

Geschichte der Köhlerei

Dr. Arne Paysen, Am Fährberg 40, 24107 Quarnbeck

(Der Vortrag wurde gehalten im Symposium zum 20. Geburtstag des EKV. Dr. Paysen ist promovierter Archäologe und hat seine Doktorarbeit über die Geschichte der Köhlerei in Schleswig-Holstein geschrieben.)

Seit Urzeiten benutzt der Mensch das Feuer, um seine Nahrung zuzubereiten, um Wärme und Licht zu erzeugen und um wilde Tiere fernzuhalten. Bei der offenen Verbrennung von Holz entstehen in geringen Mengen schon Produkte, vorrangig zu nennen seien hier Holzkohle und Holzteer, die in späterer Zeit mit entsprechenden technischen Anlagen gezielt aus Holz hergestellt wurden. Schon im Paläolithikum (Altsteinzeit) werden die Menschen die Beobachtung gemacht haben, dass ein Feuer, solange das Holz noch von erkennbaren, vielleicht sogar frischen Holzscheiten genährt wird, deutlich mehr Rauch absondert als ein glühender Berg ausgebrannter Hölzer, der weitgehend verkohlt ist. Dennoch gibt es bislang keinen verlässlichen Hinweis darauf, dass zu dieser frühen Zeit schon intentionell Holzkohle hergestellt wurde, um die Vorteile eines rauchfreien, langsam und gleichmäßig brennenden Feuers zu nutzen. Sicher ist, dass die Menschen es lange vor der Erfindung der Keramik verstanden, Holz zu verkohlen und die dabei entstehenden Destillate aufzufangen, auch wenn nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, mit welchen technischen Einrichtungen oder Werkzeugen dieses vor sich ging.

Versteht man die Geschichte der Köhlerei in der Weise, dass es allein um die Produktion von Holzkohle geht, so muss der Beginn mit dem Aufkommen der ersten Metalle zu suchen sein, die ältesten Artefakte, die jedoch einen gezielt eingesetzten Verkohlungsprozess, unabhängig vom Produkt Holzkohle erkennen lassen, sind ungleich älter und datieren in die früheste Phase der Menschheitsgeschichte. **Die ältesten Artefakte, die Spuren gezielter Verkohlung aufweisen sind die Speere von Schöningen (Landkreis Helmstedt, Niedersachsen), die etwa 300.000 Jahre alt sind.** Hier wurden vom urzeitlichen **Homo Heidelbergensis**, einem Vorfahren des **Neandertalers**, die Spitzen der aus Fichten- und Kiefernholz gefertigten Speere im Feuer leicht angekohlt und dann von der losen Holzkohle durch gleichmäßiges Schaben befreit, um die Speerspitzen härter und widerstandsfähiger zu machen. Ein deutlich an der Spitze angekohltes Artefakt aus derselben Fundschicht, welches als Bratspieß gedeutet wurde, belegt, dass die frühen Menschen das gezielte Ankohlen von Hölzern und die differenzierte Nutzung von Feuer bereits verstanden. Auch die altsteinzeitlichen Höhlenmalereien, vorrangig in Frankreich und Spanien, lassen auf eine gezielte Verkohlung schließen: Neben Röteln und Ocker wurde bei einigen Malereien auch geriebene Holz- oder Knochenkohle als Farbpigment verwendet.

Ebenfalls deutlich vor der technischen Nutzung der **Holzkohle** steht die Herstellung von **Pech und Teer**. Schon vor etwa 10.000 Jahren wurden Birkenpechklumpen als eine Art Kaugummi genutzt, es finden sich bis heute in ganz Europa immer wieder Fossile Pechklumpen mit eindeutigen Zahnabdrücken. Vor etwa 9000 Jahren (Mesolithikum, mittlere Steinzeit) wurde Birkenpech auch als Klebstoff verwendet, um Klingen und Widerhaken an Speeren, Pfeilen und Harpunen zu befestigen. Um Pech oder Teer zu erzeugen, muss die Technologie des Verkohlens und das gleichzeitige Auffangen der Destillate beherrscht werden. Holz- oder Rindenkohle entstand während der Teerherstellung als Nebenprodukt. Im Neolithikum lässt die bereits weit verbreitete Keramikproduktion auch die Herstellung von Teerretorten zu.

