine kürzere Lebensdauer besitzt als im einziehenden Wetterstrom. Kiefernholz hält unter schlechten Verhältnisse etwa ein Jahr, unter durchschnittlichen Bedingungen etwa zwei Jahre und unter guten Voraussetzungen 5 Jahre. Bei Verwendung von Eichenholz kann der Faktor zwei angesetzt werden. Ausgesuchter hölzerner Schachtausbau in seigeren, einziehenden Schächten bleibt bei Eichenholz etwa 25 Jahre und bei Kiefernholz etwa 15 Jahre gebrauchsfähig. Nach FRITZSCHE (1958) besitzt neben der Feuchtigkeit auch die Temperatur einen hohen Einfluss auf die Haltbarkeit des Holzes. Bei starker Fäulnis können Grubenstempel bereits nach 8 bis 9 Monaten ihren Gebrauchswert verlieren. JICINSKY (1876) gibt bei stagnierender Luftzirkulation sogar nur eine minimale Haltbarkeit von 6 Wochen an.

Grundsätzlich sollte nur geschältes Holz durch die bessere Austrocknung verwendet werden. Einfluss auf die Haltbarkeit des Holzes nehmen ebenfalls das Fällalter, die Fällzeit und der Standort des Baumes. Nach KÖHLER (1900) ist Eichenholz (abgesehen von der Akazie) am haltbarsten, dauerhaft unter Wasser und unter durchschnittlichen Bedingungen 30 bis 40 Jahre funktionsfähig. Zur Dauerhaftigkeit des Nadelholzes im Braunkohlentiefbau in der Provinz Sachsen werden 4 Jahre, im Erzgebirge 5 bis 6 Jahre, im Harz in feuchten Wettern 2 Jahre und unter günstigen Verhältnissen 10, 20 und 30 Jahre angegeben. Unter Wasser stehendes

Fichtenholz wurde im Harz nach über 200 Jahren in einem harten und gesunden Zustand angetroffen. Der lokale Einfluss der chemischen Beschaffenheit des Grubenwassers kann ebenfalls zu einer erheblichen Verlängerung der Gebrauchstauglichkeit des Grubenholzes führen. Als Beispiel sei hier das Alaunbergwerk in Schmiedefeld am Rennweg (Thüringer Wald) genannt, wo durch alaunhaltige Tropfwässer zahlreiche Stempel aus der Zeit um 1790 von außen etwa in einer Stärke von 1 cm auf natürliche Weise imprägniert wurden. Das Nadelholz ist im Kern heute noch frisch, fehlt das konservierende alaunhaltige Tropfwasser, so liegt auf der Sohle nur noch der Ascheanteil des Holzstempels.

Beispiele von dendrochronologisch untersuchten Holzteilen aus dem Altbergbau des Erzgebirges ergeben Fälldaten für Fichte und Tanne aus dem 16. und 17. Jahrhundert, wobei die Holzfunde vor allem aus sehr lehmigem, stark durchfeuchtetem Haufwerk stammen.

Abb.1 : Intensiver Pilzbefall eines hölzernen Sicherungsausbaues in Grubenbauen des Zechsteinkalkes nach ca. 1 Jahr Standzeit.

Bei den Untersuchungen zum Einfluss des Holzzersatzes im Altbergbau sollten auch Grundwasserschwankungen und Grundwasserwiederanstiege bzw. -absenkungen beachtet werden.

Die Erfahrungen aus dem ehemaligen Uranbergbau im mitteldeutschen Raum zeigen, dass ständig unter Wasser stehender Holzausbau (etwa 50 Jahre alt) seine Funktionsfähigkeit noch voll erfüllt. Geborgene Hölzer schwimmen z. T. noch im Wasser und besitzen beim Anschnitt einen harzigen Geruch. Im Gegensatz sind die Ausbauhölzer in lufterfüllten Strecken bereits durch das Eigengewicht zusammengebrochen oder zu einem Großteil zersetzt.

Vollständigkeitshalber sei noch erwähnt, dass es in den europäischen Bergwerken nur ein Insekt als Holzzerstörer gibt. Der Grubenholzkäfer (Rhyncolus culinaris) legt Fraßgänge im Holz an, ähnlich dem Borkenkäfer, und kann mehrere Generationen hier verbleiben. Für die Bewertung der Holzproblematik im Altbergbau ist er jedoch ohne Bedeutung.

