

birkenpech

Anwendungsbereiche im Bauwesen

**Projektarbeit Kategorie „Fach-/ Themenarbeit“
Eidgenössische Berufsprüfung
Baubiologie**

Verfasser	Philippe Gaudin
Examinatoren	Ania Kurowska Daniel Miesch

Ort	Wynigen
Datum	11.08.2020

Danksagung

(Alphabetische Gliederung frei von qualitativen und quantitativen Kriterien)

Materieller Support

Stephan Gugl, Stadtgrün Bern
Hans Brand, Wyssachen
Martin Hertach, GL Baumaterialhandel GmbH Niederurnen
Matthias Tanner, Forstrevier AachThurSitter Bischofszell
Markus von Ballmoos, Fritz Blaser AG, Werk Rumendingen

Allgemeiner Support

Magdalena Bärtschi, Hans Brand, Ruth Brand, Viorel Brand,
Ruth Brandenberger, Zoe Brandenberger, Lucien Gaudin, Regula
Gaudin, Urban Merz

Theoretischer Support

Alle in dieser Arbeit erwähnten Autoren, welche durch ihre wertvolle Vorarbeit zu der Entstehung dieser Untersuchung beigetragen haben.

Lauterbarkeitserklärung

Der Übersichtlichkeit halber sind die folgenden Bezeichnungen bezüglich einer imaginären Person nur in ihrer männlichen Form erwähnt, in der Hoffnung, dass sich alle, diese Arbeit zu Gesichte bekommenden Personen, mit eingebunden fühlen.

Der Verfasser dieser Arbeit ist bemüht, die Gedankenerzeugnisse gelesener Auseinandersetzungen als solche zu deklarieren. Die Fülle des angereicherten Wissensschatzes und die eigenen Erfahrungen können jedoch mitunter geringfügige Abweichungen der Auslegungen gegenüber der Absicht des Urhebers enthalten. Dafür sei um Nachsicht gebeten. Ansonsten ist hiermit versichert, dass die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Verwendung anderer als der in den Fussnoten und im Anhang angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt wurde.

Wynigen, 11.08.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Untersuchungsanstoss	5
1.2	Untersuchungsgegenstand	6
1.3	Untersuchungsziel	7
1.4	Untersuchungsmethodik	9
1.5	Untersuchungsumfang	10
2	Birkenpech in Anbetracht des Baustoffzyklus	11
2.1	Einführung Baustoffzyklus	11
2.2	Der Rohstoff – die Birke	12
2.2.1	Grundlagenstudium	12
	2.2.1.1 Verbreitung	12
	2.2.1.2 Ökologische Bedeutung	14
	2.2.1.3 Ökonomische Bedeutung	15
2.2.2	Grundlagenverknüpfung	17
2.3	Herstellungsverfahren	19
2.3.1	Grundlagenstudium	19
	2.3.1.1 Vorbereitungsprozesse	19
	2.3.1.2 Verschwelungsprozess	21
2.3.2	Grundlagenverknüpfung	25
2.4	Zweckzuführung – die Anwendung	28
2.4.1	Grundlagenstudium	28
	2.4.1.1 Zuordnung	28
	2.4.1.2 Eigenschaften	30
	2.4.1.3 Aufwertung	31
2.4.2	Grundlagenverknüpfung	33
	2.4.2.1 Materialkonsistenz	33
	2.4.2.2 Temperatur	34
	2.4.2.3 Geruchsemission	34
	2.4.2.4 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	35
2.5	Zweckerfüllung – das Einsatzverhalten	36
2.5.1	Grundlagenstudium	36
	2.5.1.1 Rahmenbedingungen	36
	2.5.1.2 Bitumenersatz – Kleber für Schaumglas-Platten	37
	2.5.1.3 Silikonersatz – Fugendichtungsmasse	38
	2.5.1.4 Ersatz kunststoffvergüteter / bituminöser Beschichtung – Dichtungsanstrich	40

2.5.2	Grundlagenverknüpfung	41
2.5.2.1	Auswertung Untersuchung <i>Bitumenersatz</i>	41
2.5.2.2	Auswertung Untersuchung <i>Silikonersatz</i>	42
2.5.2.3	Auswertung Untersuchung <i>kunststoff- vergüteter / bituminöser Beschichtung</i>	42
2.6	Zweckentbindung – der Rückbau, das Rezyklieren, die Entsorgung	43
2.6.1	Grundlagenstudium	43
2.6.1.1	Beständigkeit	43
2.6.1.2	Rückbau	43
2.6.1.3	Rezyklieren	44
2.6.1.4	Entsorgung	44
2.6.2	Grundlagenverknüpfung	45
3	Schlussbetrachtung	46
3.1	Rohstoff	46
3.2	Herstellung	46
3.3	Anwendung	47
3.4	Nutzung	47
3.5	Rückbau	47
3.6	Konklusion	48
4	Zusammenfassung	49
5	Quellenverzeichnis	50
5.1	Bücher	50
5.2	Artikel / Zeitschriften	51
5.3	Online-Dokumente	52

1 Einleitung

1.1 Untersuchungsanstoss

Architektur wird seit Menschengedenken durch die drei von Marcus Vitruvius Pollio, kurz *Vitruv*, definierten Prinzipien *Firmitas* (Festigkeit), *Utilitas* (Nützlichkeit) und *Venustas* (Schönheit) bestimmt. Der Verfasser der vorliegenden Arbeit versteht die Aufgabe des Architekten darin, diese drei Prinzipien in Einklang zu bringen. Während ein bedeutender Teil der daraus entstehenden Planungsarbeit statischen Überlegungen gilt, besteht der eigentliche Folgeaspekt stets darin, das geplante Konstrukt Prinzipien übergreifend in jeglicher Art zu schützen. Schutz bedeutet in diesem Zusammenhang mehrheitlich die Auseinandersetzung mit den natürlichen Elementen, welche auf die Konstruktion einwirken und sie in gewisser Weise gefährden. Wasser und einher die resultierende Feuchtigkeit spielt hierin eine massgebliche Rolle. Gelingt die Ausübung als Mittler vitruvscher Prinzipien diesem Faktor eine langlebig trotzende Konstruktionshülle entgegen zu stellen, ist die Bauaufgabe in einer wesentlichen Weise erfüllt.

de.wikipedia.org, Vitruv
gesehen am 06.07.2020

Doch an dieser Aufgabe drohen Architekten immer wieder zu scheitern. Selbst bei grösster Hingabe und unter Beizug von Fachplanern pendelt das Schwert des Damokles in Form von Bauschäden über den Häuption der Gebäudeschöpfer und den Besitzern. Schäden können vielerlei Ursachen aufweisen, so haben sie neben Planungsfehlern und Schwächen in Bauteilschnittstellen auch vielfach den Ursprung in Materialunzulänglichkeiten und Verarbeitungsdefiziten. Gerade die Anforderungen an die Materialeigenschaften sind im aktuellen Industrie- und Dienstleistungszeitalter massiv gestiegen. Gründe dafür sind neben erhöhten Ansprüchen an Ausführungsstandard, Langlebigkeit und Kosteneinsparungen eine durch blindes Vertrauen in die Ingenieurskunst geförderte Ausdehnung und Ausreizung des Realisierbaren.

Infolge von höheren Nutzungsrenditen und demographischen Verdichtungszwängen entstand ein Bauverständnis, das unter anderem ein trockenes, und in gesteigerter Form, gar bewohnbares Geschoss im Souterrain vorsieht. Und der Herausforderung nicht Genüge getan erschloss man in dieser Dynamik auch verhältnismässig schwierige bis ungeeignete Baugründe. Die Materialentwicklung hielt mit dem Konstruktionsanspruch mit, und stachelte diesen gleichzeitig selber an. Mittlerweile ist der Materialstandard bei hochspezialisierten High-End-Produkten angelangt, welche ihrerseits andere Materialien auf gleichem Niveau zu einem festen System vereinen und ausgeprägte Verarbeitungskennntnisse erfordern. Diesen Produkten stehen neben nicht regenerativen Rohstoffen aufwendige Transport-, Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse zu Grunde. Die Haltbarkeit ist meist wenig erforscht und die Entsorgung gänzlich ausgeklammert. Entstanden ist eine unheilvolle Verkettung von Ressourcenbindenden Prozessen, welche die Ausbeutung unserer natürlichen Lebensgrundlagen vorantreibt.

1.2 Untersuchungsgegenstand

Im ständigen Bestreben, die vorangehend beschriebene Dynamik zu brechen und zu einer vereinfachenden, nachhaltigen und das Wohlbefinden nicht vernachlässigenden Bauweise zurückzufinden, befasst sich der Verfasser immer wieder mit alten Techniken und Umgangsweisen der Architektur. Was den Umgang mit dem Element Wasser bzw. der Feuchtigkeit anbelangt, bewegte er sich aber vermehrt an Ort, da in dieser Beziehung die Ansprüche jeglicher Art mittlerweile dermassen übersteigert sind, dass sie nicht mehr mit altertümlichen Umständen vergleichbar sind, und nur die angesprochenen, industriell ausgefeilten Erzeugnisse diesen zu genügen vermögen oder die Bedürfnisse gleich selbst mitgestalten. Ein Zurückbuchstabieren scheint praktisch nicht mehr möglich.

Seiner geheimen Leidenschaft, der Archäologie, folgend, geriet der Autor an ein Material, das zu einem Lichtblick in das vermeintliche Dunkel der derzeit eingesetzten Dichtungstoffe verhalf. Ausschlaggebend dafür waren zwei Funde der jüngsten Zeit. Der erstere betraf die Mumie vom Tisenjoch („Ötzi“), eine jungsteinzeitliche Leiche (ca.3300 v.Chr.), bei welcher zahlreiche, erhaltene Alltagsgegenstände der zurück liegenden Zeit gefunden wurden. Eine zweite Fundstelle in der Nähe des bern-jurassischen Dorfes Prêles (Prägelz), brachte eine bronzene Hand, eine vermutete Grabbeilage aus der Mittelbronzezeit (ca.1400 v.Chr.) zum Vorschein. Beiden Fundstellen ist gemeinsam, dass sie Gegenstände zu Tage beförderten, welche nachweislich oder vermuteter massen mit einem Klebstoff aus Birkenpech gefügt wurden. Diese Substanz schien neben Beständigkeit in feuchtem Milieu Eigenschaften wie Elastizität und Haftung beizubehalten. Bei den folgenden Recherchen stiess der Verfasser auf weitere Anwendungen in verschiedensten Zeitepochen, welche vom Werkzeugkleber im Mittelpaläolithikum (ca.50'000 v.Chr.) bis zur Holzgefässdichtung in der Jungsteinzeit (ca.3700 v.Chr.) reichten. Und je näher er in der Zeitskala mit den entdeckten Nutzungsformen an den heutigen Zeitpunkt rückte, desto vielseitiger erschien das Einsatzspektrum dieses als erster Kunststoff deklarierten Materials. Erst als der Verfasser auf die bis heute noch eingesetzte abdichtende Technik des Birkenkanu-Baus stiess, begann er daran zu glauben, dass das Birkenpech tatsächlich Potential aufweist, in Bereichen der zeitgemässen Architektur eingesetzt werden zu können. Diese Begebenheit beschied den Auftakt für eine eingehende Auseinandersetzung und die Grundlagenentwicklung für die vorliegende Arbeit.

Fleckinger, 2012
S. 80-83

erz.be, 2017
gesehen am 01.06.2020

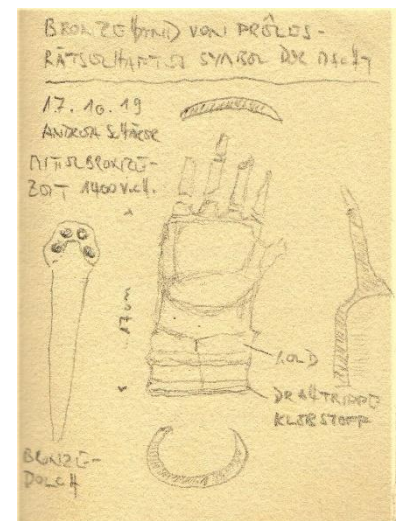


Abb.1
Bronzehand von Prêles
Skizze, 17.10.2019



Abb.2
Ötzi's Pfeile, Befiederung/Spitze
www.nzz.ch/panorama, 03.05.2020

1.3 Untersuchungsziel

Die Herstellungstechnik und der Einsatzbereich von Birkenpech sind in unserem Kulturkreis mittlerweile weitgehend aus dem kollektiven Gedächtnis verschwunden und nur noch unter wenigen, neugierig forschenden Bewahrern in verstreuten Fragmenten bekannt. Je näher eine Kultur im Einklang mit der Natur zu leben im Stande ist, desto verbreiteter und präsenter ist der Umgang mit den Erzeugnissen von Pflanzen wie der Birke. Doch lagern nur wenige Aufzeichnungen dieser Verfahrensweisen im allgemeinen Zugriffsbereich. Die ergiebigste Quelle theoretischer Grundlagen liefert die experimentelle Archäologie, welche durch die Erkundung nach dem Herstellungsverfahren des an zahlreichen Fundstücken haftenden Materials mit wertvollen Erkenntnissen aufwartet.

Keine dieser Erfahrungsberichte setzt sich aber mit dem Einsatz von Birkenpech im Bauwesen auseinander. Es mangelt an Funden, die einen derartigen Gebrauch anzeigen, und tatsächlich scheint in der vergangenen Bautechnik (mit Ausnahme des Schiffbaus) kein Bedarf an so einem Dichtstoff geherrscht zu haben. Infolgedessen begibt sich der Verfasser mit dieser Recherche auf dünn besätes Terrain und muss Ableitungen und Versuche vornehmen, um der Fragestellung nachgehen zu können, ob und in welcher Weise dieses Material für den Einsatz im Hochbau taugt.

Ziel dieser Projektarbeit ist es, unter Einbezug von für diese Arbeit gefertigten Proben, Fakten und Erkenntnisse zu sammeln, wie Birkenpech im nachhaltigen und gesunden Bauen sinnvoll verwendet werden könnte, um bedenkliche Baustoffe, welche aktuell zur Dichtung der Aussenhülle eingesetzt werden, adäquat zu ersetzen. Diese Substanzen sind mittlerweile ausnahmslos Resultate komplexer Produktionsketten, welche die Umwelt nicht nur in der Herstellung, sondern auch durch lange Transportwege einerseits der einzelnen Inhaltskomponenten wie auch des Endproduktes, belasten. Produktionsfirmen solcher Baustoffe verweisen in ihren Dokumentationen gerne auf die Recycling-Eigenschaften ihrer Gebinde hin, und lenken damit vom Kernthema ab, wie die Stoffe, da nicht wiederverwertbar, letztlich entsorgt werden sollen. Neben diesen Belastungsfaktoren ist jedoch ein zentraler Punkt entscheidend, weshalb Alternativen für derartige Produkte gefunden werden müssen:

Sie stammen weitgehend aus Herstellungsverfahren der Petrochemie und bestehen grösstenteils aus Inhaltsstoffen nicht regenerativen Ursprungs. Es muss die Frage formuliert werden, ob wir wirklich eine Baukultur fortsetzen wollen, die in dieser Form nur noch wenige Jahrzehnte bestehen kann, die Entsorgung derer Erzeugnisse jedoch zahlreiche folgende Generationen beschäftigen wird.

Als Untersuchungsfelder für Birkenpech könnten demnach folgende Bereiche dienen:

- Klebstoff: Befestigung von Schaumglas-Platten und Dichtung derer Fugen
 > Ersatz von Bitumen
- Dichtstoff: Dichtmasse von Materialfugen > Ersatz von Silikon
- Anstrich: Oberflächenbehandlung von feuchtigkeitsempfindlichen, möglicherweise erdberührten Bauteilen wie Holzstützen oder –schwellen
 > Ersatz von bituminösen oder kunststoffvergüteten Anstrichstoffen

Das Birkenpech selber ist momentan auf dem Markt praktisch inexistent oder nur schwerlich und in kleinen Mengen erhältlich. So werden neben den untersuchten Gegenständen anhand der eigenen Gewinnung von Birkenrinde und des daraus gewonnenen Pechs Gedanken angestellt, in welcher Form der Herstellungsprozess optimiert und wirtschaftlich rentabel umgesetzt werden kann. Letztlich muss sich die Untersuchung auch daran messen, ob der Rohstoffträger, die Birke, für eine derartige wirtschaftliche Ausrichtung im nationalen Bestand genug Reserven bereit hält und ob der Baum im Zuge des Klimawandels innerhalb des alpinen Europas in mittelfristiger Zukunft überhaupt noch lebensfähig sein wird. Desgleichen ist es unter der Voraussetzung wiedergespiegelten Interesses unter Umständen möglich, dass neben architekturaffinen Lesern weitere Erwerbszweige wie die Forstarbeit, die Holzwerkstoff-Industrie oder Andere Nutzen in Form von Anstößen aus der vorliegenden Arbeit entnehmen.