Zum Ende des Neolithikums ist die Verwendung von Holzkohle indirekt nachgewiesen, denn es finden sich die ersten Artefakte aus Kupfer, das nur mittels Holzkohle aus den Erzen geschmolzen werden konnte. Besonderer Schwerpunkt der Kupferproduktion war der südöstliche Alpenraum und die Karpaten, ein besonders prominentes Artefakt dieser Zeitperiode ist **das Beil des als „Ötzi“** bekannt gewordenen Mannes vom Hauslabjoch. Meilerstellen, die eine Holzkohleproduktion direkt belegen würden, konnten für so frühe Zeiträume nicht nachgewiesen werden, bislang wird meist davon ausgegangen, dass im offenen Feuer entstandene Kohlen gezielt mit Wasser oder Sand abgelöscht wurden, um Holzkohle zu erzeugen.

Spätestens mit der Bronzezeit ist von einer professionelleren Holzkohleproduktion auszugehen, um das neue und vielseitig verwendbare Material aus Kuper- und Zinnerzen zu gewinnen und die Bronze bei Bedarf immer wieder einzuschmelzen und in neue Formen zu gießen. Selten sind bei archäologischen Untersuchungen von bronzezeitlichen Schmelzplätzen **Gruben mit Holzkohlen** gefunden worden, die als **Grubenmeiler** interpretiert wurden. Einer dieser Fundplätze befindet sich in der **Eisenerzer Ramsau, Steiermark, Österreich**. **Grubenmeiler** waren vermutlich durch die gesamte Eisenzeit, die Römische Kaiserzeit bis in das Hochmittelalter hinein im Gebrauch. Trotz gelegentlicher Erwähnungen in Antiker Literatur finden sich in diesem Zeitabschnitt keine eindeutigen archäologischen Hinweise auf **Platzmeiler**. Ein Grund hierfür mag die Tatsache sein, dass sich die Überreste eines **Stehenden Meilers** nur schwer als eindeutiger Befund ansprechen lassen – ein Meiler wird sich nur wenig von einer Brandschicht unterscheiden. Allein **Grubenmeiler** sind in seltenen Fällen dokumentiert worden. Zum einen mag dieses Forschungsdesiderat daran liegen, dass **Grubenmeiler** trotz ihren guten Erhaltungschancen zumeist schwierig aufzufinden sind, da eine flache Grube schnell durch Sedimentation verfüllt wird, zum anderen lag der Forschungsschwerpunkt lange Zeit auf der Verhüttung selbst und weniger auf der Untersuchung der zur Verhüttung notwendigen Infrastruktur.

Die Köhlerei in **stehenden Meilern** muss in antiken Griechenland schon etwa **400 Jahre vor Christus** bekannt gewesen sein, denn bei Theophrast (371-287 v. Chr.) wird diese eindeutig beschrieben. Er beschrieb auch als erstes die verschiedenen Holzkohlequalitäten, die man durch die Wahl des Kohlholzes bekommen kann. Plinius der Ältere (23-79 nach Chr.) beschrieb die Köhlerei in **stehenden Meilern** im Römischen Reich und die Verwendung verschiedener Kohlesorten für diverse technische Prozesse.

Im Mittelalter kommt es zu einer Ausweitung der Bergbauaktivität und damit auch zu einer starken Vermehrung der Köhlerei in Mitteleuropa. Bis ins Hochmittelalter stellen immer noch **Grubenmeiler** das einzig nachweisbare Köhlereiverfahren dar, ab dem 14. Jahrhundert scheint sich der stehende Meiler für die Masse der Holzkohleproduktion durchgesetzt zu haben. Dennoch wurden **Stehende Meiler** und **Grubenmeiler** offensichtlich mehrere Jahrhunderte nebeneinanderher verwendet. In mehreren wissenschaftlichen Werken zu Metallverarbeitung und Köhlerei vom 16. Bis zum 18. Jahrhundert finden beide Meilerformen Erwähnung. **Nachweisbar durch unzählige Hangterrassen in allen deutschen Mittelgebirgen stellt der stehende Meiler bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts die bevorzugte Köhlereimethode dar.**

Die wissenschaftliche Beschäftigung mit der Köhlerei und den Holzkohlen ist in der Antike zuerst einmal aus dem Gedanken heraus motiviert, allumfassende Weltbeschreibungen zu veröffentlichen; das Werk des Plinius (**naturalis historiae libri XXXVII, 37 Bücher der Naturgeschichte**) ist sicherlich das prominenteste Beispiel hierfür. Seit der Renaissance ist es zunehmend der Gedanke des Holzsparens, der die technische Wissenschaft dazu treibt, sich mit der Herstellung und dem effizienten Einsatz von Holzkohlen zu befassen.