2.2 Holzabbau durch Pilze

Dieser Prozess benötigt Luftsauerstoff und ausreichende Feuchtigkeit. Er kann jedoch nur über dem Niveau des Bergwasserspiegels ablaufen. Kurzzeitige Wasserschwankungen bei bleibender Wassersättigung bringen keinen oder nur einen leicht verminderten Einfluss. Bereits nach einigen Wochen bis Monaten bei Absenkung des Bergwasser- bzw. Grundwasserspiegels beginnt das Pilzwachstum und somit die Holzzerstörung. Am Ende verbleibt der für Organismen unverdauliche Aschenrest, Wasser und CO_2. In Abhängigkeit vom Luft- und Nährstoffangebot kann die Zersetzung bereits nach wenigen Jahren beendet sein oder sogar Jahrzehnte und länger dauern. Alle im Bergbau eingesetzten europäischen Holzarten sind gegen Pilze nicht resistent. Die drei Gruppen der holzzerstörenden Pilze sind in der Tabelle 2 zusammengestellt (GOLDSCHEIDER 2003).

Tab.2 : Verbreitung und Eigenschaften der holzzerstörenden Pilzgruppen

Pilzgruppe	Verbreitung und Eigenschaften
Braunfäulepilze (Destruktionsfäule)	bevorzugt an Nadelhölzern
	baut Cellulose und Polyosen ab
	Lignin bleibt übrig und gibt die braune Farbe
	Holz zerfällt durch Schwinden würfelförmig
	Verbleibende Holzmasse lässt sich leicht zerreiben
Weißfäulepilze (Korrosionsfäule)	bevorzugt an Laubhölzern, selten an Nadelhölzern
	baut Cellulose und Lignin ab
	Holz wird zuerst dunkler und dann hell
	im frühen Stadium marmorähnlich
	Holz wird leicht, weich und faserig
	Laubhölzer sind anfälliger als Nadelhölzer
Moderfäulepilze	baut Cellulose, Hemicellulose und Lignin ab
	wächst bei sehr hoher Feuchtigkeit (besonders im Boden)
	Holz wird dunkel
	Holz zerbricht bei Trocknung würfelig
	Pilz wächst von der Oberfläche her, die modrig weich und schmierig wird

Alle Pilze greifen die Zellwände der Holzzellen an. Häufig sind verschiedene Pilzarten gemeinsam tätig. Für die unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen sowie für jede Holzart ist eine besonders gut angepasste Pilzart wirksam. Bereits Alexander von Humboldt hat Ende des 18. Jahrhunderts insbesondere in den umliegenden Bergwerken des Freiberger Reviers verschiedene Pilzarten mit ihren großflächigen Mycelbildungen und diversen Fruchtkörpern an Holzzimmerungen als „Flora subterranea“ beschrieben (DOBAT 1973).

2.3 Holzabbau durch Bakterien

Holzabbau durch Bakterien, die biochemische Lösungsprozesse („grabende Prozesse“) auslösen, findet vor allem unter Wasser und somit unter Luftabschluss statt. Zahlreiche Bakterien benötigen keinen Luftsauerstoff und zersetzen wassergesättigtes Holz auch unterhalb des Bergwasserspiegels.

Abb.2 : Massiv in Holz ausgebaute und deformierte Strecke im alten Uran-Bergbau des Erzgebirges. Das Holz erfüllt keine nennenswerte Funktion mehr (Holzalter ca. 60 Jahre).

Dieser Zersetzungsprozess läuft sehr langsam ab. Es findet nur ein Abbau von Teilen der Holzsubstanz statt, wodurch sich die Festigkeits- und Volumenabnahme über Jahrhunderte erstreckt. GOLDSCHEIDER (2003) führt drei Gruppen von holzabbauenden Bakterien auf, die in der Tabelle 3 erläutert sind.