Abb. 3
Birkenkanu des Ojibwe-Stammes
[en.wikipedia.org/wiki](https://en.wikipedia.org/wiki/Birch_bark_canoe)
gesehen am 06.07.2020

1.4 Untersuchungsmethodik

Da der zu untersuchende Gegenstand als Baustoff getestet wird, empfiehlt es sich im Sinne des nachhaltigen und ökologischen Bauens, seinen gesamten Bestehenszyklus vom Rohstoff über die Herstellung und Anwendung bis hin zur Zweckentbindung und möglichen Umnutzung zu betrachten oder zumindest auszurechnen. Aus diesem Grunde ist die Arbeit im Wesentlichen nach der allgemein anerkannten Ordnung eines Baustoffzyklus strukturiert.

Infolge der spärlichen Literatur und deren vornehmliche Ausrichtung zur Produktion von Replikaten vergangener Kulturkreise liegt den praktischen Versuchen ein erhebliches Gewicht bei. Jede Phase, von der Produktion bis zur Verwendung, muss erst begangen bzw. erforscht werden und bildet die Basis der darauf folgenden. Während die theoretische Unterstützung basierend auf Erkenntnissen Anderer in den Stadien *Rohstoff* und *Herstellung* noch weitgehend mitträgt, nimmt sie bereits bei der Phase der *Verwendung* merklich ab, bis sie gänzlich versiegt. Trotz der ungleichen Voraussetzungen des faktenbasierenden Grundgerüsts entschied sich der Verfasser die einzelnen Phasen in die Subordnung eines *Grundlagenstudiums* und einer *Grundlagenverknüpfung* zu unterteilen, um die Gedankenwege und gewonnenen Einsichten dem Lesenden transparenter aufzuzeigen. So wird im Teilbereich *Grundlagenstudium* versucht, bestehendes Wissen und Erkenntnisse von vorangehenden Phasen und eigenen Versuchen zu sammeln und zu gliedern, worauf diese unter der Rubrik *Grundlagenverknüpfung* im Sinne einer ganzheitlichen und doch individuell beschränkten Auffassung und Betrachtungsweise kombiniert und weitergegoren werden.

Um dem Anspruch an eine ganzheitliche Betrachtungsweise gerecht zu werden, erfolgt die Konklusion der vorliegenden Untersuchung im Raster des Baustoffzyklus unter Anwendung des *5-Ebenen-Modells* des *ETH-Wohnforums*. Dieses Werkzeug erweitert das Wahrnehmungsspektrum bezüglich des Einflusses eines Aspektes auf jede evolutionäre Stufe hin, welche der Mensch bis zu seiner aktuellen Façon durchschritten hat.

- Chemisch-Physikalische Ebene
- Biologische Ebene
- Human-individuelle Ebene
- Soziale Ebene
- Kulturelle Ebene

Anhand dessen sollte der potentielle Rohstoff differenziert erfasst und eingeordnet werden können.

Rauch-Schwegler, 2005
S. 18/19



Abb. 4
Baustoffzyklus
www.springerprofessional.de/baustoffe, 14.05.2020

Rauch-Schwegler, 2005
S. 14/15

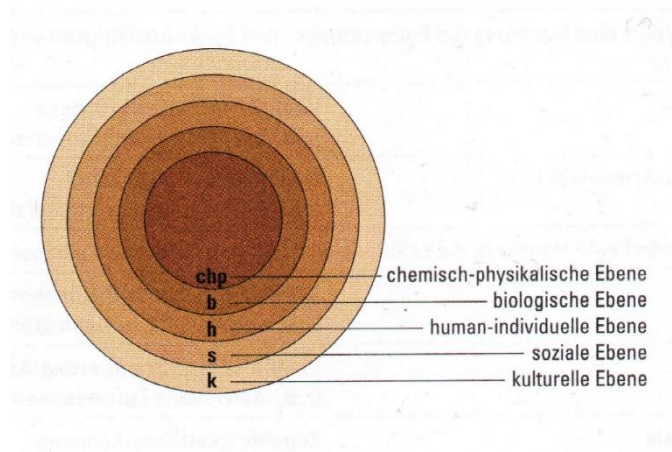


Abb. 5
 Rauch-Schwegler, 2005
 S. 15

1.5 Untersuchungsumfang

Für die Untersuchung stehen dem Verfasser 4 Monate mit beschränkter Nutzungskapazität zur Verfügung. Mit der Phasenabschreitenden Methodik stehen demnach für die Gewinnung von Birkenpech und die Anwendung in den dafür als geeignet erachteten Bauteilsegmenten jeweils nur wenige Wochen zur Verfügung. Infolgedessen werden die Eigenschaften und die Einsatzmöglichkeiten im kleinstmöglichen Rahmen erprobt, nämlich an gezielt gefertigten Mustern, anhand welcher gewisse definierte Aspekte erkennbar und verdeutlicht werden sollen.

Die Auswertung der Resultate erfolgt aus einfachsten Mitteln und erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Die Ergebnisse sollen weder beschönigt noch aufgebauscht werden. Physikalische und chemische Grundausbildung des Verfassers sowie dessen technische Ausrüstung reichen nicht aus, um verbindlich Werte und unumstößliche Aussagen zu erzielen. Vielmehr ist es ihm ein Anliegen, durch eine transparente Vorgehensweise Unzulänglichkeiten und Mängel offen zu legen und Anstöße zu initiieren, auf den angesprochenen Pfaden weiterzugehen, sofern sich eine lohnende Vorstellung ergibt. Die Arbeit sollte an der Kohärenz und der Herleitung der Aussagen und deren Einbettung in eine gesamtheitliche Betrachtungsweise gemessen werden.

2 Birkenpech in Anbetracht des Baustoffzyklus

2.1 Einführung Baustoffzyklus

Mit all ihren negativen Auswüchsen hat die allgemeine Reflexionsfähigkeit der aktuellen Gesellschaft westlicher Prägung, in der sich der Verfasser bewegt, die vorzügliche Begleiterscheinung, aus Fehlern Schlüsse zu ziehen und lernen zu können. In diesem Sinne war das höchst bedauerliche Opfer der zahlreichen, langfristig geschädigten Bauteilnehmer und späteren Nutzern durch Substanzen wie Asbest, PCB und unzähligen weiteren Baugiften nicht gänzlich vergebens. Diese Beispiele lehrten in gewisser Weise, Baustoffe nicht nur anhand ihrer temporären Eigenschaften in ihrer angestrebten Funktion zu beurteilen, sondern auch ihre Wirkungen und Nebenwirkungen die nachfolgenden Phasen betreffend. Emissionszyklen und deren Belastung werden von zuständigen Prüfstellen vorgängig kontrolliert und der wertende Massstab nach den neusten Erkenntnissen des Schädigungspotentials ausgerichtet.

Das Bewusstsein wurde im Zuge der *68er-Bewegung* zudem um zwei Dimensionen erweitert. So wird nicht mehr selbstverständlich hingenommen, dass ein gefertigtes Produkt nur in einem bestimmten Zeitrahmen einen Zweck zu erfüllen hat und danach ersetzt wird, und seine Existenz auf einer Müllhalde fristet oder in einem Verbrennungsofen transformiert wird. Die Entsorgungs- oder Rezykliermöglichkeiten eines Baustoffes erhalten bedingt durch das Verständnis der endlichen Ressourcen einen stetig wachsenden Stellenwert. Daraus leitet sich die zweite erwähnte Erweiterung der ganzheitlichen Beurteilung einer Substanz ab, denn die Endlichkeit der Ressourcen wirft auch die Frage auf, ob es zulässig und verhältnismässig ist, gewisse Stoffe überhaupt zu produzieren. Bevor Energie aufgewendet wird, muss die Balance zwischen Aufwand und Nutzen erwogen werden.

In dieser Betrachtungsweise besteht die Möglichkeit, dass ein Produkt, welches zwar in einer gewissen Phase augenscheinlich weniger gut abschneidet, diese Defizite in anderen Phasen zu kompensieren vermag, eine differenzierte Gewichtung erhält. Als Beispiel vermag an dieser Stelle das Aluminium-Profil eines Holz-Metall-Fensters beizutragen. Aluminium verschlingt in der Herstellung viel Energie, wird zudem in abgelegenen Gegenden wie Kanada produziert und bindet somit im Transport noch zusätzlich hohe Aufwendungen. In der Form des Fensters einmal verbaut, verhält es sich jedoch wartungsarm und dauerhaft, und kann, sofern erforderlich, beim Rückbau getrennt und recycelt werden. In dieser Weise wird im Folgenden die Herstellung und Verwendung von Birkenpech untersucht und abgewogen.

2.2 Der Rohstoff – die Birke

2.2.1 Grundlagenstudium

2.2.1.1 Verbreitung

Die Birke ist ein arten- und formenreiches Gehölz, das weltweit verbreitet über 60 registrierte Ausbildungen manifestiert. Diese können wiederum regional differenzierbare Auffälligkeiten hervorbringen, was auf eine hohe Anpassungsfähigkeit schliessen lässt. Trotz klimatisch vergleichbarer Bedingungen ist die Vielfalt in Europa wesentlich kleiner als in Nordamerika, da, bedingt durch den Verlauf der Alpen, während der Eiszeit die damaligen Vertreter dieser Familie der Vereisung nicht entfliehen konnten und somit nur die resistenten Exemplare überlebten. So sind Birken in Südeuropa und im Mittelmeerraum kaum anzutreffen. Die Hälfte aller heimischen Birken wächst oberhalb von 990m.ü.M und erreicht eine Obergrenze von etwa 2000m.ü.M.

Ortner, 2015
S. 22-30 / 50--72

Kremer, 1984
S. 108

Landesforstinventar, 1996
gesehen am 27.05.2020

In der Schweiz ist gemeinhin mit dem Begriff „Birke“ die von den vier heimischen Arten in allen Landesteilen vorherrschende „Hängebirke“ angesprochen. Diese zeichnet sich durch ihre die anderen überragende Wuchshöhe von 20-25m und einem Stammdurchmesser von bis zu 60cm aus. Sie wächst nahezu auf allen Böden ausser in Hochmooren, deren Lebensraum die seltenere Moorbirke für sich beansprucht. Beinahe anspruchslos gibt sich die Hängebirke mit kargen Ausgangslagen, wenig Erde und Feuchtigkeit, zufrieden und gedeiht sogar an wenig wirtlichen Standorten wie Flachdächern und Strassenbelagsbrüchen. Als Pionierpflanze ist sie vor allem an Steinhalden, Brachen und Waldrändern, bevorzugt aber auf mineralischen und basenarmen Bodenverhältnissen zu finden, wo sie zumeist auch grössere Bestände bildet. Besonders gut gedeiht sie des Stickstoffgehalts wegen auf Flächen, welche durch Waldbrand heimgesucht wurden (siehe Pfynwald, Leuk VS). Dergleichen ist es für das Wachstum und die Entwicklung der Hängebirken förderlich, diese mit Asche zu düngen.

Landesforstinventar, 1996
gesehen am 27.05.2020

Ortner, 2015
S. 31-39

Ortner, 2015
S. 45

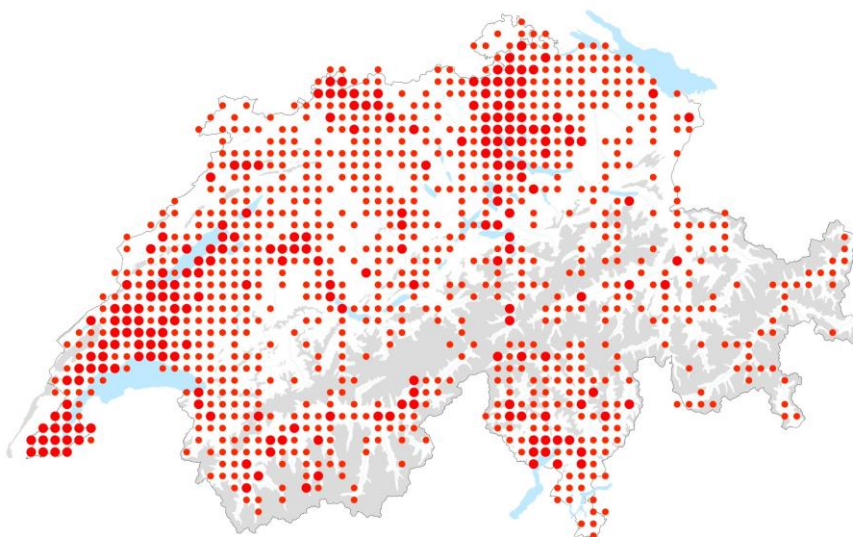


Abb. 6
Birkenbestand Schweiz
Grosser Punkt = über 10Stk. / 5x5km
Kleiner Punkt = unter 10Stk. / 5x5km
www.lfi.ch/resultate/baumarten
27.05.2020

So bescheiden sich die Hängebirke gegenüber den Bodenverhältnissen gibt, so sensibel reagiert sie auf fehlende Lichteinstrahlung. Sie kann sich an wuchskräftigen Standorten kaum gegen ihre Konkurrenz behaupten und meidet dichte Baumbestände. Wird ihr Lichtbedarf jedoch gedeckt, erweist sie sich als äusserst schnellwachsend und gilt unter gegebenen Umständen bereits mit 20 Jahren als ausgewachsen.

Ortner, 2015
S. 26-30

Gemein ist allen hier ansässigen Birken die weisse Farbe des Stammes, welche jedoch bei kleineren Arten und jüngeren Zweigen gegen rot-braun tendiert. Dieses Weiss stellt sich als idealer Hitzeschutz heraus, indem das Sonnenlicht reflektiert wird. Der Effekt wird durch den Menschen mit dem „Weisseln“ der Obstbäume imitiert, damit der im Frühling reaktivierte Flüssigkeitstransport innerhalb der Rinde in der Dualität der intensivierten Sonneneinstrahlung und den dennoch kühlen Temperaturen nicht birst. Ursache für den die Birken prägenden Farbton ist das vornehmlich in der Rinde eingelagerte Betulin, welches den Grundstoff für das in dieser Untersuchung behandelte Birkenpech bildet.

Godet/Schnieper, 1999
S. 79-81

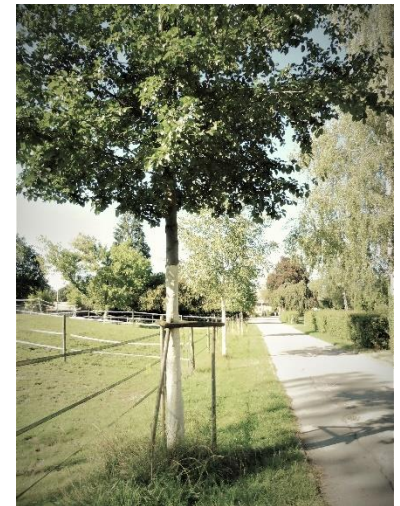


Abb. 7
„Geweisselte“ Erle in Birkenallée
NPZ, Bern
Foto, 07.08.2020

Die Farbe der Rinde ist jedoch nicht die einzige Eigenschaft, welche die Hängebirke als eine äusserst widerstandsfähige Spezies auszeichnet. Sie weist eine durch eigens produzierte chemische Abwehr (Phenolverbindungen) hohe Schädlingsresistenz auf und vermag meteorologischen Extremsituationen wie Schneefall und Stürmen oft unbeschadet zu trotzen. Ausserdem verfügt sie über ein äusserst dichtes und weitverzweigtes Wurzelwerk, das die Aufnahme von Nährstoffen und das Speichern von Wasser selbst unter erschwerten Umständen ermöglicht. Ein Extremverhalten zeigt die Hängebirke aber auch in Bezug auf die Fortpflanzung, was ihr als Zierbaum in Gärten einen negativen Ruf einhandelt. Denn ein ausgewachsenes Exemplar produziert pro Jahr zwischen 12 und 50 Mio. Samen, was zu einem Ausmass jährlichen Saatguts von bis zu vier Kilogramm führen kann. Ihre Pollen verbreiten sich in einer zunehmenden Konzentration und einer Distanz, welche andere Laubbäume um ein Vielfaches übertrifft, was zusehends auch zu gesundheitlichen Beschwerden des Menschen führt.