Als erster Wissenschaftler, der sich umfassender mit der Holzkohleherstellung und mit dem Wesen der Holzkohle auseinandergesetzt hat, muss **Vannoccio Biringuccio** gelten. In seiner um 1540 veröffentlichten Schrift „**De la Pyrotechnia**“ setzte er sich umfassend mit den Feuerhandwerken, vorrangig der Verhüttung und dem Gießereiwesen, aber auch mit den benötigten Brennstoffen auseinander. Holzkohle spielt da naturgemäß eine wichtige Rolle. Zu den Eigenschaften der Holzkohle schrieb er:

*„Es ist auch allgemein bekannt, dass die Kohlen gebranntes Holz sind. Von ihren sonstigen Eigenschaften sei gesagt, dass sie sehr dauerhaft sind und die Fähigkeit besitzen, sich unverändert jahrelang, ja Jahrhunderte hindurch gut zu erhalten. Ich erinnere mich gesehen zu haben, dass man unter Ruinen Kohlen ausgegraben hat, die an dieser Stelle unzweifelhaft **mehr als 400 Jahre im Boden** gelegen haben. Oft findet man Kohlen aus gleichem Holz, die mehr oder weniger gebrannt oder nach verschiedenen Verfahren hergestellt sind. Es ist auch ein sehr großer Unterschied, ob die Kohlen während des Brennens mit dieser oder jener Erde bedeckt waren. Man bemerkt auch einen Unterschied darin, ob das Holz jung ist oder von einem älteren Baum her stammt, ob es rein oder astig ist, ob es beim Fällen gesund und kräftig gewesen ist, und es macht zur einer Zeit mehr aus als zur anderen, ob die Kohle von dünnen und abgestorbenen Ästen gemacht ist. Ferner spielt es eine Rolle, ob man die Kohle aus frischem oder aus trockenem und gut abgelagertem Holz herstellt.“*

Biringuccio beschreibt neben dem in der frühen Neuzeit meistangewendeten Verfahren der Köhlerei in **stehenden Meilern** außerdem noch die im 16. Jahrhundert bereits als veraltet geltende Technik der Grubenköhlerei. Während die Grubenköhlerei vorrangig für Verkohlung von Baumstubben und kleinen Ästen und Zweigen genutzt wird, also für eher minderwertiges Kohlholz, wird der **stehende Meiler** auch im 16. Jahrhundert anscheinend ausschließlich mit einer guten Kohlholzqualität beschickt. Da Biringuccio die Köhlerei nicht aus Sicht eines Kohlebrenners, sondern aus Sicht des Gießereimeisters, also des Abnehmers beschreibt, geht er besonders auf die verschiedenen Kohlequalitäten und deren bevorzugte Verwendung ein. Auch wenn nahezu jede Holzart verkohlt werden kann, sollte nicht jede Kohle zu jedem Zweck verwendet werden. So erwähnt er, dass Birkenkohlen nicht zu den Silber- und Goldschmiedearbeiten taugen, dass sie jedoch zur Eisenverarbeitung, ebenso wie Kastanienkohlen, durchaus geeignet sind. Weichholzkohlen von Weiden, Pappeln und Tannen, aber auch Holzkohlen von Ahorn haben in der Eisenverhüttung einen so großen Verbrauch an Holzkohle zur Folge, dass ihre Verwendung als Verschwendung gelten muss. Aufgrund der verschiedenen Anforderungen empfiehlt Biringuccio bereits bei der Holzkohleherstellung, die Holzarten getrennt voneinander zu verkohlen. Er bedauert, dass allein der Mangel an geeigneten Hölzern viele Köhler dazu zwingt, weniger brauchbare Holzarten zu verwenden, um den Bedarf an Holzkohle zu decken, auch wenn dabei viel Holz verschwendet wird.