Tab.3 : Verbreitung und Eigenschaften der holzzerstörenden Bakteriengruppen

Bakteriengruppe	Verbreitung und Eigenschaften
tunnelgrabende Bakterien (engl. tunneling bacteria)	Laub- und Nadelhölzer werden befallen
	lösen Lignin aber vor allem Cellulose
	Sekundärwände der Holzzellen werden geschädigt und abgebaut
	Holz wird weich, bräunlich, selten grau
	Buchenholz besonders betroffen
	Imprägnation kein Schutz

Bakteriengruppe	Verbreitung und Eigenschaften
kavernengrabende Bakterien (engl. cavitation bacteria)	geschädigt werden vor allem die Sekundärwände des Frühholzes
	Lösung von länglichen Höhlen in den Zellen
erodierende Bakterien (engl. erosion bacteria)	Abbau von Zellwänden
	Auflösung von Cellulose und Lignin
	Holzarten sind verschieden widerstandsfähig

Die allgemeinen Erkenntnisse zum Holzabbau durch Bakterien im Boden sind oft widersprüchlich. Der Splintbereich ist am anfälligsten, da hierher die Bakterien durch den Wassertransport am schnellsten gelangen können, oft ist der Kern unverändert. Laubhölzer werden rascher durch Bakterien abgebaut als Nadelhölzer. Eine völlige Resistenz von Holz gegen Bakterien ist nicht bekannt. GOLDSCHEIDER (2003) verweist auf die Festigkeitsabnahme unter Wasser von Splintholz beim Nadelholz um bis zu 54 %. Das Kernholz hatte eine Reduzierung der Festigkeit nach 85 Jahren um bis zu 40 %. Kiefernholz unter Wasser hatte nach einer Standzeit von 150 bis 215 Jahren eine Festigkeitsabnahme durch Bakterienabbau von etwa 5 % gegenüber den Werten von frischem Kiefernholz über der Wassersättigungsgrenze. Für Eiche und Lärche gelten ähnliche Annahmen, jedoch für Buche und Erle ist mit einer geringeren Festigkeit zu rechnen. Auf Grund dieser Erfahrungen wird beispielsweise im Gründungsbereich von Bauwerken die Holzfestigkeit unter Wasser über Jahrhunderte als ausreichend eingestuft. Die Größenordnung der Setzungsraten der Gebäude durch bakteriellen Holzzersatz wird mit 0,1 bis 0,3 mm pro Jahr angegeben (GOLDSCHEIDER 2003).

Abb.3 : Holzausbau Ende des 18. Jahrhunderts in einem Alaunschiefer-Bergwerk im Thüringer Schiefergebirge.

Für die Bewertung von Holzein- und -ausbauten aus Nadelholz im Altbergbau unter dem Bergwasserspiegel kann praktisch davon ausgegangen werden, dass das Holz über Jahrhunderte seine tragende Aufgabe erfüllt und nur sehr langsam seine Stützwirkung abbaut, zumal auch das Wasser in den Grubenbauen durch den Auftrieb auch eine Art Versatzfunktion übernimmt. Bergwasserschwankungen sollten deshalb weitestgehend vermieden werden, wozu vor allem ein intaktes Entwässerungssystem über Stollen dient (MEIER 2005).

3 Holzkonservierung

Die relativ geringe Dauerhaftigkeit von Holz im Bergbau und insbesondere in Grubenteilen, die über Jahre genutzt wurden, machte einen aufwändigen, periodischen Austausch erforderlich. Bergbau und Hüttenwesen benötigten enorme Mengen an Holz, was zur Verknappung führte. Alternativen zum Holz waren Naturstein- und Ziegelausbau, deren Kosten jedoch sehr hoch lagen. Grundsätzlich wurden zur Konservierung Anstriche oder äußere Verkohlung, Auslaugung oder Dämpfung und Imprägnierungen eingesetzt. Holz gegen den Pilzbefall resistent zu machen, rief die Erfinder auf den Plan. Nach KRAUSE (1898) wurde im Jahr 1705 von Homburg das Imprägnationsverfahren erfunden. Das Grubenholz wurde vor seiner Verwendung in Quecksilberchlorid-Lösung getaucht. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts waren etwa 200 Verfahren bekannt. Die Erfolge waren sehr begrenzt und die eingesetzten Mittel wirkten nur im Bereich der Holzoberfläche. Erreichte Haltbarkeiten der imprägnierten Hölzer von maximal 4 bis 5 Jahren im Untertagebereich waren sehr hoch, häufig lag die Wirkungszeit unter 2 Jahren (KRAUSE 1898). Vor allem die Gesundheitsschädlichkeit der eingesetzten chemischen Stoffe stellte ein großes Problem dar, denn Vergiftungen waren an der Tagesordnung. Als Beispiel sei das Kyanisieren (erfunden von Kyan 1820) genannt, das ebenfalls mit Quecksilberchlorid-Lösung arbeitete. Weiterhin ist das Chlorzink-Verfahren oder das Hasselmannsche Verfahren zu nennen. Beim letzteren Verfahren wurde das Holz in einem geschlossenen Kessel gekocht und unter Überdruck mehrstufig mit kupferhaltigem Eisenvitriol, schwefelsaurer Tonerde, Chlorcalcium und Ätzkalk in Verbindung gebracht.