Ortner, 2015
S. 31-39

2.2.1.2 Ökologische Bedeutung

„Der Anbau der Birke kann auch zur Beförderung einer besseren Holzkultur beytragen: Wenn er entweder auf wüsten freyliegenden Plätzen und Heiden an südlichen und südöstlichen Bergabhängen oder sogenannten Sommerwänden, die von Holz entblösst worden, oder an solchen Orten geschieht, wo schon ehemals Holz gestanden hat, in der Absicht, um die Orte zum Anbaue edlerer Holzarten vorzubereiten und geschickt zu machen.“

Ortner, 2015
S. 41

Aus dieser Beurteilung des Deutschen Oberforstrates *Christian Peter Laurop* von 1796 lässt sich das ambivalente Verhältnis des Menschen gegenüber der Hängebirke treffend ablesen. Leicht abschätzig gelangt zum Ausdruck, dass es diesem Laubbaum im Vergleich zu anderen Arten an Nutzungsqualitäten zu mangeln scheint, während ihm jedoch Eigenschaften zugestanden werden, seinen Standort, sein ökologisches Umfeld, nicht nur durch seine ausserordentliche Erscheinung zu bereichern, sondern dessen Beschaffenheit nachhaltig zum Guten zu beeinflussen. Dieser Wirkung liegen mehrere Eigenschaften der Birke zu Grunde, welche in ausführlichen Studien laufend weiter erforscht werden und an dieser Stelle nur oberflächlich behandelt werden können.

Erwähnt werden muss vor allem die ausgleichende Wirkung der Hängebirke auf den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Die Pflanzung dieses Baumes vermag dauerhaft nasse Bodenverhältnisse, welche Gebäuden wie Nahrungskulturen über längere Zeitspannen schaden, aufzuheben. Im Gegensatz obliegt es seinem Einfluss, dass das Abfließen des Niederschlages, welcher auf steinigem und unfruchtbarem Grund fällt, zurückgehalten wird und die Basis für den Beginn einer Vegetation bildet. Das Wurzelgeflecht der Birke ist in der Lage bis zu 400 Liter Wasser aufzunehmen. Es schützt lose Erde vor Erosion und bindet Schadstoffe und Schwermetalle dauerhaft, was die Reinlichkeit des Grundwassers fördert. Eine ukrainische Studie belegt, dass sich im subterranean Milieu des Baumes neben schadstoffbindenden Mykorrhizapilzen auch Bakterienstämme ansiedeln, welche nicht nur in der untersuchten mit Schwermetall kontaminierten Umgebung überleben, sondern jenes einverleiben.

Interessant scheinen diese Ergebnisse im Besonderen, wenn man diese in den Zusammenhang mit dem gegenwärtigen Klimawandel betrachtet. Denn während der heimische „Brotbaum“, die Fichte, zusehends an Folgeerscheinungen der Erwärmung erkrankt, belegt die Forschung, dass die Birke Wassermangel durch genügend UV-Strahlung kompensiert und während die Fichte bei Trockenstress die Wasserverdunstung und somit ihre Durchflussrate deutlich senkt, die Birke ihre Versorgung aufrechterhält.



Abb. 8
Birken besiedeln kargen Boden
Kieswerk, Rumendingen
Foto, 01.08.2020

Ortner, 2015
S. 49

Allgaier, 2017
gesehen am 27.05.2020

Allgaier, Datum unbekannt
gesehen am 27.05.2020

Ortner, 2015
S. 22-72

Weiter wurde beobachtet, dass Birken bei einer Zunahme des Kohlenstoff-Gehalts der Luft diesen gleich umzusetzen vermögen, was eine nahezu doppelt so ausgeprägte, eingelagerte Kohlenstoff-Konzentration im Holz zur Folge hatte. Es scheint generell, dass dieser Laubbaum den anthropogenen Emissionen gegenüber tolerant konstituiert ist. Laut einer polnischen Studie sorgt nicht nur das Wurzelwerk für die Filterung von Verunreinigungen. So wurden hohe Konzentrationen von Schwermetallen in den Blättern eingelagert gefunden, welche auf eine örtlich nah gelegene hohe Verkehrsintensität zurückzuführen war. Zudem wurde in der selben Untersuchung ein markantes Längenwachstum der Jungtriebe festgestellt. Andere Studien unterstreichen auch den Zusammenhang des Längenwachstums und mitunter der Steigerung der Blattfläche infolge einer erhöhten Nachttemperatur.

Ortner, 2015
S. 26-31

2.2.1.3 Ökonomische Bedeutung

Mit der Zurückdrängung natürlich entwickelter Waldregionen wurde auch der Lebensraum der Hängebirke fortschreitend minimiert. Im heute dicht besetzten Wirtschaftswald der Schweiz findet sie nicht die notwendigen Lichtverhältnisse vor, weshalb ihr Hauptbestand sich auf Restflächen wie Naturschutzgebiete, Auenwälder, Waldränder oder Stein- und Schutthalden beschränkt. Studien belegen, dass ihre rege Wachstums- und Vermehrungsaktivität durch die maschinelle Rodung massgeblich gestört und zurückgebunden wird. Kultiviert wird sie von Menschenhand mehrheitlich nur noch als Zierbaum in Parkanlagen, als Alleensäumung oder zu Hangsicherung in Steinschlaggebieten. Einher mit der Beschränkung des Bestandes verliert sie ihre Bedeutung als Nutzbaum. Die Hängebirke hat hierzulande keine industrielle Verwendung mehr. Dies ist insbesondere auf den limitierten Einsatzbereich als Vollholz zurückzuführen.

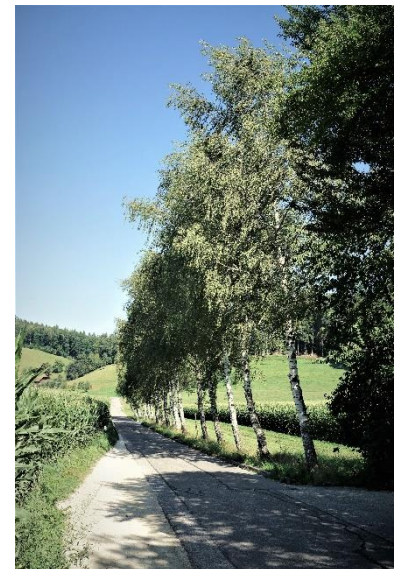


Abb. 9
Birken-Halballée
Grafenscheuren, Burgdorf
Foto, 01.08.2020



Abb. 10
Parkanlage
Paul-Klee-Zentrum, Bern
Foto, 07.08.2020

Holz

Da wenig witterungsbeständig, anfällig gegen Pilzbefall und von geringer Tragkraft eignet es sich kaum für den Einsatz als Konstruktionsholz oder Aussenverkleidungen. Die Vorzüge dieses Holzes liegen in seiner Formstabilität, seinem geringen Gewicht und der einfachen mechanischen Verarbeitbarkeit. Als Vollholz kommt es vornehmlich beim Möbelbau, oder in Form von Parkett, Vertäfelung und Furnieren zum Einsatz. Zweifelhaft ist in diesem Kontext seine Beliebtheit als Feuerholz: in Schmieden schätzt man seinen Heizwert, bedingt durch den hohen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Ligningehalt, die schnelle Entflammbarkeit, die rasche Verkohlung und die geringen schädlichen Dämpfe. Zudem eignet es sich für den Cheminéegebrauch, weil es durch die regelmässige Wuchsstruktur als Splintholz keine Funken abwirft.

Ortner, 2015
S. 168-211

Dieser nationalen Degradierung steht eine konkurrenzfähige industrielle Nutzung der Hängebirke in Nordosteuropa entgegen. In Finnland und Russland wird das günstige Schwind- und Quellverhalten des Holzes für die Herstellung von hochwertigen schichtverleimten Sperrholz-Produkten und Spanplatten verwendet, welche als Träger, Kastenelemente und Schalungen eingesetzt werden. In Estland, wo Birken 31% des Waldbestandes ausmachen, wurden in den letzten Jahren 400'000 ha landwirtschaftliche Fläche aufgegeben, auf welchen Birken in Plantagen aufgezogen und im Hinblick auf schnelleres Wachstum, bessere Schädlingsresistenz und geringeren Ligningehalt gezüchtet werden. Letztere Eigenschaft gewichtet sich besonders in einem weiteren Verwendungszweig des Birkenholzes, der Papierproduktion, in der das Lignin aufwendig von der zu verwendenden Zellulose getrennt werden muss.

Ortner, 2015
S. 22-72



Abb. 11
Birkenstamm-Segmente
Wynigen
Foto, 28.03.2020

Rinde

Als weit beständiger als das Holz der Hängebirke erweist sich deren Rinde. Zahlreiche Völker benutzten sie in Form von Schindeln und Unterschupfverkleidungen als Schutz gegen Witterungseinflüsse. In unserem Kulturkreis wurde sie auch als Hülle für andere zu lagernde Hölzer eingesetzt, welche so mehrere Jahre haltbar aufbewahrt wurden. Trotz dieser Eigenschaften wird sie aktuell, sofern es zum Schälungsprozess kommt, als Abfallstoff Feuerungsanlagen zugeführt. Als Nischenprodukt wird sie nur noch von Kleinmanufakturen zur Fertigung von Alltagsgegenstände verwendet, wie beispielsweise im Val dei Mocheni (Trentino), wo daraus Tabakdosen hergestellt werden. Welche unterschiedlichen Qualitäten dieser Rohstoff birgt, ist an den zwei Behältern aus Birkenrinde zu erahnen, welche bei der Mumie vom Tisenjoch („Ötzi“) gefunden wurden. Untersuchungen ergaben, dass der eine höchstwahrscheinlich als Trinkgefäss diente, während der andere als Behältnis für in Spitzahorn-Blättern umhüllte, glühende Holzkohle, welche dergleichen über mehrere Stunden glimmte, diente. An der selben Fundstelle entdeckte man in einem Lederköcher zwei Pfeile, deren Spitzen mit Birkenpech an den Schaft befestigt waren.



Abb. 12
 Birkenrinde
 Langetschwand, Wyssachen
 Foto, 23.04.2020

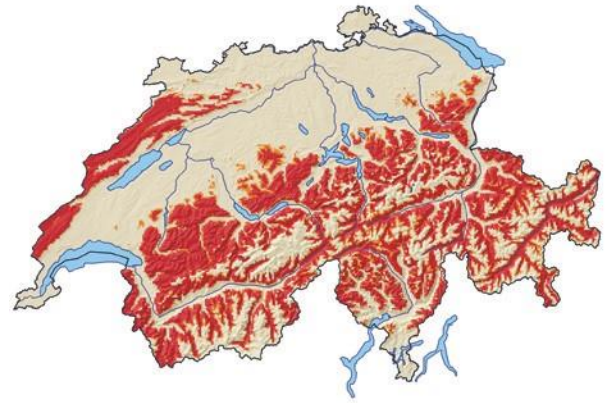
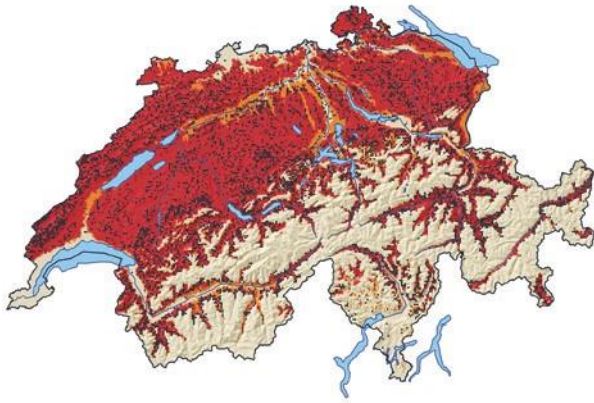
Fleckinger, 2012
 S. 80-83/86-87

Birkenpech fand in der Vergangenheit in vielerlei Art Verwendung. Im frühesten Menschzeitalter als Klebstoff für Schäftungen und Dichtung von Gefässen verwendet, diente Holzpech generell im Mittelalter bis in die Neuzeit als Dichtungsmasse für Fässer und zum Kalfatern der Schiffsrümpfe, wobei vom Autoren im Rahmen dieser Arbeit nicht einwandfrei ermittelt werden konnte, ob es sich hierbei auch um Pech der Birke handelte. Das Wissen um die Herstellung und Verwendung ging jedoch weitgehend verloren, weshalb Wissenschaftler und Archäologen gleichermassen mittels Experimenten teils in Laboren, teils in primitiven Feldversuchen das Verfahren zur Gewinnung dieses vielseitigen Kunststoffes neu zu ergründen suchten.

2.2.2 Grundlagenverknüpfung

Mit dem Fortschreiten des Klimawandels sind unsere Forstwirtschaft und mit ihr einher mehrere Wirtschaftszweige, einschliesslich dem Bauwesen, zum Umdenken gezwungen. Neben aktuellen grossen Schadensereignissen belegen auch wissenschaftliche Studien, dass die Fichte, mit 39% des gesamten nationalen Baumbestandes der bedeutendste, ökonomisch genutzte Baum, den zu erwartenden klimatischen Bedingungen nicht standhalten kann. Trockenheit und erhöhte Temperaturen verringern nicht nur dessen Wachstum, sondern erhöhen auch seine Schädlingsanfälligkeit. Wie die *Abbildungen 13 und 14* (S.18) darlegen, wird die Fichte fortschreitend aus unseren Landesteilen verschwinden und sich in montane Regionen zurückziehen. Aus Fachkreisen wird deshalb empfohlen, vermehrt auf einen ausgewogenen Mischwald zu setzen.

Allgaier, 2017
 gesehen am 27.05.2020



Dies öffnet dem Birkenbestand neue Möglichkeiten. Zwar zeigt auch die Birke an gewissen Standorten Ermüdungserscheinungen gegenüber Trockenheit und massiven Niederschlägen, doch fallen diese Phänomene eher auf den urbanen Raum, wo sie meist in zu kleinen Pflanzgruben gehalten wird. In einer Waldgesellschaft hingegen könnten ähnlich bedeutende Gemeinschaften entstehen, wie diejenige, welche die Birke in nördlichen Regionen mit der Kiefer eingegangen ist. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass hier weniger Wildverbiss und Schädlingsbefall festgestellt wurde. Zum Beispiel kann man an natürlich gewachsenen Waldrändern eine sich bedingende Nachbarschaft von Eichen und Birken feststellen.

Eine Aufwertung als Mischwald-Bewohner könnte der Birke in Zukunft zu einer steigenden Bedeutung als Wirtschaftsbaum führen. Es ist nicht davon auszugehen, dass ihr Holz in diesen Breitengraden den selben Stellenwert wie in Nordeuropa erlangt, wo sie zum Teil durch die vorherrschenden Bedingungen auch einen höheren Härtegrad an den Tag legt. Doch kann dieses in der Holzwerkstoff-Industrie vortrefflich eingesetzt werden und das künftig wohl fehlende Fichtenholz als unbewittertes Konstruktionsholz in Form von Brettschichtträgern ersetzen. Dieser Umstand wird vor allem deshalb interessant, weil die Birke eine deutlich niedrigere und mehr als halb so lange Umtriebszeit (Schlagalter) hat als die anderen wirtschaftlich genutzten Baumarten. In diesem Bezug steigt auch seine Bedeutung als Energieträger und läuft mit ihren Holzeigenschaften der Fichte den Rang schon zu diesem Zeitpunkt ab. Im Zusammenhang mit dem Innenausbau und somit mit seinem Einfluss auf das Innenraumklima hat sich das Birkenholz zudem höchst bewährt. Im Rahmen einer norwegischen Studie, die Ausstattung von Krankenzimmern betreffend, zeichnete es sich durch geringe Abgabe von aliphatischen bzw. aromatischen Kohlenwasserstoffen und Aldehyden aus.

Wie sich der Marktwert der Birke entwickelt, entscheiden letztlich mehrere Faktoren, worüber sich nur spekulieren lässt. Doch steht ihre Geringschätzung mit der angeführten Argumentationskette in weitgehendem Widerspruch. Eines lässt sich zumindest festlegen: Der Aufwand, die für diese Arbeit zugrundeliegenden Birken aufzutreiben, war relativ hoch, da die Bäume nicht zu kommerziellen Zwecken gefällt wurden. Sollte das Renommee und damit verbunden der nationale Bestand der Hängebirke nicht zunehmen, besteht keine reelle Möglichkeit einer verhältnismässigen und bedeutsamen Produktion von Birkenpech.

Abb. 13 / 14
Fichtenbestand der Schweiz
li: heute / re: 2. Hälfte des 21. Jhrts.
www.lfi.ch/resultate/baumarten
27.05.2020

Allgaier, Datum unbekannt
gesehen am 27.05.2020

Jandl, 2017
gesehen am 06.06.2020

wald-prinz, 2013
gesehen am 06.06.2020

Ortner, 2015
S. 168-211

2.3 Herstellungsverfahren – das Birkenpech

2.3.1 Grundlagenstudium

2.3.1.1 Vorbereitungsprozesse

Entrinden

Die Rinde schützt die Bäume vor Witterungseinflüssen, mechanischer Einwirkung und Schädlingen. Da der Spross des Baumes jährlich in seinem Durchmesser gegen aussen um eine Schicht wächst, muss auch seine „Aussenhaut“ erneuert werden, damit sie ihre Aufgabe, die Versorgung der Pflanze zwischen Blatt und Wurzel aufrecht zu erhalten, erfüllen kann. Das Kambium, welches unmittelbar unter der Rinde bildet, sorgt mit dem Abgeben des Bastes gegen aussen hin auch dafür, dass die Hülle intakt bleibt. Die äusserste Schicht (sekundäres Abschlussgewebe) des Bastes stirbt dabei ab und verkorkt. Bei verschiedenen Baumarten wie der Fichte als Vertreter des Tiefenperiderms wächst dieser Bereich zu einer ausgeprägten Borke (tertiäres Abschlussgewebe). Die Hängebirke verfolgte im Zuge der Evolution gleich mehrere Strategien des Schutzes vor Austrocknung. Im oberen Stammbereich (Ringelkork) sorgt das eingelagerte Betulin für die Reflektion der Sonneneinstrahlung und lässt den Baum dadurch weitgehend weiss erscheinen. Jedoch unterscheidet sich die Hängebirke auch von eindeutigen Vertretern eines Oberflächenperiderms wie Buchen, da sie den unteren Bereich ihres Stammes mit einer Borke zu schützen pflegt.