Das erste Werk, in dem die Herstellung von Holzkohle bis ins Detail beschrieben wird, ist die **Sivacultura Oeconomica von Hannß Carl von Carlowitz, 1713**. Von der Beschaffenheit der Kohlstätte über die Qualität der Erde zum Abdecken des Meilers bis hin zum Aufbau und Betrieb bleibt nichts unerwähnt. Als Begründung, warum in einem literarischen Werk zum nachhaltigen Waldbau die Köhlerei so genau beschrieben werden muss, erklärt Carlowitz, dass durch unsachgemäße Köhlerei eine große Menge Holz verschwendet würde und dass nur eine gute Ausbildung der Köhler und Forstleute dieser Verschwendung entgegenstehen könne, da die Holzkohle nun mal unabdingbar sei. Carlowitz war zu Lebzeiten für den Holznachschub für die die Schmelzhütten im Erzgebirge und die frühen Porzellanmanufakturen im Meißen zuständig. Er erkannte, dass dem ständigen Brennstoffmangel, der durch jahrhundertelange intensive Waldnutzung entstanden war, nur durch eine Waldwirtschaft zu begegnen war, in der sich der Wald selbst regenerieren konnte. So kommt es, dass in der *Sivicultura Oeconomica* bis heute die Anfänge der modernen, nachhaltigen Waldwirtschaft gesehen werden. **Hier taucht der Begriff der Nachhaltigkeit das erste Mal in der Literaturgeschichte auf.**

Die bei **Carlowitz** beschriebenen **Standmeiler** haben zum Teil eine beeindruckende Größe von bis zu 32 Schragen. Dabei hatte in Sachsen ein Schragen drei Klafter Rauminhalt, das entspricht in heutigen Maßen etwa 7,3 Kubikmetern. Die Meiler konnten demnach über 230 Raummeter Kohlholz fassen, was einem Meilerdurchmesser von knapp über 12 m bedeuten würde. Eine wichtige Erkenntnis zum Erreichen einer guten, großstückigen Holzkohle ist die Verwendung ungespaltener Äste und Stockausschläge zum Meilerbau. **Die großstückige Kohle erreicht in den Schmelzöfen höhere Temperaturen und führt damit zu einem geringeren Kohleverbrauch**, außerdem kann durch die gezielte Nutzung von etwa armdicken Niederwaldholz der Holznachwuchs pro Flächeneinheit deutlich gesteigert werden, da sich die Stockausschläge schnell erholen und erneut ausschlagen. Die Nutzung von frischem, nicht abgelagertem oder gar faulem Holz verringert die Gefahr der Aschebildung beim Verkohlen, die Holzkohleausbeute pro Meilerbrand wird so deutlich größer. Auch bei Carlowitz findet sich ein Zitat, dass die Verwendung von Kohlgruben noch im 18. Jahrhundert bestätigt: **„Wenn die Meuler-Köhler das große Holz in einer Revier verkohlet, sollen die Gruben- und andere Köhler nachfolgen/ und die Aeste und Reisig so die erstern liegen lassen/ mit aufräumen und verkohlen...“** Die Grubenköhlerei hatte also durchaus neben der Köhlerei in **stehenden Meilern** Bestand, auch wenn sie definitiv einen nachgeordneten Stellenwert hatte. Sie wurde vermutlich vorrangig von Privatleuten zur Selbstversorgung oder von Fahrendem Volk zur Aufbesserung der Reisekasse ausgeführt.

1761 widmet der französische Botaniker **Henri Louis Duhamel du Monceau** ein ganzes Buch allein der wissenschaftlichen Untersuchung der Köhlerei. **Er beschrieb die vier damals bekannten Köhlereiverfahren (Löschkohlen, Grubenköhlerei, Köhlerei in stehenden Meilern und Retortenköhlerei)** mitsamt ihren Vor- und Nachteilen, untersuchte die durch die Köhlerei entstehenden Destillationsprodukte von Holz und entdeckte die tödliche Wirkung von Kohlenmonoxid auf Säugetiere. Außerdem beschrieb er verschiedene Techniken zur Feststellung der Holzkohlequalität. Er bestätigt die Erkenntnisse der antiken und frühneuzeitlichen Autoren mit validen, wissenschaftlichen Methoden, dass Hartholzkohlen heißer brennen als andere Kohlen und dass **Eichenholzkohle allerdings im Gegensatz zu Weichholzkohle zur Funkenbildung neigt**. Erstmals wird von Duhamel auch der Wirkungsgrad der Köhlerei untersucht. Er veröffentlichte erstmals die Erkenntnis, dass **Holz um 25 % während der Verkohlungs schrumpft und das Gewicht der Holzkohle nur 1/4 bis 1/5 des Holzgewichtes beträgt**. Ähnlich wie Carlowitz hebt er die Holzkohlequalität von Kohle aus ungespaltenen Hölzern von jungen Bäumen oder Ästen hervor. Ein weiterer interessanter Vergleich ist die jeweilige Auswirkung von Stein- oder Holzkohle im Schmiedefeuer: Holzkohle ergibt ein „weicheres“ Feuer als Steinkohle, welches besser für die Oberfläche bei Schmiedearbeiten ist. Das Resultat sind glattere Eisenoberflächen, die weniger Nacharbeitung bedürfen, außerdem ist das Verschweißen von Eisen im Holzkohlefeuer deutlich besser zu bewerkstelligen.