Im Braunkohlentiefbau wurden zur Imprägnierung um 1900 vor allem Steinsalz- oder Carnallitlauge sowie Kreosot (Destillat aus Kohlenteer) verwendet, wodurch die Haltbarkeit des Ausbauholzes mindestens verdreifacht wurde (KLEIN 1907). Später wurden auch chromhaltige Substanzen (z. B. Wolmanit) eingesetzt, die eine hohe Belastung für das Grundwasser darstellen können.

Die wasserlöslichen Imprägnierungsmittel aus Verbindungen des Quecksilbers, Kupfers, Zinks und Fluorverbindungen können den Abbau der organischen Substanz Holz nur verzögern, jedoch nicht verhindern. Die Prozesse des Holzvolumenschwundes im Bereich des Altbergbaus werden somit nicht grundlegend verändert. Die möglichen Auswirkungen des eingesetzten chemischen Konservierungsmittels auf die Umwelt sollten beachtet werden, da die Mehrzahl der Mittel Giftstoffe sind und ihr Einsatz heute verboten ist.

4 Auswirkungen des Holzvolumenschwundes

4.1 Strecken und Stollen

Holzausbau wurde in Strecken und Stollen bei fehlender oder reduzierter Standfestigkeit im Locker- wie im Festgestein eingebracht. Im Allgemeinen muss mit einer Türstockzimmerung mit Verzug gerechnet werden. In der Tabelle 4 sind als Beispiel die im Braunkohlentiefbau im Holzausbau angelegten Streckendimensionierungen zusammengestellt.

Tab.4 : Strecken in Holzzimmerung im Braunkohlentiefbau (Ende 19. Jahrhundert)

Art des Grubenbaues	Höhe in m	Sohlenbreite in m	Firstbreite in m
Einfachstrecke	1,8 – 2,0	1,5 – 2,2	1,25 – 1,85
Doppelstrecke	2,0 – 2,45	2,5 – 3,0	2,1 – 2,5

Bei drückenden oder stark gebrächen Gebirgsverhältnissen wurde Türstock an Türstock gestellt. Zum Einsatz kamen auch halbe Türstöcke, Einzelstempel oder nur Kappen, bei schwimmendem Gebirge kam zum Türstock eine Grundschwelle dazu. Die Durchmesser der eingebauten Rundhölzer variierten erheblich. Nach JICINSKY (1876) wurden Stangenholz mit 10 bis 15 cm, schwache Grubenhölzer mit 15 bis 25 cm, mittlere mit 25 bis 35 cm und starke mit 35 bis 45 cm, sowie Schachthölzer über 45 cm unterschieden. (Zum Vergleich liegt bei Grubenhölzern nach DIN 21316 der Durchmesser zwischen 8 und 22 cm). Durchschnittlich kann im Altbergbau mit einem Durchmesser von 15 bis 30 cm gerechnet werden. Schnittholz oder behauenes Holz fand in allen Dimensionen Verwendung (z. B. Füllort- und Schachtzimmerung, Türstöcke, Wasserdämme, Bühnen- und Gerüstholz, Schwellen). Bretter waren zwischen 2 und 4 cm stark, Pfosten hatten eine Stärke von 6 und 8 cm. Eine große Anwendung hatten Schwarten mit 5 bis 10 cm Stärke. In wasserführenden Stollen war ein hölzernes Laufwerk die Regel.