Diese beiden Bereiche verhalten sich bei der Entrindung eines gefällten Stammes mit einem Schälseisen oder einem Zugmesser sehr unterschiedlich. Der dünnhäutige Ringelkork im oberen Stammbereich und jener grösserer Astpartien lässt sich in Streifen zu ca. 50x300mm abschälen, wobei bedingt durch den geringen Schichtaufbau Teile des Kambiums mitgetrennt werden. Hinzu spielt beim Aufwand dieses Prozesses das Alter der Birke eine Rolle, da die Rinde älterer Exemplare wesentlich mehr von Lentizellen und anderen Auswüchsen durchsetzt ist, und sie sich daher brüchiger verhält. Die Entfernung der Borke im unteren Stammbereich ist nur mit grossen Aufwendungen zu bewerkstelligen. Sie ist dickwandig, grob und mit vielen vertikalen Faltungen und Unebenheiten durchsetzt. Um eine effiziente Schälung zu erzielen, ist es daher erforderlich, mit dem Schälseisen auf der Ebene des Kambiums zu bleiben, da ansonsten ein Raspeln der Borkenschichten einsetzt. In diesem Zusammenhang ist es ratsam, den Baum kurz nach der Fällung zu schälen, wenn die Schichten vom Flüssigkeitstransport noch feucht sind. Sobald sie austrocknen, verkleben sie zu einer Einheit und die Trennung generiert mehr Aufwand. Liegt die Birke jedoch über mehrere Monate im Freien, löst sich die Rinde im Verlaufe der Trocknung und Verwesung von alleine vom Kambium.



Abb. 15
Birkenstamm, Ringelkork
Paul-Klee-Zentrum, Bern
Foto, 07.08.2020

butterbaum
gesehen am 10.06.2020

de.wikipedia.org, Borke
gesehen am 10.06.2020

de.wikipedia.org, Rinde
gesehen am 10.06.2020

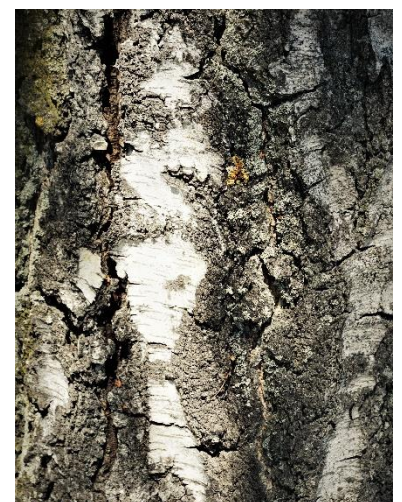


Abb. 16
Birkenstamm, Sockelborke
Paul-Klee-Zentrum, Bern
Foto, 07.08.2020

Die Rinde von Birken im Allgemeinen kann auch von den lebenden Bäumen abgezogen werden, ohne dass diese zwangsläufig Schaden nehmen, wie zum Beispiel die Papierbirken-Rindenernte erfolgt. Dabei wird mit einem Messer ein feiner vertikaler, in der Regel 60cm langer, Schnitt durch die Rinde gezogen, wobei darauf geachtet werden muss, diesen nicht zu tief zu setzen, um das Kambium und somit die Lebensader des Baumes nicht zu verletzen. An den Enden des vertikalen setzt man je einen horizontalen Schnitt von etwa 20cm an und beginnt die Rinde im unteren Bereich vorsichtig abzuziehen. Durch die Eigenschaft des Ringelkorks, zu erneuernde Bereiche abzustossen, ist es auch möglich für einen geringeren Rindenbedarf, beispielsweise für die Verwendung als Zunder, die gebildeten „Ringel“ abzuziehen. *Jürgen Junkmanns* erwähnt bei seinem Versuch zur Herstellung von Birkenpech, dass sich Birkenarten mit feineren Hautschichten wie die Moorbirke für die Entrindung am lebenden Baum besser eignen, als die vielfach rissige Rinde der Hängebirke.



Abb. 17
abgezogener Ringelkork
Wynigen
Foto, 28.03.2020

Ortner, 2015
S. 193

Junkmanns, 2001
S. 90

Die Methoden am lebenden Stamm bergen den Vorteil gegenüber der maschinellen Entrindung oder grossflächigen Schälung mittels Werkzeuge am gefällten Baum, dass die Ernte nur Kork beinhaltet, was das Gewinnungsverfahren von Birkenpech vereinfacht. Kork beinhaltet im Gegensatz zu den inneren Stammschichten bis zu 60% Rohteer, Substanzen wie Lupeol und Betulon, welche auch Bestandteile des Birkenpechs sind. Letztlich entscheidend für die Konsistenz des Pechs ist jedoch, wie bereits erwähnt, das Betulin, welches nur in den oberen Schichten der Borke in dünnwandigen Zellen in Form von Pulver eingelagert ist.

Junkmanns, 2001
S. 84

Lagerung

Im Gegensatz zu Hölzern mit Tiefenperiderm, welche vorteilhafterweise sofort entrindet werden, um den Unterschlupf von Schädlingen wie Borkenkäfern zu verhindern, belässt man in der Regel bei der Birke die Rinde bis zur Weiterverwendung des Holzes am Stamm. Sie schützt das sensible Holz vor Pilzbefall und Verfärbungen, und somit vor einer Entwertung. Um entwertende und schädigende Prozesse zu unterbinden, setzt man in modernen Sägereien mittlerweile auf die Berieselung der lagernden Stämme, infolgedessen der Erhalt der Rinde nicht mehr zwingend ist. Eine schwedische Studie schaffte die Erkenntnis, dass es für die Trinkwasserqualität sogar förderlich ist, Birken an einem bewässerten Lagerplatz zu entrinden. So stellte man bei Lagerplätzen mit nicht entrindeten Birken eine deutlich höhere Konzentration von Kohlenstoffen, Phosphor und Phenolen fest, welche durch die Berieselung in das Grundwasser gelangten.



Abb. 18
Lagerplatz
Kieswerk, Rumendingen
Foto, 28.03.2020

Zur Verwendung für die Herstellung von Birkenpech muss die Rinde völlig trocken sein. Restfeuchtigkeit beeinflusst sowohl die Effizienz des Verschmelzungsprozesses wie auch als Kondenswasser die Form des gewonnenen Birkenpechs. An der Sonne getrocknet krümmen sich die Rindenfragmente, worauf sich das unter Umständen mitgeschälte Kambium zu lösen beginnt. Durch die Entfernung dieser Kambiumspäne kann der Reinheitsgrad des Birkenpechs zusätzlich verbessert werden.

2.3.1.2 Verschmelzungsprozess

Birkenpech wird mittels einer *trockenen Destillation* gewonnen, die man Verschmelzungsprozess oder *Pyrolyse* nennt. Signifikant hierfür ist die Erhitzung unter Ausschluss von Sauerstoff, da dieser dazu führen würde, dass der Grundstoff mit all seinen Teilelementen verbrennen würde. Unter diesen Bedingungen beginnen sich organische Substanzen zu spalten, was zu mannigfaltigen Produkten führt, die verschiedene Aggregatzustände aufweisen. Bei der *Pyrolyse* von Birkenrinde entstehen Kohle, Teer und Gase, die je nach Herstellungsprozess voneinander getrennt auftreten. Abhängig vom Ausmass der zugeführten Hitze und Prozessdauer unterscheidet man zwischen *schnellen* ($>500^{\circ}\text{C}$, wenige Sekunden), *mittelschnellen* ($<500^{\circ}\text{C}$, mehrere Sekunden) und *langsamen Pyrolysen* ($<400^{\circ}\text{C}$, Minuten bis Stunden). Je nachdem, welches Endprodukt erzielt werden möchte, setzt man eines dieser Verfahren ein, wobei der Flüssigkeitsgehalt von der *schnellen* zur *langsamen Pyrolyse* sinkt und der Anteil der Feststoffe steigt, während sich die Gase prozentual stabil verhalten. Für die Verschmelzung von Birkenrinde zu Pech wird in der Regel eine langsame Destillation bei einer Energiezufuhr zwischen $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ angestrebt, wobei der Vorgang je nach Hitze und durch die beigezogenen Hilfsmittel definierten Verfahren unterschiedliche Zeitspannen und notwendige Temperaturen aufweist. Die zu erreichende Hitze ist mit verbranntem Holz problemlos zu bewerkstelligen, da dieses während der dritten, der Oxidationsphase 1000°C überschreiten kann.

Durch den Erhitzungsvorgang wird das in der Rinde enthaltene und nicht verdampfbare Betulin in kleinere Moleküle zerlegt. Dabei gasen leichtflüchtige aromatische Verbindungen aus, worauf es zu einer Polymerisationsreaktion (Kettenwachstumsprozess) kommt. Niedermolekulare Monomere verbinden sich zu Polymeren, was letztlich zu der haftenden Eigenschaft des Birkenpechs führt.

Aus der Nähe des Ausgangsstoffes über den benötigten Energieträger bis hin zum Endprodukt ergibt sich infolgedessen eine simple Kausalitätsverkettung, welche sehr früh in der Menschheits-Geschichte erkannt und genutzt wurde.



Abb. 19
Rinde in Schmelbehälter
vor Pyrolyse
Langetschwand Wyssachen
Foto, 23.04.2020

de.wikipedia.org, Pyrolyse
gesehen am 16.06.2020



Abb. 20
Rindenkohle in Schmelbehälter
nach Pyrolyse
Langetschwand Wyssachen
Foto, 23.04.2020

kaminfeuer
gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org, Destillation
gesehen am 16.06.2020

Ortner, 2015
S. 198-204

Dokumentationen allgemeiner Teer- und Pechherstellung reichen bis in die antiken Hochkulturen der Römer und Griechen zurück und sind durch Funde von Teergruben bis in die Bronzezeit ausreichend belegt. Bei letzteren handelt es sich um ausgehobene Erdmulden, in welchen Meiler gleich der Kohलगewinnung eingerichtet wurden und als Erzeugnis Teere hervorbrachten, welche weiterverarbeitet werden konnten. Jedoch ist es bisher nur möglich, eigens zum Auffangen dieser Teere eingesetzte keramische Gefäße, sogenannte Retorten, seit der Römerzeit nachzuweisen. Dieser Umstand wirft Fragen der Möglichkeiten auf, wie Kulturen vor mehr als 50'000 Jahren in der Lage waren, den Klebstoff akeramisch herzustellen. Versuche wie jener von *Friedrich Palmer*, welchem es gelang, eine kleine Menge durch Abkapseln der Rinde in einer Mulde mit einem darübergelegten Stein in der Feuerstelle auszuschwelen, liessen die Vermutung nahe, dass die Entdeckung zufällig, hernach jedoch willentlich nachgestellt ohne gezielte Temperaturkontrolle reproduzierbar wurde. Aus dem Mittelalter ist bereits die *Doppeltopf-Methode* (siehe Kapitel *Zweitopf-Verfahren*) bekannt, bei welcher beim Erhitzungsverfahren ein Behältnis mit dem „Reaktionsholz“ über einem Auffanggefäß für den entstehenden Teer liegt, und somit ein reineres Produkt gewährt. Im 17.Jh. setzte man Teere und Pech in eigens gemauerten Pechöfen um, welche in der Pechsiederei weiterverarbeitet wurden. Diese Prozedur wurde im 19.Jh. von einer gewerblichen in eine industrielle Umsetzung überführt, welche stark von der Bedeutung der Segelschiffahrt abhing. Im Zuge der Wandlung derer Antriebskraft und Materialisierung sowie dem Entdecken neuer künstlicher Werkstoffe ging die Bedeutung der Teer- und Pechherstellung verloren. Durch nach Überlieferungen nachgestellte und neu kombinierte Erkenntnisse entpuppten sich die zwei nachfolgend beschriebenen Verfahren als besonders effizient zur Herstellung von Birkenpech.

de.wikipedia.org, Pech
gesehen am 16.06.2020

Kurzweil/Weiner, 2013
S. 14

Kurzweil/Weiner, 2013
S. 14

Palmer, 2007
S. 75-83

de.wikipedia.org, Pech
gesehen am 16.06.2020

Eintopf-Verfahren

Aus der Ableitung des Herstellungsvorgangs heraus entwickelte der Mensch, Vermutungen nach, im Zeitraum seiner Sesshaftwerdung (ca.9000v.Chr.) ein Verfahren, bei dem die Birkenrinde in einem eigens dafür fabrizierten Gefäß der Heizquelle ausgesetzt wurde. Wie Experimente aufzeigten, ist es auch möglich Behälter aus vergänglichen Materialien wie Gänseeier, Kiefernrinde oder Leder zu verwenden. Durch die Verwendung solcher Gefäße gewinnt die Herstellungstemperatur an Einfluss. Der Vorgang muss durch eine *schnelle Pyrolyse* beschleunigt werden, damit das Gefäß nicht während des Verfahrens verbrennt. Um effizienter zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen empfiehlt sich jedoch der Einsatz von Metallbehältern, welche nicht nur einen mehrmaligen Gebrauch zulassen, sondern auch toleranter gegenüber externen Faktoren sind.

Kurzweil/Weiner, 2013
S. 14

Jedoch bleibt es ein Kurzverfahren von ca.15 Minuten, welches eine hohe Aufmerksamkeit erfordert, da bei zu niedriger Temperatur keine Umsetzung von Pech erfolgt und bei zu hoher, die Verbrennung der Rinde samt des Erzeugnisses erfolgt. Wie im Kapitel 2.4.1.2 *Eigenschaften* noch verdeutlicht wird, hat die Höhe der Temperatur und die Zeitspanne, welcher die Rinde ausgesetzt ist, einen bedeutsameren Einfluss auf die Konsistenz als beim nachfolgend beschriebenen Prozess. So gehen aus einem zu heissen wie auch zu langen Verfahren glasige wie brüchige Zusammensetzungen hervor.

Beim *Eintopf-Verfahren* rinnt der durch den Schwelprozess entstehende Teer auf den Grund des Behälters und vermischt sich dort unter Verdampfung mit dem Staub der verkohlten Rinde zu einem inhomogenen Brei, dem Birkenpech. Je nach dem Gehalt der Kohlenpartikel, der sich bei diesem Verfahren weder vermeiden noch kontrollieren lässt, verändert das gewonnene Produkt die von ihm erwünschten Eigenschaften und seine Verarbeitbarkeit. *Jürgen Junkmanns* machte bei seinen Versuchen die Entdeckung, dass wenn er die Masse in warmem Zustand kaute, sich diese Faktoren durch Filtration, Verfeinerung und Vermengung unter anderem mit Sputum erheblich verbessern und sich aus einem augenscheinlich missglückten Verfahren doch noch verwendbare Ergebnisse erzielen liessen. Durch diese Erfahrung bekämen die Zahnabdrücke auf manchen archäologischen Fundstücken neben Theorien der Mundhygiene eine erweiterte Dimension.