Mit „**L’art du carbonnier**“ stieß Duhamel eine ganze Reihe von Forschungsarbeiten an, die sich mit der Beschreibung und Verbesserung der Köhlerei in den verschiedensten Regionen Europas befassten. Ergänzend zu Duhamel beschrieb **A.I. Zanger** die Verkohlung in liegenden Werken, die besonders in Nadelholzreichen Regionen (besonders im Alpenraum und Skandinavien) üblich war. Besonders über die skandinavischen liegenden Meiler gibt es besonders umfangreiches Untersuchungsmaterial zu Wirkungsgrad und Qualität der Holzkohle von **Carl David af Ur**. Er verglich den Wirkungsgrad verschiedener Meilertypen für die Holzkohleproduktion aus Nadelstammholz und belegte so die Überlegenheit der liegenden Meiler was Arbeitsaufwand, Holzkohlequalität und Wirkungsgrad angeht. Af Ur war der erste, der ganz im Sinne der frühen Industrie verlässliche Kalkulationstabellen aufstellte, um Holzeinsatz, Köhlereiverfahren, Branddauer und Kohlequalität verlässlich im Voraus zu planen. Seine Ergebnisse veröffentlichte er mit Unmengen an statistischem Material, um seine Untersuchungen zu untermauern. Die Untersuchungen sind allerdings nur insoweit gültig, als man sie auf die Verkohlung von Nadelholz bezieht, da sich Nadelholz wesentlich einfacher in großen Durchmessern verkohlen lässt, als es bei Laubholz der Fall wäre. In Laubholzregionen bleibt bis ins 20. Jahrhundert der stehende Meiler der effizientere, vorherrschende Meilertypus. Andere Werke, die recht umfangreich gehalten sind, allerdings zu **Duhamel** und **Zanger** keine wesentlichen Neuerungen bringen sind von **F. Klein** und **C.H.E. Freiherr von Berg**.

Mit der Industriellen Revolution werden ab etwa 1820 andere Anforderungen an die Köhlerei gestellt. Neben der Kohle und dem Holzteer bestand auch ein immer größer werdender Bedarf an den anderen Destillationsprodukten wie Holzessig, Holzgas und Methylalkohol. Gerade die gasförmigen Stoffe lassen sich nicht in traditionellen Meilerformen auffangen, von daher wurde die fest gemauerte oder eiserne Retorte immer wichtiger in ihrer Bedeutung. Zahllose verschiedene Retorten wurden in ganz Europa entwickelt, ein durchaus beeindruckendes Kuriosum stellt herbei der Holzvergaser dar, der seit den 1920er Jahren sogar statt eines Kraftstofftanks Automobile am Laufen halten konnte. **Heute wird ein Großteil der einheimischen Holzkohleproduktion in Retortenmeilern durchgeführt, auch wenn die Qualität von Meilerkohle oft nicht erreicht wird.** Die Industrie konnte durch die Verbesserung der Transportmöglichkeiten mit dem Aufkommen der Eisenbahn und durch den immer tiefen gehenden Abbau der Steinkohle zunehmend auf Holzkohle verzichten. Auch die gasförmigen Destillationsprodukte konnten zuerst durch die in den Steinkohlekokereien entstehenden Gase, später dann durch Erdgas weitgehend ersetzt werden. Die an die Waldwirtschaft gebundene und damit zwangsläufig regional organisierte traditionelle Köhlerei geriet so spätestens mit Beginn des 20. Jahrhundert ins Hintertreffen.

Fussnoten:

¹ **Hartmut Thieme**, *Altpaläolithische Holzgeräte aus Schöningen, Lkr. Helmstedt. Bedeutsame Funde zur Kulturentwicklung des frühen Menschen*. Germania 77, 1999, 451-487.

² **Jan Thorbecke**, *Grotte Chauvet bei Vallon-Pont-d'Arc : Altsteinzeitliche Höhlenkunst im Tal der Ardèche.*, Stuttgart 1995.