In der Tabelle 5 sind als Beispiel überschlägig die Holzanteile am Auffahrungsvolumen von alten Strecken des Uranbergbaus in Mitteldeutschland zusammengestellt. Unberücksichtigt blieb der Verzug, zum Einsatz kam Rundholz mit einem Durchmesser von 20 cm und die lichte Streckenhöhe betrug 2 m.

Tab.5 : Prozentualer Volumenanteil des Ausbauholzes am Auffahrungsvolumen

	Streckenbreite 1 m	Streckenbreite 2 m
Türstockabstand 1m	8 %	5 %
Türstock an Türstock	39 %	24 %

Die angegebenen Prozente stellen nur Größenordnungen dar, da der Ausbruch und die Abmessungen des verwendeten Holzes in der konkreten Situation sehr differenziert sein können. Es wird jedoch deutlich, dass verbleibendes Holz bei hohlraumfreien Versatzarbeiten in streckenartigen, lufterfüllten Grubenbauen zu erheblichen Volumendefiziten führt und das Ergebnis auf lange Sicht durch den zu erwartenden Holzvolumenschwund nur eine Teilverfüllung darstellt.

4.2 Schächte

Eine sehr große Bedeutung erlangt die Holzproblematik bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung von Schächten des Altbergbaus. Holz diente zum Ausbau und für Einbauten der unterschiedlichsten Art und Größe. Der Holzausbau wurde in Vollschrot und/oder Bolzenschrot ausgeführt. Der Durchmesser des runden oder angesäumten Ausbauholzes war in Abhängigkeit vom Gebirgsdruck unterschiedlich, etwa 20 cm Kantenlänge bei gesäumten Hölzern herrschten vor.

Die Holzzersetzung und der Verbruch des Ausbaus stellen einen zeitlichen Prozess dar. Innerhalb eines Schachtes ist die Intensität ebenfalls unterschiedlich. So verweist JICINSKY (1876) darauf, dass die Schachtzimmerung in den oberen 10 bis 12 m besonders schnell zersetzt wird. Die Schachtpingen in Halden des Altbergbaus sind hierfür typische Belege. Durch die weiter ablaufende Zersetzung des Holzes sind in der Schachtpinge, in einem verstürzten Schacht

oder in einer nachträglich verfüllten Schachtpinge Bewegungen über einen sehr langen Zeitraum an der Geländeoberfläche zu erwarten, bis holzfreies, eigenverdichtetes Lockergestein vorliegt. Bis diese Endphase erreicht ist, werden Sackungs- und Umlagerungsprozesse in den meist heterogenen Lockermassen ablaufen, deren vorherrschende Lagerungsdichte bis zu sehr locker gelagert eingestuft werden muss. Grundsätzlich bestehen große bodenmechanische Eigenschaftsunterschiede zum anstehenden Gebirge, was bei einer Überbauung im Allgemeinen zu erheblichen Setzungsunterschieden und damit zu Schäden führt. Die Beobachtungen zeigen, dass die vertikalen Bewegungen bei diesen Prozessen nicht kontinuierlich ablaufen, sondern sich Grenzspannungszustände in der Schachtröhre aufbauen, die plötzlich durch auslösende Momente (z. B. Starkniederschläge) zu Schachtverbrüchen im Meterbereich und größer führen (Meier 1981). Meist nach einer mehrjährigen Verweildauer werden die Grenzspannungszustände durch Holzzersetzung und Massenumlagerungen überschritten, wodurch neue Bewegungen in Form von partiellen Schachtverbrüchen auftreten.

Überschlägige Berechnungen an alten Schächten des Uranbergbaus bei Schachtteufen zwischen 40 und 250 m sowie rechteckigen, lichten Schachtquerschnitten von 2,0 bis 2,5 m x 2,5 bis 5,0 m ergeben unter Berücksichtigung unterschiedlicher Ausbauarten erhebliche Holzvolumenanteile am Gesamtvolumen der Schachtröhre (Tab. 6).