Weiner, 1988
S. 329-333

Junkmanns, 2001
S. 90

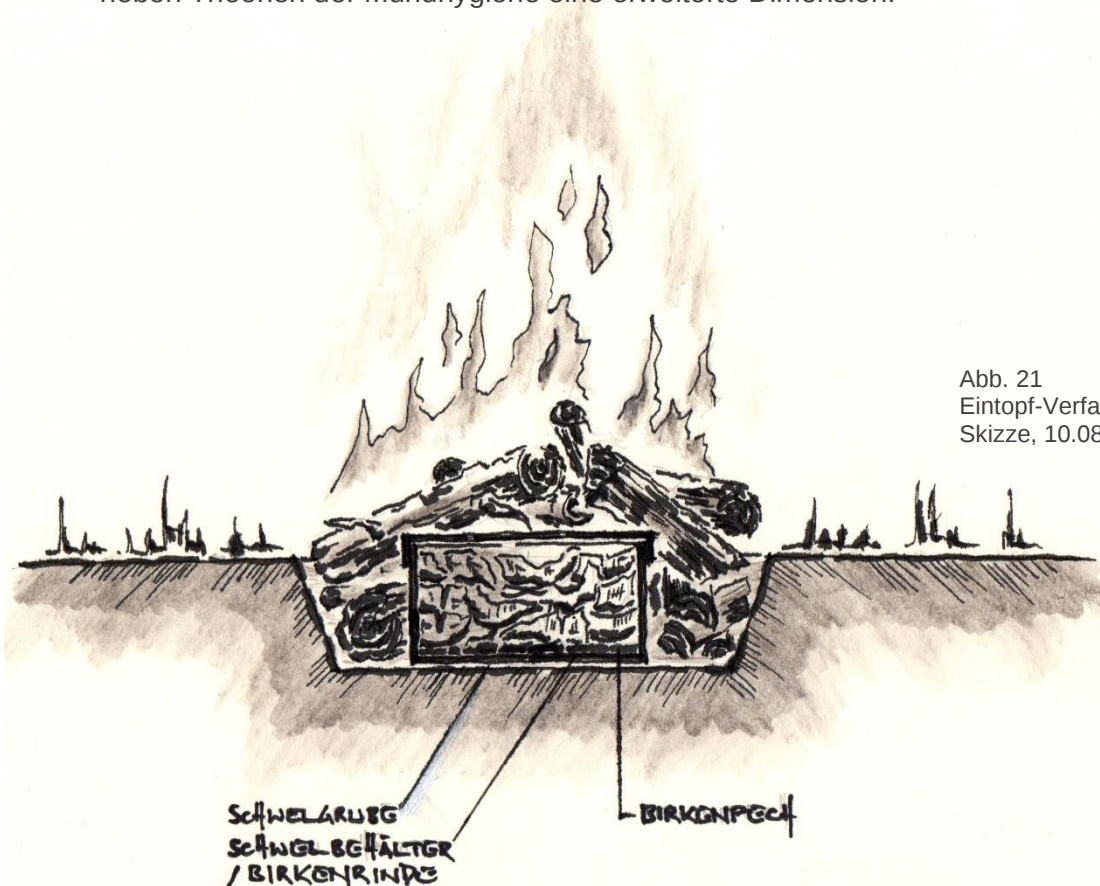


Abb. 21
Eintopf-Verfahren
Skizze, 10.08.2020

Zweitopf-Verfahren

Wie beim *Eintopf-Verfahren* ist es auch bei der Trennung von Schwelbehälter und Pech-Auffanggefäss möglich, im Rahmen einer *schnellen Pyrolyse* Behältnisse aus regenerativen Grundstoffen einzusetzen. Jedoch entspringen der aktuellen, industrialisierten Gesellschaft genügend Wegwerf-Erzeugnisse, um für Kleinversuche nicht eigens hergestellte Behälter fertigen zu müssen. Besonders geeignet hierfür sind wegen der homogenen Materialität, der wärmeleitenden Eigenschaften, der Temperaturreistenz und der Wiederverwendbarkeit Metallgegenstände. Für den Schwelbehälter können alte Chromstahl-Pfannen ebenso gut eingesetzt werden wie Sektkühler, Stahlblechdosen oder Stahlblech-Kessel, welche der Konservierung kunststoffvergüteter Anstrichstoffe dienen. Wie bereits erwähnt ist es von grosser Wichtigkeit, diese Behälter luftdicht zu verschliessen. Hierfür sind nebst Dreh- und Klemmverschlüssen auch eine Alufolie oder eine Lehm-Ummantelung geeignet. Vor dem Einschichten der Rinde muss dem Schwelbehälter ein Loch auf jener Behältnisseite, welche die Stellfläche bilden wird, in einer Grösse von rund 10mm zugefügt werden. Durch dieses Loch wird das destillierte Pech ausfliessen. Um dessen Reinheitsgrad zu erhöhen, kann das Behälterloch mit einem Filter in Form eines Maschendrahtes oder Ähnlichem versehen werden. Als Auffangbehälter kommen erprobterweise Konservendosen zum Einsatz, wobei diese wiederum in ein grösseres Exemplar gestellt werden können, um nacheinander stattfindende Pyrolysen und das Abfangen von Kondenswasser zu begünstigen.

Ortner, 2015
 S. 198-204
 Weiner, 1988
 S. 330
 Junkmanns, 2001
 S.90

Weiner, 1988
 S. 330
 Ortner, 2015
 S. 198-204

Ortner, 2015
 S. 198-204

Das Auffangbehältnis wird in einem folgenden Schritt in den Boden einer vorbereiteten Erdkuhle eingegraben. Vorteilhafterweise belässt man den oberen Rand des Behälters etwas über dem Erdniveau, um die Verschmutzungsgefahr des Inhalts zu reduzieren. Danach wird der Schwelbehälter mit dem Austrittsloch direkt über der Öffnung des Auffanggefässes gestellt und seitlich mit einer geringen Erdaufschüttung etwas stabilisiert. Anschliessend wird neben der Schwelgrube ein Feuer entfacht. Bei einsetzender Glutbildung kann das Brennholz in die Grube verlegt werden, wo weiteres hinzugefügt und zu einem den Schwelbehälter umfassenden Feuer ergänzt wird. Im Gegensatz zum *Eintopf-Verfahren* ist bei diesem Vorgehen eine *langsame Pyrolyse* bei 300-400°C ausreichend. Die Toleranz der Methode verzeiht nicht nur hitzebedingte (Überschreitungen) sondern auch temporale Abweichungen, da die austretende Substanz durch den tieferliegenden Auffangbehälter vor Überhitzung geschützt ist. Nach ein bis zwei Stunden ist der Prozess in der Regel abgeschlossen und der Auffangbehälter kann mit dem gewonnenen Teer aus der Schwelgrube geborgen werden. Im Schwelbehälter findet man hingegen die verkohlte Rinde vor, welche man zur Weiterverarbeitung des Pechs verwenden kann.



Abb. 22
 Schwelbehälter, eingegrabenes
 Auffanggefäss in Schwelgrube
 Langetschwand Wyssachen
 Foto, 23.04.2020

Für die Transformation des Birkenpechs ersten Stadiums (siehe Kapitel 2.4.1.2 *Eigenschaften*) in eine festere Form erwärmt man jenes langsam unter konstant niedriger Hitzezuführung. Die Flüssigkeit sollte dabei nur leicht Blasen bilden, auf keinen Fall schäumen, da sonst die Konsistenz des Endproduktes negativ ausfallen würde. Sobald das Pech sich zu einer dickflüssigen Masse wandelt, kann man damit beginnen, behutsam fein gemahlene Rindenkohle einzumengen. Das Pech sollte am Ende dieses Prozesses in abgekühltem Zustand knetbar sein, weder Klebrückstände noch Fäden bilden.



Abb. 23
Zweitopf-Verfahren
Skizze, 10.08.2020

2.3.2 Grundlagenverknüpfung

Aufgrund der Erfahrungen von Herstellungsversuchen experimenteller Archäologen, entschied sich der Verfasser für das *Zweitopf-Verfahren*, da hiermit konstantere Ergebnisse und die individualisierte Weiterverarbeitbarkeit erwartet werden konnten. Diese Vorgehensweise bewährte sich in der Folge, wurden doch ohne praktische Vorkenntnisse bereits im ersten Anlauf beachtliche Resultate erzielt und in zwei weiteren Prozessen eine genügende Menge von mindestens 2,5 Litern Birkenpech umgesetzt, die bevorstehenden Versuche zur Umsetzung von baulichen Massnahmen beruhigt angehen zu können. Das gewonnene Birkenpech hatte zudem weitgehend einen hohen Reinheitsgrad, mehrheitlich ohne Kondenswasser oder Grobpartikel. Dies vereinfachte den kontinuierlichen Aufbau und die Vergleichbarkeit der anschliessenden Weiterbearbeitung.

Anhand der dem Projekt zudienenden Birken und den umgesetzten Birkenpech-Erträgen konnten folgende Annäherungswerte errechnet werden:

Eine gewöhnliche Birke im Alter ab 30 Jahren kommt auf eine Stammlänge von ca. 20m und einen über den ganzen Stamm überschlagenen Durchmesser von etwa 25cm. Diese Birke liefert mehr als 15kg Birkenrinde und ca. 1,3Ster Brennholz (Astwerk nicht mitgerechnet). Für die Umsetzung von Birkenpech aus dem Erlös der errechneten Rinde werden davon ungefähr 0,75Ster Brennholz benötigt und ziemlich genau 1,5l der schwarzen Substanz gewonnen. Daraus resultiert die Erkenntnis, dass eine Birke rund das Doppelte an Brennholz beisteuert, um die sie umfassende Rinde in Pech zu wandeln. Die Pechmenge entspricht rund einem Zehntel des Gewichts an Birkenrinde.

In den Sägewerken wird die Rinde der Birke, nicht anders als denjenigen anderer Baumarten, als Abfallprodukt für (Biomassen-) Verbrennungsanlagen, und somit für thermische Energie genutzt. Projekte, welche die Kombination dieser beider sich bedingenden Verarbeitungszweige suchten, unterlagen in der jüngeren Vergangenheit dem Gigantismus und wurden, wenn realisiert nach kurzer Zeit unrentabel aufgegeben (siehe *Sägewerk Domat/Ems*). Doch gibt es mittelgrosse Holzverarbeitungs-Betriebe wie zum Beispiel die Firma *GLB* in Langenthal, die das anfallende Restholz zumindest für die Beheizung ihres eigenen Betriebes verwenden. Solche Anlagen könnten auch in Sägereien dazu verwendet werden, nach der Entrindung von Birken den Prozess der Pechgewinnung durch Sägespäne und Rinden anderer Hölzer zu gewährleisten, sozusagen als Nebeneffekt einer Wärmeerzeugung, die sowieso stattfindet. Die Öfen könnten entsprechend eingerichtet werden, dass das Herstellungsverfahren einen sehr geringen Aufwandsbedarf generiert und als Nebenerwerbszweig sogar als Stütze eines Unternehmens gereicht.

Nicht beschönigen lässt sich hingegen die Bilanz hinsichtlich des Ertrages im Verhältnis benötigter Mengen am Bau: Mit den gewonnenen 1,5l Birkenpech können anhand der Zahlen von Bitumen ohne Kohlenstaubzusatz 2,5m² gestrichen und mit der Zugabe von Kohlenstaub ca. 1m² Schaumglas-Platten (vollflächige und -fugige Verklebung) geklebt werden. Das bedeutet bei einem abzudichtenden Untergeschoss eines Einfamilienhauses (EFH), dass für die ungefähre Fläche von 120m² ohne Wärmedämmung 48 Birken verarbeitet werden müssten, während für ein bewohntes Untergeschoss deren 120 benötigt würden. Der finnische Grosskonzern *Metsä-Group* setzt im Jahr 34,7Miom³ Birkenholz um (Broschüre 2019), was in etwa der Anzahl durchschnittlich gewachsener Birken entspricht (ca. 0,98m³ Holz pro Birke). In diesen Verhältnissen gesehen könnten umgerechnet 52,05Miol Birkenpech hergestellt und diese für 86,75Miom² Schwarzanstrich (722'916 EFH's) oder 34,7Miom² Schaumglas-Plattendämmung (289'166 EFH's) verwendet werden.



Abb.24
Lagerplatz
Stadtgrün, Bern
Foto, 01.01.2020

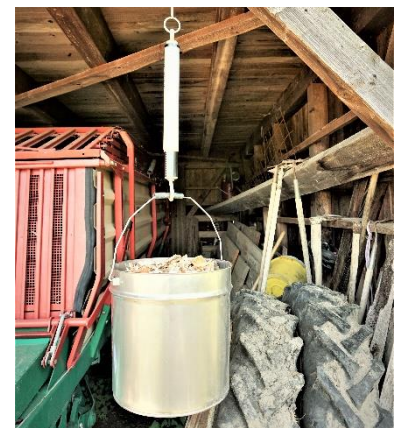


Abb.25
Messung Rindenquantität
Langetschwand, Wyssachen
Foto, 23.04.2020



Abb.26
Verschwellungsprozess
Langetschwand, Wyssachen
Foto, 23.04.2020

Die Zahlen verdeutlichen jedoch auch, welchen Wert Naturasphalt, entstanden aus einer über Millionen von Jahren andauernden, anaeroben Verwesung biologischer Masse, hat oder haben müsste. So wird der verkaufte „Luxusartikel“ in Unmengen den natürlichen Quellorten abgeschöpft oder in Form von Bitumen durch die Transformation von Erdöl nachempfunden und in unsere Siedlungs- und Wohnformen assimiliert.

metsäwood, 2020
gesehen am 27.05.2020



Abb.27
Ausbeute Birkenpech aus
10kg Birkenrinde
Langetschwand, Wyssachen
Foto, 23.04.2020

2.4 Zweckzuführung – die Anwendung

2.4.1 Grundlagenstudium

2.4.1.1 Zuordnung

Aufgrund der vorangegangenen Auseinandersetzung mit Literaturquellen und dem Herstellungsverfahren erachtet der Verfasser an dieser Stelle zur Definition der Konsistenzen der gewonnen Substanzen im Zusammenhang mit deren Weiterverarbeitung eine Notwendigkeit in der Eingrenzung und gezielteren Verwendung von Begriffen. So ist er beim Studium verfasster Texte fortlaufend über eine Vermengung der folgenden Bezeichnungen gestolpert:

Harz

Harze sind dickflüssige Ausscheidungen vornehmlich von Nadelbäumen, welche durch das Entweichen flüchtiger Lösungsmittel er härten und in dieser Form die Pflanze mit Wundverschlüssen vor dem Austrocknen bewahren. Auch Birkenpech enthält Harze, welche jedoch in chemischen Prozessen während der *trockenen Destillation* umgewandelt werden, weshalb die Eigenschaften der erhaltenen Substanz nicht mit jenen von Harzen verglichen werden können.

de.wikipedia.org, Harz
gesehen am 16.06.2020

Teer

Von Teer im herkömmlichen Sinne ist bei Erzeugnissen der *trockenen Destillation* die Rede. Gewonnen wird dieses aus dem Holz von verschiedensten Baumarten und kann neben medizinischem Einsatz zur Konservierung von Holz und als Schmierstoff für Räderwerke eingesetzt werden. Teer bleibt in einer öligen Konsistenz konstant flüssig. In Birkenpech sind je nach Verarbeitungsstadium bis zu 50% Teerstoffe enthalten, weshalb nicht selten denn auch von *Birkenteer* die Rede ist.

de.wikipedia.org, Teer
gesehen am 16.06.2020

Junkmanns, 2001
S. 84

Pech

Die Pechen unterscheiden sich von den Teeren durch deren Weiterverarbeitung mittels Einkochen oder Destillation. Pech ist in erhitztem Zustand zähflüssig und erstarrt beim Erkalten zu einem vermeintlichen Feststoff. Da es faktisch aus jedem Teer gewonnen werden könnte, sondert sich das Birkenpech von allen anderen rein durch seine Inhaltsstoffe, wie zum Beispiel Betulin, Betulone oder Allobetulinol ab. Über die Anwendungs-, Verarbeitungs- und Unterscheidungsmöglichkeiten von anderen Pechen stehen dem Autor keine Grundlagen zur Verfügung und können des Umfangs wegen an dieser Stelle nicht weiterverfolgt werden.

de.wikipedia.org, Pech
gesehen am 16.06.2020

Junkmanns, 2001
S. 84

In seiner Einführung über Klebstoffe in Bogenbau umschreibt der Klebstoffspezialist *Boris Pantel* die Eigenschaften von Birkenpech folgendermassen:

Pantel, 2012
S. 184

- Schmelzklebstoff, 1-komponentig, auf Polymerisation basierend
- hohe Haltbarkeit
- geringe Festigkeit

Diese Angaben täuschen über den Umstand hinweg, dass Birkenpech in den seltensten Fällen ein homogener Stoff mit konkreten Eigenschaften ist. Wie das Experiment der Wissenschaftler *Thomas Parnell* und *John Mainstone* beweist, ist Pech (keine Angaben über Herstellungsverfahren und Inhaltsstoffe) eine viskose Flüssigkeit, deren Fliessgeschwindigkeit sich nach der Umgebungstemperatur richtet. In einem abgeschlossenen Trichter erhärtet bildet es alle 8-12Jahre einen Tropfen. Wie die Archäologen *Dieter Todtenhaupt* und *Thomas Pietsch* in Ihren Untersuchungen herausfanden, weist Birkenpech gewonnen durch das *Zweitopf-Verfahren* in etwa die von *Parnell / Mainstone* beobachtete Konsistenz auf. In der Folge fanden sie aus der Ableitung der erhaltenen Zahnabdrücke aus archäologischen Funden heraus, dass die Formstabilität und einher das Nutzungsverhalten von Birkenpech durch die Beimengung von Kohlenstaub beeinflusst wird, ein Mischverhältnis, das beim *Eintopf-Verfahren* auf natürliche Weise entsteht. Mit einem Anteil von bis zu 70% Kohlenstaub wurde eine ideale Verarbeitbarkeit als Klebstoff und relativ hohe Formstabilität erreicht. Jedoch zeigten die eigenen Untersuchungen des Autors, dass mit Beimengungen in dieser Grössenordnung die Haftwirkung und die Wiederverwertbarkeit mittels Erwärmung abnehmen.