³ **Carola Fuchs**, *Gut gekaut – Die Birkenpechstücke aus Hornstaad-Hörnle*. In: 4.000 Jahre Pfahlbauten, hrsg. vom Archäologischen Landesmuseum Baden-Württemberg und dem Landesamt für Denkmalpflege (Ostfildern 2016), S. 160.

⁴ **Joachim Hahn**, *Erkennen und Bestimmen von Stein- und Knochenartefakten. Einführung in die Artefaktmorphologie*. (= Archaeologica Venatoria, Bd. 10) (Archaeologica Venatoria) 1993.

⁵ **Die Gletschermumie vom Ende der Steinzeit aus den Ötztaler Alpen** (= Sonderdruck aus: Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums. Nr. 39. 1992). Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz 1993.

⁶ **Steffen Kraus, Christian Schröder, Susanne Klemm & Ernst Pernicka**, *Archaeometallurgical studies on the slags of the Middle Bronze Age copper smelting site S1, Styria, Austria*. In: Andreas Hauptmann u. Diana Modarressi-Tehrani (Hrsg.), *Archaeometallurgy in Europe III, Proceedings of the 3rd International Conference, Deutsches Bergbau-Museum Bochum* June 29 – July 1, 2011 (Bochum 2015) 301-308.

⁷ **Z. B. in Sellessen (Kr. Spree-Neiße)**. Armin Volkmann, *Eisenproduktionswerkplätze der späten römischen Kaiserzeit (3.-5. Jhdt) im inneren Babaricum, Forschungen zur Völkerwanderungszeit und zum Frühmittelalter Europas* (Würzburg 2012).

⁸ **F. J. Ernst**, *Die Vorgeschichtliche Eisengewinnung*. Mitteilungen des Bezirksfachausschusses für Ur- und Frühgeschichte (Neubrandenburg) 14, 1966.

⁹ **Plinius nat. hist. lib.: C. Plinius Secundus**, *naturalis historiae libri XXXVII*. Hrsg. und übers. von R. König und J. Hopp (Darmstadt 1991).

¹⁰ **Z.B. : V. Biringuccio**, *De la Pirotechnia*, Venedig 1540. Übersetzt und erläutert von O. Johannsen (Braunschweig 1925).

H. C. v. Carlowitz, *Silvicultura oeconomica*, Anweisung zur wilden Baum-Zucht (Leipzig 1713). Neu hrsg. K. Irmeler und A. Kießling (Freiberg 2000).

H. L. DuHamel du Montceau, *die Kunst des Kohlenbrennens oder die Art und Weise, aus Holz Kohlen zu machen* (Berlin, Stettin, Leipzig 1762).

¹¹ **Biringuccio** 1540, 209-210.

¹² **Biringuccio** 1540, 213.

¹³ **Biringuccio** 1540, 208-209.

¹⁴ **Carlowitz** 1713, 383-394.

¹⁵ **Carlowitz** 1713, 115.

¹⁶ **Carlowitz** 1713, 385.

¹⁷ **Carlowitz** 1713, 391.

¹⁸ **Carlowitz** 1713, 391.

¹⁹ **H.L. Duhamel du Monceau**, *Art du charbonnier* (Paris 1761).

²⁰ **A.I. Zanger**, *Waldämtlich- gepriest- bestätigt und in nachfolgende Ordnung gesetzte Beschreibung des Anton Ignatz Zanger, Mitglied der kaiserlich- königlich- nieder österreichisch ökonomischen Gesellschaft über die Kohlungsart in liegenden Werken, insgemein Werkkohlung genannt, welche allerseits bey der Innerbergischen Haupteisengewerkschaft so, wie in Kammerngut Vordernberg des Eisenartz nutzbar bestehet* (Steyr 1773).

²¹ **Carl-David af Uhr**, *Beratelse om Kolnings-försök*, 1814.

²² **F. Klein**, *Ueber Verkohlung des Holzes in stehenden Meilern* (Gotha 1836).

C. H. E. Freiherr von Berg, *Anleitung zum Verkohlen des Holzes: Ein Handbuch für Forstmänner, Hüttenbeamte, Technologen & Cameralisten* (Darmstadt 1860).

²³ **Hillmer 1999**: R. Hillmer, *Köhler in der Lüneburger Heide. Beiträge zur Kulturgeschichte der Lüneburger Heide 2* (Suderburg 1999).