Tab.6 : Anteil des Ausbauholzes am Gesamtvolumen der Schachtröhre

Ausbauart	Volumenanteil an der Schachtröhre in %
Vollschrotzimmerung	23 bis 34
Bolzenschrotzimmerung	8 bis 12

Für die numerische Abschätzung wurden folgende Bedingungen vorausgesetzt:

- Das Ausbauholz besitzt eine mittlere Kantenlänge von 200 mm, der Verzug ist 40 mm stark
- Die Schachtröhre ist vollständig verfüllt.
- Der Schachtausbau ist hohlraumfrei hinterfüllt.
- Verbliebene Holzeinbauten wurden nicht berücksichtigt.
- Es treten keine Suffosion und kein Ausfließen von Massen aus der Schachtröhre in Strecken und Füllörter auf.

In den meisten Fällen wird ein gemischter Holzausbau vorliegen. Für die Bewertung ist ein Volumenanteil von 10 bis 20 % eine realistische Größe, was beispielsweise bedeutet, dass sich bei einem 100 m tiefen Schacht nach vollständigem Holzvolumenschwund der Massespiegel um 10 bis 20 m absenken kann.

4.3 Abbaue

Der Holzvolumenanteil im Abbau ist sehr stark von der eingesetzten Abbautechnologie und den Gebirgsverhältnissen abhängig. So war im Strossenbau wesentlich mehr Holz erforderlich als im Firstenbau. Insbesondere im Gangbergbau mussten beim Strossenbau auch größere Holzdurchmesser eingesetzt werden, um die Sicherheit und längere Stabilität der offenen Abbaue zu gewährleisten. Als Beispiel sei hier der Silberbergbau auf dem etwa 1 bis 4 m mächtigen Halsbrücker Spatgang im Freiberger Revier genannt, der von etwa 1600 bis 1750 im Strossenbau bis in Tiefen von 164 m umging. Durch Holzstempel mit bis zu 40 cm Durchmesser, Mauerwerk, Holzkästen und verbliebene Gangschweben wurde das labile Hangende des Ganges stabilisiert (sog. „Pressbaue“). Aktiviert durch eindringende Hochwässer in die offenen Strossenbaue kam es bis in die letzten Jahre zu erheblichen Massenumlagerungen und

Verbruchprozessen, die Auswirkungen mit unterschiedlichen Erscheinungsbildern an der Geländeoberfläche zeigten und sogar zweimal zum Verbruch des Rothschönberger Stollens führten (MEIER 2003). Ein Ende dieser Schadensentwicklung in dieser abgebauten Gangzone ist bisher noch nicht abzusehen.

4.4 Bergbauzweigbezogene Besonderheiten

Bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung der Holzproblematik im Altbergbau nehmen die bergbauzweigbezogenen Belange einen wichtigen Platz ein. In Abhängigkeit von den lagerstättenbedingten und gebirgsmechanischen Besonderheiten, der Abbautechnologie sowie dem Alter des Abbaus können erhebliche Differenzierungen im bergbaulichen Holzeinsatz auftreten. Auch Kombinationen von Holz, Stahl, Gussstahl, Gusseisen, Mauerwerk und Beton insbesondere bei jüngerem Bergbau sind zu berücksichtigen (Autorenkoll. 2004). Eine detaillierte archivalische Recherche zum Bergbau ist deshalb für eine treffende Bewertung eine wichtige Voraussetzung. Beispielsweise wurden im deutschen Bergbau 1941 über 6 Millionen Festmeter (fm) Holz eingesetzt. Im Steinkohlenbergbau wurden in dieser Zeit durchschnittlich zur Förderung einer Tonne Kohle 0,03 fm Holz verbaut, 0,02 fm/t wurden im Braunkohlentiefbau und 0,01 fm/t im Erzbergbau benötigt (N.N. 1941).