de.wikipedia.org,
Pechtropfenexperiment
gesehen am 16.06.2020

TodtenhauptPietsch, 2011
S. 205-212

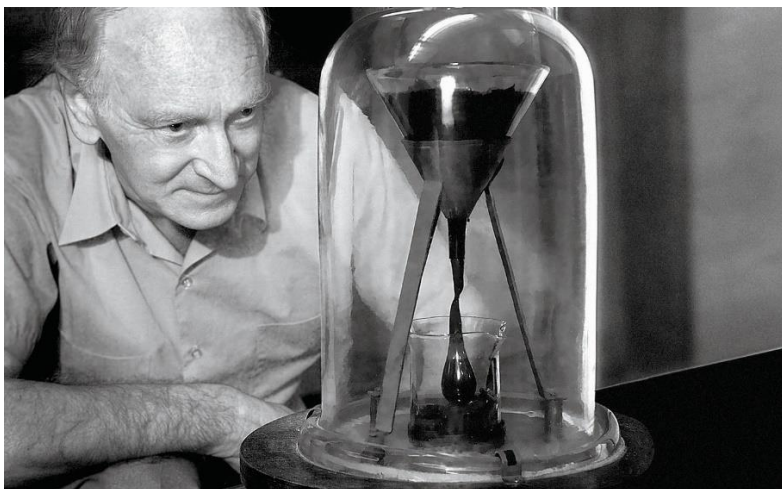


Abb. 28
John Mainstone und sein Experiment
folio.nzz.ch/2008/juli
gesehen am 16.06.2020

2.4.1.2 Eigenschaften

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass nicht nur die Grenzen von Harzen und Teeren zum behandelten Pech „fliessend“ sind, sondern dass es aus der Erfahrung her schwierig ist, von „Birkenpech“ als allgemeingültige Substanz mit konstanten Eigenschaften zu sprechen. Denn je nach willkürlich zugeführten wie unwillkürlich mitenthaltenen Stoffen unterschied sich mitunter durch die laienhaften Voraussetzungen jede Produktion in kleinen Details von einer anderen. Um die Umschreibung der weiteren Untersuchungen der Nachverfolgbarkeit wegen zu vereinfachen, führt der Autor drei Stadien der Verarbeitbarkeit ein, welche sich mit geringen Abweichungen vereinheitlichen liessen:

Stadium 1

Zusammensetzung:	ohne Zuschläge bis Mischverhältnis 6:1 (Birkenpech / Zuschlagstoffe)
Konsistenz >50°C:	flüssig
Konsistenz ca.20°C:	dick- bis zähflüssig, in reinem
Zustand immer feucht	
Konsistenz <10°C:	je nach Schichtdicke fest, unmerklich fliessend, leicht feucht
Verarbeitbarkeit (20°C):	mit Pinsel streichbar, Verhalten ähnlich wie Lack und Weissleim
Formstabilität (10°C):	nicht gegeben
Haftwirkung (10°C):	gegeben
Wiederverwendung:	gegeben
nach Erwärmung	
Spezielles:	härtet besser auf saugfähigen Gründen, dünn aufgetragen keine Tropfenbildung in vertikaler Fliessrichtung



Abb. 29
Birkenpech Stadium 1
Wynigen
Foto, 08.08.2020

Stadium 2

Zusammensetzung:	Mischverhältnis ab 6:1 bis 2:1 (Birkenpech / Zuschlagstoffe)
Konsistenz >50°C:	dick- bis zähflüssig
Konsistenz ca.20°C:	unmerklich fliessend, leicht feucht
Konsistenz <10°C:	fest, knetbar, trocken
Verarbeitbarkeit (20°C):	mit Spachtel auftragbar, Verhalten ähnlich wie Kitt- und Spachtelmasse
Formstabilität (10°C):	annähernd gegeben
Haftwirkung (10°C):	gegeben
Wiederverwendung:	gegeben
nach Erwärmung	
Spezielles:	durch die Beimengung von Kohlenstaub trotz hohem Feinheitsgrad eine körnige Klumpchenstruktur



Abb. 30
Birkenpech Stadium 2
Wynigen
Foto, 08.08.2020

Stadium 3

Zusammensetzung:	Mischverhältnis ab 2:1 bis 1:1 (Birkenpech / Zuschlagstoffe)
Konsistenz >50°C:	zähflüssig
Konsistenz ca.20°C:	knetbar, leicht feucht
Konsistenz <10°C:	fest, je nach Schichtdicke hart
Verarbeitbarkeit (20°C):	mit Kelle auftragbar, Verhalten ähnlich wie Zementmörtel und Lehm
Formstabilität (10°C):	gegeben
Haftwirkung (10°C):	gegeben
Wiederverwendung: nach Erwärmung	nicht immer gegeben
Spezielles:	durch die Beimengung von Kohlenstaub trotz hohem Feinheitsgrad eine körnige Klumpchenstruktur



Abb. 31
Birkenpech Stadium 3
Wynigen
Foto, 08.08.2020

Nach mehreren Testverfahren im Vergleich zum im Bauwesen eingesetzten Stoffen gelangt der Autor zum selben Schluss wie *Dieter Todtenhaupt* und *Thomas Pietsch*, dass es sich bei reinem Birkenpech um eine Art Bindemittel handelt. So ist denn die Vermengung mit Kohlenstaub eine naheliegende, aber nicht erwiesen zwingende Korrelation. Weitere Untersuchungen zur Verbesserung der allgemeinen Eigenschaften in diesem Zusammenhang sollen mehr Aufschluss generieren.

Todtenhaupt|Pietsch, 2011
S. 210

2.4.1.3 Aufwertung

Aus den Beobachtungen des Materialverhaltens heraus liess sich entnehmen, dass die Oberflächenspannung (Einheit MN/m), die Adhäsion, des reinen Birkenpechs sehr gross sein muss. Egal in welcher Menge und in welcher Art aufgetragen, bildet die Substanz sofort eine in sich geschlossene Masse mit deutlichen, runden Abkantungen, Tropfenbildung (was jedoch auch ein Ausdruck einer geringen Differenz der beiden Adhäsionen von Klebstoff und Füge teil sein könnte). Auch löst sich das Pech in allen drei Stadien unabhängig von der Beschaffenheit und der Materialität nie wirklich vom Untergrund. Die Bruchstelle liegt fast ausnahmslos in der Klebmasse selbst, woraus zu schliessen ist, dass Probleme der Festigkeit wohl in seinem inneren Zusammenhalt, der Kohäsion, liegen müssen. Je dicker die Substanz aufgetragen wurde, desto instabiler wurde das innere Gefüge und desto mehr überwog der Hang zum flüssigen Zustand. Bestätigt wird diese Annahme durch das Verhalten, welches mit dem Einmengen von Zuschlagstoffen erzielt wird. Auch der Kohlenstaub wird sofort vollständig umschlossen, richtiggehend „eingekugelt“. Dadurch wird die „innere Masse“ des Pechs aufgespalten und verteilt, was sowohl die Eigenschaft der Formstabilität wie auch diejenige der Austrocknung im Sinne der Nutzbarkeit positiv beeinflusst.

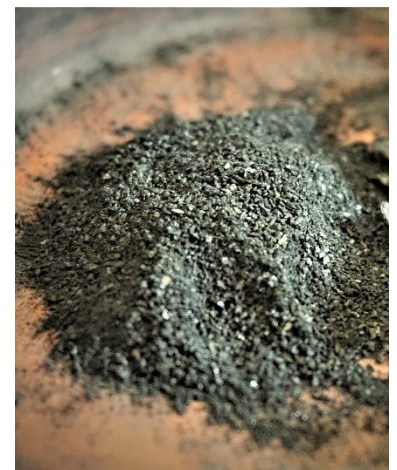


Abb. 32
gemahlene Rindenkohle
Wynigen
Foto, 08.08.2020

Mit zunehmender Beimengung des Kohlenstaubes wird die Materialstruktur körniger und dies obwohl bei den Versuchen des Autors darauf geachtet wurde, nur fein gesiebten Kohlenstaub zu verwenden. Diese Konsistenz ergibt nicht nur eine grobe Oberfläche, sondern erschwert in zunehmenden Masse schmale und feingliedrige Verklebungen. In dieser Beziehung stellt sich die Erfahrung von *Jürgen Junkmanns* bei seinen Kauversuchen als aufschlussreich heraus, da sich dadurch die Körnung verfeinern lässt. Davon abgeleitet wäre es durchaus denkbar, dass ein *Conchieren*, wie es bei der Herstellung von Schokolade üblich ist, die Konsistenz und einher die Verarbeitbarkeit von Birkenpech im zweiten und dritten Stadium massgeblich verbessert.

Junkmanns, 2001
S. 90

Laut *Boris Pantell* liegt bei der Klebeigenschaft von Birkenpech keine chemische sondern eine physikalische Wirkungsweise vor. Der Stoff bindet ähnlich eines Schmelzklebers gänzlich ohne Lösungsmittel ab. Durch diese Voraussetzungen sind seine Anziehungskräfte limitierter und stärker von der Oberflächenenergie des Trägermaterials abhängig. Dementsprechend verhält sich die Klebeverbindung besser, wenn neben dem Klebstoff Birkenpech sowohl das Bearbeitungs-Werkzeug wie auch die zu verklebenden Materialgründe vor dem Verarbeitungsprozess erwärmt werden. *Jürgen Weiner* erwähnt in diesem Zusammenhang in der Schweiz bei mehreren archäologischen Ausgrabungsstätten entdeckte neolithische Werkzeuge. Diese bestanden aus einem länglich, flachen Stein mit Birkenpech-Spuren an der Spitze, woran man die Funktion eines „Stössels“ oder „Lötkolben“ ableitete, welcher erhitzt die Verarbeitung des Birkenpechs erleichterte und auch ein notwendiges Nachbearbeiten in Form von Glättung ermöglichte.

Pantell, 2012
S. 182-183

Weiner, 1988
S. 332

Wie bei allen Klebstoffen ist zudem vor allem der Sauberkeit der zu verklebenden Füge-teile ein Augenmerk zu schenken. Der Klebgrund muss gänzlich von Staub und Fettschichten befreit werden. Ebenfalls spielt die Oberflächenbeschaffenheit für die Entwicklung der vollen Wirkung des Klebers eine entscheidende Rolle, indem sie weder zu glatt noch zu rau vorbereitet wird.

Pantell, 2012
S. 183-187

2.4.2 Grundlagenverknüpfung

Anhand der Beurteilung der Herstellungserzeugnisse und ersten Tests der Weiterverarbeitbarkeit ist eine Ableitung zulässig, dass die Annahmen, welche im Vorfeld dieser Arbeit bezüglich der Anwendungsbereiche getroffen wurden, mit gewissen Einschränkungen weiterverfolgt werden können. Die folgend angeführten Problemstellungen müssen beachtet und bewältigt werden.

2.4.2.1 Materialkonsistenz

Wie im vorangegangenen Kapitel festgestellt, eignet sich die Substanz Birkenpech in eingeschränkter Masse in seiner reinsten Form nur als Anstrichstoff. Der beschränkten Zeitverhältnisse wegen müssen Testverfahren mit verschiedenen Zuschlagstoffen ausgeklammert werden. Für die weiteren Versuche finden die Mischverhältnisse mit Kohlenstaub und den daraus definierten Stadien des Birkenpechs Anwendung (siehe Kapitel 2.4.1.2 *Eigenschaften*). Dies ermöglicht eine Übersichtlichkeit der Testergebnisse und gehaltvollere Schlussfolgerungen. Bei der Beimengung von Kohlenstaub muss jedoch beachtet werden, dass das Mischverhältnis nur im Ungefähren, also nicht auf das Gramm genau, eingehalten wird, da jedes Herstellungserzeugnis leicht unterschiedliche Voraussetzungen gerade bezüglich des Feuchtigkeitsgehalts aufweist, welcher unter den Voraussetzungen dieser Arbeit nicht exakt gemessen werden kann. Die vermeintlich „richtigen“ Konsistenzen der drei Stadien von Birkenpech beruhen bei den folgenden Versuchen letztlich auf den Erfahrungswerten und im Ermessen des Autors. Dabei richtet er sich nach seinem Augenmass und dem Rührverhalten der bearbeiteten Masse.

2.4.2.2 Temperatur

Das Fließverhalten von Birkenpech in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur schränkt die Einsatzmöglichkeiten wesentlich ein. Damit können Anwendungsbereiche, welche extremen Temperaturschwankungen und hohen Temperaturspitzen ausgesetzt sind, definitiv ausgeschlossen werden. Darunter fallen Dächer in jeglicher Form und sonnenbestrahlte Fassaden. Da aber in der der Untersuchung vorliegenden Region schon während den milden Jahreszeiten Umgebungstemperaturen bis zu 20°C erreicht werden, beschränken sich potentielle Einsatzbereiche generell auf subterran liegende Bauteile. Wie die *Abbildungen 33 und 34* über den Tages- und Jahresverlauf von Bodentemperaturen illustrieren, verlaufen die Temperaturen in Abhängigkeit zur fortschreitenden Messtiefe in zunehmendem Masse ausgeglichener. Zudem übersteigt die Temperatur im gemässigten Klima bereits in einer geringen Tiefe von gerade mal 5cm kaum Werte über 15°C, was die Formstabilität des Birkenpechs weitgehend gewährleisten würde.

2.4.2.3 Geruchsemission

Theoretisch wäre es denkbar, dass Birkenpech in seiner dichtenden Funktion auch in Nasszellen zum Einsatz gelangt, da hier Temperaturen stabil und entsprechend niedrig reguliert werden könnten. Ein Aspekt, welche auch die Lagerung von Versuchserzeugnissen dieser Arbeit erschwerte, verunmöglicht nahezu eine derartige Option: Birkenpech sondert in einer hohen Konzentration und konstanter Weise einen anfänglich wohlriechenden, über längere Zeiträume jedoch die Sinne überfordernden, würzigen Duft ab. Dieser ähnelt jenem von Rauchküchen und deren schmackhaften Erzeugnissen. Doch nach längerer Exposition, nimmt der Geruchssinn feinere Duftnuancen nicht mehr wahr, die Nase ist überreizt und beginnt mit Sekretbildung, und in der Folge nehmen Übelkeit und Kopfschmerzen zu. Die genauen Ursachen, vor allem chemischer Art, sind dem Verfasser nicht bekannt, jedoch kann anhand der Versuchsergebnisse eine explizite Empfehlung abgegeben werden, dieses Produkt keinesfalls im Innenraum zu verwenden oder zu lagern.

de.wikipedia.org, Bodentemperatur
gesehen am 08.07.2020

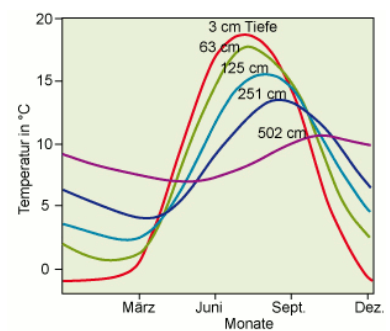
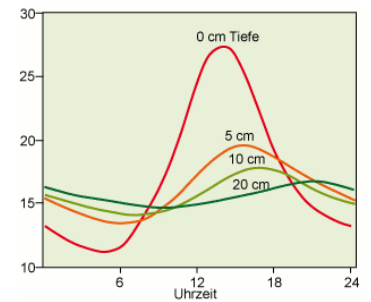


Abb. 33 / 34
Tagesverlauf / Jahresverlauf
de.wikipedia.org, Bodentemperatur
gesehen am 08.07.2020

2.4.2.4 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Da es sich bei der Herstellungsmethodik von Birkenpech, der *Pyrolyse*, um eine unvollständige Verbrennung handelt, muss davon ausgegangen werden, dass dieser Stoff polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) enthält bzw. abgeben wird. Diese PAK sind Moleküle, welche aus mindestens zwei Benzolringen bestehen (*siehe Abbildung 35*), die sich im Körper von Lebewesen zu reaktiven Epoxiden wandeln, in dieser Form mit DNA-Molekülen reagieren und diese somit verändern. Aus diesem Grund stehen jegliche Ausprägungen von PAK im Verdacht, durch Erbgutveränderungen Krebsleiden zu fördern oder zu erzeugen.