4.5 Zum Verbleib des Holzes in Grubenbauen

Mit dem Einbau des Holzes in Grubenbaue beginnen entsprechend dem vorhandenen Milieu die Abbauprozesse dieses organischen Materials. Grundsätzlich sind im Altbergbau folgende Milieubereiche für die Holzzersetzung zu unterscheiden:

- *Lufterfüllte Grubenbaue*
- *Unter Wasser oder wassergesättigter, lehmig-toniger Bereich*
- *Wasser-Luft-Wechselzone*

Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Holz in lufterfüllten Grubenbauen keine Langzeitstabilität und dauerhafte Funktionalität besitzt. Es ist mit einem fast vollständigen Volumenschwund zu rechnen. Ausnahmen sind der Kali- und Steinsalzbergbau und Gebirgszonen mit natürlichen Imprägnierungseigenschaften, wie z. B. bei alaunhaltigen Tropfwässern. In Grubenbauen mit intensivem Holzzersatz und deren Wetterverbindungen (z. B. Strecken, Stollen, Schächte) sind erheblich erhöhte CO2-Gehalte zu erwarten, die sicherheitstechnisch zu berücksichtigen sind.

Grubenholz unter Wasser oder in wassergesättigten, lehmig-tonigen Lockergesteinen können weitestgehend als langzeitstabil eingestuft werden. Dies setzt natürlich voraus, dass das Grubenholz vor der Flutung intakt war. Von besonderem Interesse ist dies beispielsweise beim Firstenbau in den tagesnahen Gebirgsbereichen, da hier die Funktionalität des Holzausbaus in der oberen abgebauten Gangzone aus Stabilitätsgründen erhalten bleiben sollte. Durch das Wasser wird nicht nur das Holz konserviert, sondern das Wasser übernimmt gleichzeitig durch den Auftrieb auch eine Versatzfunktion in den wassererfüllten Grubenbauen.

In Abhängigkeit von den lokalen Gebirgs- und Bergbauverhältnissen treten beim Strossenbau Bewegungen in der hangenden Gebirgszone auf, die zu Auflockerungen, Gebirgsbewegungen und Steinschlag führen. Mit einem hohen Holzeinsatz zur Stabilisierung der leeren Abbaue muss deshalb beim Strossenbau gerechnet werden. Häufig wurden hier auch Kästen aus Holz mit dem immer tiefer geführten Abbau gesetzt.

Als besonders kritisch bei der geotechnisch-markscheiderischen Bewertung muss die Wasser-Luft-Wechselzone eingestuft werden. Ein verstärkter Holzsubstanzabbau ist hier zu erwarten, was zu einer Schwächung des Dauerstandsverhaltens des Gebirges führen kann. Einflussgrößen

auf die Zersetzungsprozesse des Grubenholzes sind neben dem Chemismus und der Temperatur des Wassers auch die sich einstellende Wetterzirkulation in den lufterfüllten Grubenbauen. Die Größe der Wechselzone ist u. a. abhängig von den Niederschlagsschwankungen aber auch von der dauerhaften Funktionalität des Entwässerungsstollens.

5 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich sollte die Bewertung der Holzproblematik stets Bestandteil von geotechnisch-markscheiderischen Analysen sein und bei der Planung sowie Durchführung aller Erkundungs-, Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten im Altbergbau Berücksichtigung finden. Die dauerhafte Funktionalität von wasserführenden Stollen ist hierbei unter dem Aspekt von möglichen Verlagerungen oder Verspriegelungen von Altholz bei starker Wasserführung ein Bewertungs-schwerpunkt. Bei den im Altbergbau vorgenommenen bergtechnischen Erkundungs-, Sicherungs- und Verwahrungsarbeiten wird in vielen Fällen auch heute noch Holz als Ausbau- und Sicherungselement eingesetzt. Grundsätzlich ist dieses Holz wieder zu entfernen. Im druckhaften oder gebrächen Gebirge ist dies aber nicht immer möglich, wodurch dann das Holz verbleibt. Daraus können sich in einigen Jahren durch den zu erwartenden Volumenschwund trotz einer hohlraumfreien Verfüllung Deformationen sowie Nutzungseinschränkungen an der Geländeoberfläche ergeben. Eine langzeitstabile Ausbau- und Sicherungsvariante ist unter diesen Gebirgsbedingungen der Einsatz von Stahlausbau, Spritzbeton und Ankern. Hierbei ergibt sich die Möglichkeit, diese Ausbau- und Sicherungselemente in das Verwahrungskonzept mit einzubinden. Diese Technologie kann in Strecken, Abbauen, Schächten und Verbruchzonen effizient eingesetzt werden.

Durch den diskontinuierlichen und vielschichtigen Prozess der Zersetzung des Altholzes können auch noch nach Jahrzehnten oder Jahrhunderten erhebliche Deformationen in den Grubenbauen und in deren Verbruchzonen ausgelöst werden, die zu sehr differenzierten Auswirkungen, Risiken und Gefahren auf das Deckgebirge sowie auf die Geländeoberfläche führen können. Da die Deformationsprozesse von unten nach oben ablaufen, erfolgt die Einwirkungsreihenfolge vom altbergbaulich beeinflussten Untergrund auf den Baugrund und dann über das Fundament oder Gründung auf das Bauwerk.

Je gleichmäßiger und dauerhafter sich der Wasserstand in den Grubenbauen einstellt, umso günstiger ist die Langzeitstabilität und Funktionalität zu bewerten. In diesem Zusammenhang sind auch der Anstieg von Grundwasser und das Absenken des Bergwasserspiegels oder eine Grubenwassernutzung zu betrachten.

Weisen Grubenbaue über dem Bergwasserspiegel und in der Wasser-Luft-Wechselzone keine dauerhafte Stabilität auf, so sind diese bergmännischen Hohlräume unter Beachtung der Wasserwegigkeit dauerhaft zu sichern oder zu verwahren. Ein systematisches Entfernen des Altholzes auch aus Verbruchzonen ist hierfür eine notwendige Voraussetzung.

6 Literatur

AUTORENKOLL. (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der DGGT e. V. - Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 04. bis 06.11.2004, Leoben, Anhang S. 1 bis 23, Verlag Glückauf, Essen

BOKI, B. W. (1955): Bergbaukunde. - 2. Auflage, Verlag Technik Berlin

DIN 21316 (Juni 1987): Grubenrundholz, Stempel, Kappen. -

DOBAT, K. (1973): Alexander von Humboldt – ein Bergmann als Botaniker. - Der Anschnitt (25), 5, S. 13 bis 26

FRITZSCHE, C. H. (1958): Lehrbuch der Bergbaukunde. - 2. Bd., Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg

GOLDSCHEIDER, M. (2003): Baugrund und historische Gründungen. - Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe (TH), Engelhardt & Bauer Druck- und Verlagsgesellschaft, Karlsruhe

ISSEL, H. (1902): Illustriertes Lexikon der Baustoffe. - Verlag von Theod. Thomas, Leipzig, Reprint-Verlag-Leipzig

JICINSKY, W. (1876): Katechismus der Grubenerhaltung für Grubensteiger und Grubenaufsichtsorgane. - Commissionsverlag von Prokisch's Buchhandlung, Mähr.-Ostrau

KLEIN, G. (1907): Handbuch für den deutschen Braunkohlenbergbau. - Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S.

KÖHLER, G. (1900): Lehrbuch der Bergbaukunde. - 5. Auflage, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig

KRAUSE, M. (1898): Ueber das Hasselmannsche Imprägnierungs-Verfahren, speziell in seiner Bedeutung für das Grubenholz. - VII. Allgemeiner Deutscher Bergmannstag zu München 1898, S. 52 bis 56, Essen, Druck von G. D. Baedeker

MEIER, G. (1981): Bemerkungen zu Erkundungs- und Verwahrungsmaßnahmen an alten Tagesschächten. - Neue Bergbautechnik (11) 6, S. 357 bis 361

MEIER, G. (2003): Der Verbruch des Rothschönberger Stollens zum Hochwasser vom 12./13.08.2002 und dessen Sanierung – Verbruchszenarien und Sanierungsvorschläge. - Tagungsband 3. Altbergbau-Kolloquium. 06. bis 08.11.2003, TU Bergakademie Freiberg, S. 47 bis 58

MEIER, G. (2005): Wasser führende Stollen im Altbergbau. - Tagungsband 5. Altbergbau-Kolloquium, 03. bis 05.11.2005, TU Clausthal, S. 201 bis 222, Verlag Glückauf Essen

N. N. (1941): Was muß der Bergmann vom Holzschutz wissen? – VVB Steinkohle, Leitstelle für Information, Druck Globushaus G. m. b. H., Berlin SW 68