PAK sind schwerflüchtig und werden von den Trägersubstanzen über Jahrzehnte hinweg, meist durch deren Alterung an die Umgebung abgegeben. Dort binden sie sich an Staub- oder andere Partikel und gelangen ins Trinkwasser. Jedoch bildet die Aufnahme von PAK über die Flüssigkeitszufuhr die geringste Quelle für den Menschen. Auch über die eingeatmeten Staubpartikel und vor allem über die Konsumation von Raucherwaren können die schädlichen Moleküle in unseren Organismus gelangen und sich dort im Fettgewebe anreichern. Die Hauptzufuhr von PAK geschieht jedoch über die Nahrung, welche wir in Form von Getreiden, geräucherten oder gegrillten Fleischprodukten, pflanzlichen Ölen und Fetten, Tee und Kaffee zu uns nehmen.

Im Bauwesen stellen PAK-haltige Stoffe vornehmlich in Altbauten eine Schadstoff-Quelle dar, wo sie als teerversetzte Kleber, Dachpappen, Kork- und Schüttdämmungen als Feuchtigkeitsschutz Einsatz fanden. Da Birkenpech in eine ähnliche Kategorie fällt, empfiehlt es sich schon nur aus diesem Grunde, dieses nicht innerhalb des Gebäudes einzusetzen. Inwiefern PAK-Moleküle in Zusammenhang mit den festgestellten Geruchsemissionen stehen, liegen dem Verfasser keine Angaben vor. Fakt ist aber, dass PAK-haltige Produkte nach wie vor zum Feuchtigkeitsschutz im Aussenraum eingesetzt werden. Darunter fallen neben allen bituminösen Baustoffen (unter anderem Strassenasphalt) auch Holzschutz-Anstriche für Obstplantagen-Konstruktionen und Eisenbahnschwellen. In welchem Verhältnis die von Birkenpech abgegebene Menge sich zu den erwähnten Produkten unterscheidet, muss von Fachpersonen näher untersucht werden, ebenso die Möglichkeiten, die Anreicherung von PAK im Herstellungsverfahren zu minimieren und die Abgabe bei der Verarbeitung mit Bindestoffen einzuschränken. Auf jeden Fall soll nicht zuletzt aus diesem Grunde der Entsorgung oder Wiederverwertung von Birkenpech ein bedeutsames Augenmerk geschenkt werden.

BAG, 2016
Umweltbundesamt, 2016

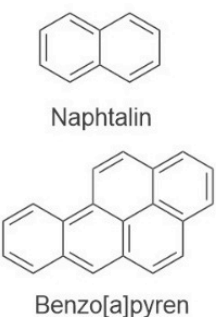


Abb. 35
Formen von PAK
BAG, 2016

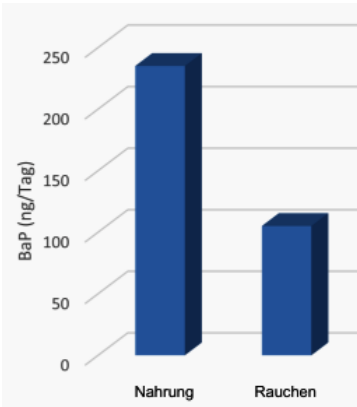


Abb. 36
Hauptaufnahmequellen von PAK
BAG, 2016

2.5 Zweckerfüllung – das Einsatzverhalten

2.5.1 Grundlagenstudium

2.5.1.1 Rahmenbedingungen

Unter den gegebenen Umständen werden in der Folge Versuche mit dem Birkenpech eingeleitet, welche Resultate aus den Anwendungen als Kleber, Dichtmasse und Anstrichstoff spezifischer erproben sollen. Diese werden aufgrund von erstellten Mustern gewonnen, welche folgende Funktionen simulieren:

- Bitumenersatz: Kleber für Schaumglasplatten an Betonaussenwänden (vertikale Verwendung) im subterranean Bereich (Untergeschoss)
- Silikonersatz: Fugendichtmasse bei äusseren Fugen von Gebäudeteilen im subterranean Bereich (Untergeschoss), z.B. Dehnungs- und Anschlussfugen zwischen Betonelementen, bei Fenstern Anschluss- und Materialfugen usw.
- Ersatz kunststoffvergüteter oder bituminöser Beschichtungen: Dichtungsanstriche für horizontal gelegene beschattete Sperrschichten oder bei Gebäudeteilen im subterranean Bereich (Untergeschoss), z.B. Betonaussenwände, Unterseite von auf Sockeln gelagerten oder direkt im Erdreich verankerte, hölzerne Konstruktionselemente

Die erstellten Muster sollen Auskunft über das Verhalten von Birkenpech bezüglich der nachstehenden Aspekten der Funktionserfüllung generieren:

- Festigkeit / Formstabilität
- Haftvermögen
- Dichtungsverhalten

Gemessen werden diese Aspekte über den Zeitraum von einem Monat unter konstanten Temperaturverhältnissen zwischen 15-18°C (unbeheiztes Untergeschoss).

Ressourcenmangel bezüglich Zeit, Know-how und Gerätschaften lassen keine Untersuchungen oder konkreten Erkenntnisse diverser weiterer, relevanter Eigenschaften zu. Folgend beispielhaft einige repräsentative Ausstände:

- Dichte
- Brandverhalten
- Dampfdiffusionswiderstand
- Beständigkeit gegen Säuren und Laugen

Abb. 39
Musterkonzeption Bitumenersatz 2
Skizze 13.02.2020

Beobachtungen / Messungen

Muster 1: Sofern die richtige Birkenpech-Konsistenz (*Stadium 2-3*) gefunden wird, haften die Schaumglas-Platten ohne Probleme aneinander und lassen sich auch bei geringen Kontaktflächen miteinander verbinden. Bei zuträglichen Temperaturen von ca. 15°C erstarrt der Kleber mit einer Schichtdicke von 5mm nach rund 24 Stunden und härtet nach etwa 2-3 Tagen aus. Sollte danach noch eine Notwendigkeit bestehen, kann der Klebstoff mit einem warmen Gegenstand nachbearbeitet und so die Fuge zu Beispiel besser versiegelt werden. Ab dem Zeitpunkt der Aushärtung verhält sich die Fuge formstabil und erweicht bei gleich bleibender Temperatur nicht mehr. Der vierwöchige Wassertest ergab keinen nennenswerten Wasserverlust, der sich einzig in Form von Kondenswasser an der Deckscheibe bildete.

Muster 2: Wie bei *Muster 1* verhielt sich der Klebstoff auch im Verhältnis zwischen Schaumglas-Platte und Zementstein ausserordentlich vorteilhaft. Schon nach wenigen Stunden sind die Dämmplatten kaum mehr zu verrücken. Wie bereits bei voran gegangenen Versuchen verbessert die poröse, saugfähige Oberfläche des Zementsteins sowohl die Haftung wie auch den Aushärtungsprozess. Egalitär zu *Muster 1* kann das hervorgequollene Birkenpech zwischen den Fugen nachbearbeitet werden, was jedoch nicht notwendig ist, denn sofern keine Ecke gebildet wird, wird jenes noch während des Fügevorgehens verstrichen und erzeugt in der Folge eine durchgehende Geschlossenheit.

2.5.1.3 Silikonersatz – Fugendichtmasse

Konventionelles Verfahren

Fugendichtmasse hat zur Aufgabe, die Stelle, an welcher zwei Bauteile gleicher oder unterschiedlicher Materialität aufeinandertreffen, so zu verbinden, dass das Durchdringen dieser Fugestelle von Substanzen flüssiger oder gasförmiger Art erschwert bis verhindert wird. Dabei wird ein unterschiedliches Ausdehnungs- oder Stauchungsverhalten der beiden Bauteile vorausgesetzt, was eine stetige Formveränderung der Verbindungsmasse zur Folge hat.

Anforderung an Dichtungsmasse

Die Dichtungsmasse ist in vielerlei Hinsicht beansprucht. Neben der Formveränderung, die Ausdehnung und Stauchung der Fügeteile verursachen, sollte sich die Substanz gerade bei einem voneinander Wegarbeiten nicht von deren Gründen lösen und keine Risse bilden. Fugendichtmassen weisen verschiedenste Zusammensetzungen auf, lassen sich wesentlich im Bauwesen in Acryl- oder Silikondichtstoffe unterteilen, wovon sich längerfristig jedoch nur die Silikon-haltigen elastisch und wasserundurchlässig verhalten. Sie sind in der Regel einkomponentig und vulkanisieren durch eine Reaktion mit Luftfeuchtigkeit.



Abb. 40
Muster Bitumenersatz 1
Wynigen
Foto, 08.08.2020



Abb. 41
Muster Bitumenersatz 2
Wynigen
Foto, 08.08.2020

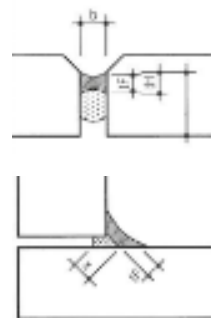


Abb. 42
Stoss-, und Winkelfuge
Schulungsunterlagen
Konstruktionslehre Bauberufe

de.wikipedia.org, Dichtstoffe,
Fugenabdichtung, Silikone
gesehen am 21.07.2020

Musterkonzeption

Um den Ersatz von Silikon in Betracht ziehen zu können, müssten anhand des Musters Elastizität, Formstabilität, Haftung und Dichtigkeit überprüft werden können. Während das Verhalten von Birkenpech bezüglich Haftung und Dichtigkeit relativ einfach zu veranschaulichen ist und bereits anhand der Musterkonzeption *Bitumenersatz* (Muster 1) ablesbar wird, wäre die Elastizität nur unter komplexen Umständen umzusetzen und nachzuweisen. Dies rührt vor allem daher, dass die Variable „Elastizität“ nur im Zusammenspiel mit Formstabilität und Haftung unter dem Nachweis der erhaltenen Dichtigkeit sinnvoll ist, was den Rahmen dieser Untersuchung sprengen würde. Daher liegt bei dieser Musterkonzeption der Fokus auf der Formstabilität in Abhängigkeit der Fugenbreite. Letztlich entscheidet auch hier die Dichtigkeit über das Taugen in diesem Einsatzbereich, weshalb das Material des Fügeteils bereits Wasserdichtigkeit gewährleisten muss. Um das Spektrum des Materialeinsatzes in dieser Hinsicht gegenüber den anderen Musterkonzeptionen zu erweitern und das Verhalten von Birkenpech genauer beobachten zu können, basiert die Versuchsanlage aus zusammengefügt Glasscheiben, welche in unterschiedlichen Abständen zueinander gestellt, verschiedenartig zu dichtende Fugen aufweisen. Als Dichtmassen-Hinterstopfung von breiten Fugen wird Schafwollvlies eingesetzt, da dieses in der Lage ist, flüchtige chemische Verbindungen wie Formaldehyd an sich zu binden. Das so entstandene Behältnis soll gleich dem Bitumenkleber-Ersatz-Muster mit Wasser gefüllt und bedeckt werden.

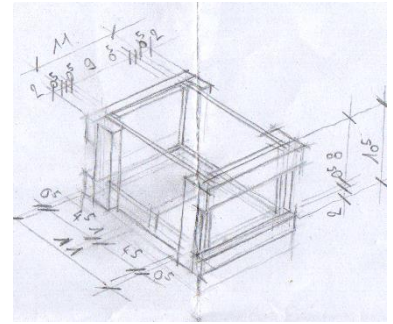


Abb. 43
Musterkonzeption Silikonersatz
Skizze 13.02.2020

Beobachtungen / Messungen

Bei dieser Musterausarbeitung festigt sich die Erkenntnis aus ersten Tests, bei denen zu beobachten war, dass ab einer gewissen Schichtdicke das Birkenpech nur schlecht aushärtet. Dieser Umstand bereitete bei liegenden Fugen keine nennenswerten Schwierigkeiten. Stossfugen bis zu 3mm ohne, bis zu 10mm mit Hinterstopfung sind gut zu bewerkstelligen. Dies ist bei vertikalen Fugen nicht der Fall. Während Silikon in senkrechten Fugen bis zu 5mm ohne Hinterstopfung vollflächig haften bleibt, verliert das Birkenpech seine Form. Selbst beim Begrenzen der Fugentiefe besteht noch die Tendenz zur Verformung, indem die Masse der Schwerkraft folgend im oberen Bereich durch nachrutschen die Fuge frei gibt und im unteren in der Folge „ausbaucht“. Es zeigt sich auch deutlich, dass die Eigenschaften des Birkenpechs sich für Winkelfugen besser eignen als für Stossfugen.

Eine zusätzliche Erschwernis ist das Fügen von Glas, auf welchem der Klebstoff praktisch nicht zu erhärten scheint und nur eine beschränkte Haftwirkung zeigt. Es erweist sich hierbei als noch komplizierter die Waage zwischen der Klebwirkung des *Stadiums 1* und der Formbeständigkeit des *Stadiums 3* zu finden. Nichts desto trotz dichtet das Birkenpech auch unter diesen Umständen verlässlich.



Abb. 44
Muster Silikonersatz, Setzverhalten
Wynigen, Foto, 08.08.2020



Abb. 45
Muster S.-Ersatz, Wassertrübung
Wynigen, Foto, 08.08.2020

Der Einsatz von Glas ermöglichte die Beobachtung, dass sich das Wasser unter dem Einfluss des Birkenpechs zusehends trübte.

2.5.1.4 Ersatz kunststoffvergüteter / bituminöser Beschichtung - Dichtungsanstrich

Konventionelles Verfahren

Dichtungsanstriche werden in der Regel dort angebracht, wo Bauteile temporär oder dauerhaft einer ausgeprägten Feuchtigkeit ausgesetzt werden. Im Erdreich stehende Bauteile werden normalerweise selbst aus gegen Feuchtigkeit wenig empfindlichen Werkstoffen wie zum Beispiel Beton hergestellt. Doch selbst Beton nimmt konstanter Nässe ausgesetzt Schaden, doch ist vor allem das Innenraumklima infolge durchfeuchteter Bauteile in vielerlei Hinsicht gefährdet. Aus diesem Grund überzieht man deren Kontaktfläche mit einem meist mehrlagigen Schutzanstrich. Die günstigste Variante hierfür sind kunststoffvergütete Bitumenanstriche (*Schwarzanstrich*), welche in ähnlicher Form auch bei der Aussendämmung eingesetzt werden. Auf horizontalen oder zum Teil sichtbaren Flächen wird in zunehmendem Mass auch auf eine Flüssigkunststoff-Beschichtung gesetzt. Der Schutz von saugkräftigen Materialien wie Holz ist besonders delikat, da die erwähnten Schutzanstriche auch dampfdicht sind, und somit die Grundfeuchtigkeit des Werkstoffes einschliessen. Deshalb setzt man bei der Imprägnierung von Holzbauteilen weniger auf absolute Dichtigkeit sondern auf die Reduktion der Wasseraufnahme und auf die Bekämpfung der zerstörenden Folgeerscheinungen von Fäulnis. Diese Methodik hat ihren Preis, denn die Toxizität der eingesetzten Mittel richtet sich unspezifisch gegen die ganze Biosphäre.

de.wikipedia.org,
Holzschutzanstriche
gesehen am 26.06.2020

Anforderung an Schutzanstriche

Der Anstrich darf sich nicht in Wasser lösen und muss gänzlich austrocknen. Im erdberührten Einsatzbereich spielt die UV-Beständigkeit eine untergeordnete Rolle, vielmehr sollte er eine Plastizität erhalten, um physikalische Veränderungen des Trägermaterials durch thermische und hygroskope Einflüsse ausgleichen zu können. In diesem Sinne sollte auch der Anstrich selbst eine gewisse Temperaturbeständigkeit aufweisen. Die Palette der Zusammensetzungen reicht von einkomponentigen, mit Lösungsmittel abbindenden Bitumenemulsionen bis zu mehrkomponentigen, kunststoffvergüteten Produkten.

2.5.2.2 Auswertung Untersuchung *Silikonersatz*

Das Erstellen eines Musters dieser Art benötigte viel Geduld und Erproben. Die Schwierigkeiten im Umgang mit Birkenpech bezüglich der dem erforderlichen Verhalten entsprechenden Konsistenz und der Umgebungs- und Verarbeitungstemperatur wogen in diesem Rahmen noch ausgeprägter. Auch das Trägermaterial und die Wahl der Hinterstopfung entpuppten sich als nicht unwesentliche Faktoren. Nichts desto trotz gelang es letztlich doch, dichte Fugen zu erzeugen. Erkenntnisse leiten sich vornehmlich aus der zu erstellenden Fugenbreite und der Art der Hinterstopfung ab. Die Fugenbreite sollte 10mm nicht überschreiten und die Hinterstopfung möglichst rau und faserig, die Schafwolle hat diesbezüglich gute Dienste geleistet, gewählt werden. Unter den gegebenen Umständen ist der Klebstoff in diesem Einsatzgebiet wenig empfehlenswert. Selten angelegte subterrane Dehnungsfugen betreffen meist Gebäudegrössen, welche den Einsatz von Birkenpech unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit in Frage stellen. Zudem betragen Fugen dieser Ordnung in der Regel Masse bis zu 20mm. Die Anwendung an untergeschossigen Fenstern in Lichtschächten schmälert die Gefahr der „Überwärmung“ zu wenig, so dass jederzeit mit einem Ausfliessen der Dichtmasse gerechnet werden muss. Und letztlich stimmt in diesem Zusammenhang auch die beobachtete zögerliche bis kaum einsetzende Aushärtung auf der Glasoberfläche nicht zuversichtlich.

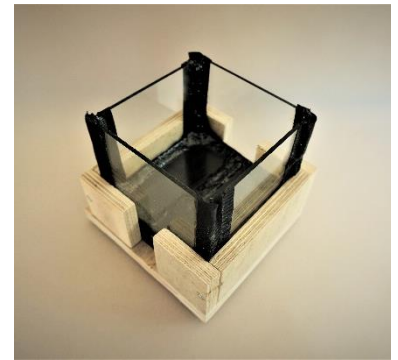


Abb. 50
Muster Silikonersatz
Wynigen
Foto, 08.08.2020

2.5.2.3 Auswertung Untersuchung *Ersatz kunststoffvergüteter / bituminöser Beschichtung*

Das Testverfahren mit Birkenpech als Anstrichstoff liess bereits durch die nachgewiesenen Anwendungen in vergangener Zeit wie auch durch die ersten Verarbeitungsversuche positive Ergebnisse erahnen. Saugfähige Gründe werden durch die zähflüssige Masse effizient versiegelt. Hierbei stehen einzig Fragen bezüglich der Dauerhaftigkeit im Raum, da Birkenpech unter Erwärmung leicht verflüssigt, ist zu erwarten, dass es über einen längeren Zeitraum stetig tiefer in den beschichteten Grund nachzieht. Dadurch wird zwar das zu schützende Bauteil insgesamt feuchtigkeitsresistenter, doch bestehen Zweifel, dass die Schutzschicht auf der Oberfläche noch geschlossen genug auftritt. Auch wird der Bauteil dadurch in gesteigertem Masse mit den negativen Eigenschaften wie dem PAK-Gehalt und der Geruchsemission durchsetzt, was seine künftige Wiederverwertbarkeit einschränken wird.



Abb. 51
Muster Ersatz kunstst. /
bituminöser Beschichtung
Wynigen
Foto, 08.08.2020

2.6 Zweckentbindung – der Rückbau, das Rezyklieren, die Entsorgung

2.6.1 Grundlagenstudium

2.6.1.1 Beständigkeit

Allein die prähistorischen Funde, wie jene beim Tisenjoch, in Prêles oder in Risch-Oberirisch, belegen, dass Birkenpech-Erzeugnisse unter gewissen Bedingungen, in der Relation des Menschen ein schier endloses Dasein fristen. Bedeutsamer Weise vermögen sie den ihnen zugedachten Zweck auch über Jahrtausende hinaus zu erfüllen, sofern die Fügmaterialien des entstandenen Gegenstandes zwischenzeitlich nicht verrottet sind. Die unterschiedlichen örtlichen Verhältnisse der vorangehend erwähnten Fundorte, lassen darauf schliessen, dass für die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit nur die Notwendigkeit einer minimalen Bodenfeuchtigkeit und abgeflachte Temperaturverläufe vorherrschen sollten. Andersrum formuliert, lässt sich folgern, hohe Temperaturen und UV-Bestrahlung verursachten eine Zersetzung der Substanz, und katalysierten eine Anhaftung an andere Stoffe und einher eine fortwährende Zerstreuung.

Fleckinger, 2012

erz.be, 2017

Junkmanns, 2001
S. 86-87

Die Induktion der optimalen Entfaltung der Eigenschaften von Birkenpech im subterranean Milieu wird mit dieser Erkenntnis um eine Facette reicher. Gerade mit der aussichtsreichen Verwendung in Kombination mit Schaumglasplatten ist das Überdauern eines hypothetischen Rohbauzyklus von fünfzig Jahren garantiert und wirkt sich positiv auf die Ökobilanz des Baustoffes aus. Sollte die ursprüngliche funktionale Ausrichtung eines Gebäudes nicht grundlegend über den Haufen geworfen werden, kann davon ausgegangen werden, dass eine Perimeterdämmung aus einem Schaumglas-Birkenpech-System über mehrere Generationen hinweg seine Aufgabe zufriedenstellend erfüllen könnte.

2.6.1.2 Rückbau

Wie bei allen Kleb-, Dicht- und Anstrichstoffen besteht deren Nachteil darin, sich mit den Gründen, auf denen sie aufgetragen wurden, zu verweben und damit faktisch untrennbar mit jenen zu Verbundsystemen zu verschmelzen. Dies erschwert, wenn nicht verunmöglicht, eine saubere Trennung beim Rückbau oder macht diesen enorm aufwendig. Die Entfernung des Verbundsystems vom Trägermaterial allein wäre mittels Wärmezufuhr zu bewerkstelligen. Die Hinterlassenschaften der Kleber auf saugfähigen Gründen bleiben bestehen und irreversibel. Diese Problemstellungen sind bei jeder Art und Weise der Anwendung von Birkenpech zu erwarten.

2.6.1.3 Rezyklieren

Reines Bitumen kann theoretisch erhitzt und in flüssigem Zustand von Schaumglas-Platten oder anderen verarbeiteten Werkstoffen getrennt werden. Jedoch darf bezweifelt werden, dass sich der Kleber mit den Zuschlagstoffen, welcher von den Herstellern empfohlen wird, ähnlich verhält. Der Rückbauprozess ist zudem in der Praxis selten ressourcenorientiert und sorgfältig, woraus abgeleitet werden kann, dass eine erhebliche Verunreinigung zu erwarten ist, welche die Wiederverwertbarkeit der voneinander getrennten Materialien sehr aufwendig machen. Noch sensibler solcher Verunreinigungen gegenüber dürfte sich wegen der Temperaturanfälligkeit und dem davon abhängenden Aggregatzustand das Birkenpech verhalten. Da es schon während dem Rückbau verflüssigt sättigt es sich mit Staubpartikel und ist kaum mehr zu extrahieren. Sollte für die Trennung zugeführte Wärme eingesetzt werden, besteht zudem die Gefahr der Überhitzung, welche unweigerlich die Qualität und somit die Verhaltenseigenschaften zum Nachteil verändern. Wie beim Rückbau erwähnt ist auch damit zu rechnen, dass sich der Einsatz von Birkenpech negativ auf die Verwertbarkeit der Umgebungsmaterialien auswirkt. Auf Beton aufgetragen dürfte dieser mit Birkenpech-Rückständen nicht ohne weiteres wieder in neu zu verwendende Mischungen eingebracht werden.

2.6.1.4 Entsorgung

Infolge der erschwerten Rezyklierung sind das Birkenpech bzw. seine Rückstände im Verbund im Kontext der aktuellen Umgangsform mit Bauschutt prädestiniert, entsorgt zu werden. Bituminöse Stoffe werden aufgrund des niedrigen PAK-Gehaltes auf Deponien des Typs B entsorgt. Die unbestimmte Konzentration von PAK-Verbindungen in Birkenpech könnte jedoch dazu führen, dass dieses ähnlich wie der einstmals reichlich eingesetzte Steinkohleteer in Deponien des Typs E verwahrt werden muss, da bei hohen Temperaturen die schwer flüchtigen Verbindungen, darunter PAK, leichter in Luft und Wasser emigrieren. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) reorganisiert derzeit die Entsorgungsstrategien, weshalb Bauabfälle mit einem hohen PAK-Gehalt ab dem Jahre 2026 nicht mehr deponiert sondern thermisch entsorgt werden.

BAFU, 2008
gesehen am 27.07.2020

2.6.2 Grundlagenverknüpfung

In Anbetracht der schwierigen Trennung von Verbundsystemen wäre es sinnvoller, den Einsatzbereich von Birkenpech vor Allem als Kleber, wo es in massgeblichen Schichten aufgetragen wird, zu konzentrieren. So gesehen erwiese sich ein gezielter, auf die Wiederverwertbarkeit ausgerichteter Rückbau als lohnenswerter. Interessanterweise ruhen sich gerade Schaumglas-Hersteller bei der Ökobilanzierung ihres Produktes auf dem Umstand aus, einen Baustoff auf der Rezyklierung von Glas bereitzuhalten. Sie lassen zum Teil aus der Langlebigkeit des Materials / Verbundsystems heraus, teils aus der noch relativ kurzzeitigen Geschichte des Werkstoffes ausser Acht, dass auch selbiger irgendeinmal in die Umstände gerät, als Abfallstoff anzufallen und möglicherweise wiederverwendet werden zu müssen. In gleicher Weise bestehen auch keine Konzepte im Zusammenhang mit den eingesetzten Klebern.

In Sachen Dauerhaftigkeit wird Birkenpech in jeglicher Form mit den aktuell eingesetzten Produkten mithalten können. Die nachgewiesene antiseptische Wirkung dieses Werkstoffes trägt dazu bei, auch die Füge- und Trägermaterialien vor zersetzenden Mechanismen zu schützen. Doch gerade in diesen Belangen liegt ein gewichtiger Nachteil, denn Birkenpech teilt nicht nur seine positiven Eigenschaften sondern auch die negativen mit seiner Umgebung. Die Geruchsintensität wie auch der zu erwartende PAK-Gehalt schmälern die Aussichten auf die Rezyklierbarkeit der anliegenden Baustoffe und bedroht in einem gewissen Masse die Biosphären im angrenzenden Erdreich und letztlich durch Anreicherung das Grundwasser. Einmal mit Birkenpech in Kontakt gekommene Gegenstände lassen sich auch schwerlich in Deponien unterbringen. Die Flüchtigkeit polyaromatischer Kohlenwasserstoffe setzt sich über Jahrzehnte fort.

In diesem Sinne verhält sich das Birkenpech im Verbund mit Holz möglicherweise in seiner harmlosesten Weise. Massives Konstruktionsholz wie auch Holzwerkstoffe assimilieren das Birkenpech geradezu. Da Altholzabfälle in der Regel in Verbrennungsanlagen entsorgt werden müssen, beeinflusst der Anteil des durch Birkenpech zugeführten PAK-Gehalts nur deren Spezialisierungsgrad. Abfälle dieser Art dürfen nur Kehricht-Verbrennungsanlagen oder Zementwerken, welche die erforderliche Filterung der Schadstoffe gewährleistet, zugeführt werden. Am Endresultat dieses Phasenabschnitts ändert sich jedoch nichts: Das Birkenpech und sein Trägermaterial werden zu Heizenergie, Heizenergie, welche wiederum zur Herstellung von Birkenpech eingesetzt werden könnte. Der Kreislauf schliesst sich.

Rauch-Schwegler, 2005
S. 136-141

3 Schlussbetrachtung

3.1 Rohstoff

Die Birke fristet in der aktuellen Gesellschaftsentwicklung in vielerlei Hinsicht ein zwiespältiges Dasein. Trotz des erwiesenen positiven Einflusses auf die Bodenqualität und die Speicherung von Wasser findet sie vornehmlich als Zierbaum Akzeptanz. Im auf Profit getrimmten Wirtschaftswald wird einer Entfaltung der Birke der notwendige Platz vorenthalten, ihre Holzqualität wird auf dem Markt gering geschätzt. Dabei weisen Länder im nördlichen Europa den Weg, auf welchem das gewonnene Holz auch im ökonomischen Sinne zu bestehen vermag. Mit dem Wandel der klimatischen Verhältnisse bietet sich der Birke die Chance, ihren einstmaligen Stellenwert zurückzuerlangen. Eine gesellschaftliche Haltungsänderung würde ermöglichen, die vielfältige Nutzbarkeit dieses Baumes, welche die Pharmazeutik mit einschliesst, wiederzubeleben und die Produktion von Birkenpech in einer vielfältigen, breit abgestützten Holzwerkstoff-Industrie zu etablieren.

3.2 Herstellung

Es liegt auf der Hand, dass die Birke die gespeicherten Schadstoffe im Verlaufe ihres Zyklus als Werkstoff in einer veränderten Form wieder an die Umwelt abgeben wird. Einige der transformierten Schadstoffe befinden sich in der Rinde und werden auf bewässerten Holzlagerplätzen ausgeschwemmt. Aus diesem Grund ist eine weitergenutzte Entrindung Bestandteil eines im ökologischen Sinne ausgereiften, ganzheitlichen Nutzungsprozesses. Indem man die Rinde nicht einfach verbrennt, sondern ihr vorangehend die wertvollen Substanzen entnimmt, versteht sich in dieser Betrachtungsweise von selbst. Die Wertschöpfung von Holzverarbeitungsbetrieben könnte mit der Kombination von Verbrennungsöfen und integrierter Pechgewinnung, sofern diese einen Absatzmarkt erhält, ergänzt und gesteigert werden. Von einer derartigen Entwicklung würde auch die regionale Bauwirtschaft profitieren, welche durch ein vom Weltmarkt unabhängiges Produkt eine eigenständige Versorgungslinie und Konstruktionsmethodik weiter voranbrächte. Hierzu müssten Forstwirtschafts-, Holzverarbeitungsbetriebe und Bauunternehmungen am selben Strick ziehen.

3.3 Anwendung

Bevor die Verarbeitungsbetriebe ihre Herstellungseinrichtungen umstellen können, muss die Aussicht auf einen Werkstoff geschaffen werden, welcher den Ansprüchen des zeitgemässen Bauwesens genügt und im Sinne des nachhaltigen und gesunden Bauens herkömmliche Produkte übertrifft. Um diese Qualität zu generieren bedarf es noch viel Forschungsarbeit. Oberste Priorität erhält dabei eine mittels standardisiertem Herstellungsverfahren und Beimengung geeigneter Zuschlagstoffe eine konstantere Verarbeitungskonsistenz zugesprochen. Obwohl der Gehalt an polyaromatischen Kohlenwasserstoffen Schätzungen zur Folge unter den Werten des verbannten Steinkohleteers sein dürften, sollten Bestrebungen eingeleitet werden, das Mass der Emission so gering wie möglich zu halten. Durch den Verzicht der Beimengung von Kohlenstaub und Asche, welche den PAK-Gehalt noch steigern, und durch Zuschlagstoffe die PAK besser binden, würden Präventionsmassnahmen geschaffen, die Gefährdung der unmittelbaren Umgebung zu dämmen. Konstruktiv ist es denkbar die lipophile Eigenschaft der schädlichen Moleküle mittels eines äusserlich angebrachten Ölpapiers zu nutzen und so die Flüchtigkeit zu verringern.

3.4 Nutzung

Auch wenn die angestrebten Verbesserungen fruchten sollten, bleibt Birkenpech als Baustoff, seiner Temperaturanfälligkeit und Geruchsemission wegen, nur beschränkt einsetzbar. Der Nutzungsbereich umfasst den Schutz der Aussenhülle eines Gebäudes vornehmlich im subterranean Milieu. Dort bewährte es sich in primitiven Versuchen als Kleber von Schaumglas-Platten und als dichtender Anstrich der Aussenwand. In erweitertem Sinne kann das Birkenpech auch für den Schutz von Schwellhölzern der Holzrahmen-Bauweise gegen aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Sockelbereich und für direkt im Erdreich verankerte Holzstütz-Elemente verwendet werden. In Kombination mit applizierten Combiflexbändern ist sogar die Dichtung von vertikalen Dehnungsfugen denkbar.

3.5 Rückbau

Der Einsatz im Verbundsystem mit Materialien wie Beton und Schaumglas bedingt das Vorantreiben geeigneter Trennverfahren. Diese können möglicherweise durch eine ökologisch verträgliche Vorbehandlung der Fugematerialien erreicht werden. Letztlich sollte gewährleistet sein, dass Beton und Schaumglas in die Wiederverwertung zurückgeführt werden. Die Aussicht auf die Rezyklierung des Birkenpechs selbst ist kaum realisierbar, da die Durchsetzung mit Staubpartikeln grosse Aufwendungen an ein Filterverfahren abforderten. Da Birkenpech ein Erzeugnis nachwachsender Rohstoffe ist, wiegt der Umstand der Entsorgung weniger schwer, als bei bituminösen oder kunststoffvergüteten Werkstoffen.

3.6 Konklusion

Nach einer monatelangen Auseinandersetzung in praktischer und theoretischer Weise kommt der Verfasser zum Schluss, dass er Birkenpech für einen ökologisch nachhaltigen und gesunden Hausbau bedingt empfehlen kann.

Die Stärke dieses Werkstoffes liegt im Potential einer regionalen Wertschöpfungskette, welche erst noch aufgebaut werden müsste. Birkenpech wird jedoch nie in der Masse hergestellt werden können, die derzeitig unverhältnismässig tiefen Produktions- und Transportkosten von Werkstoffen aus nicht regenerativen Rohstoffen zu konkurrieren. Doch weist der Verfasser darauf hin, die Nutzung und Konstruktion des Untergeschosses in der aktuellen Baubranche generell zu hinterfragen. Überreizte Ansprüche führen zum Einsatz von Lösungen und Mitteln bedenklicher Art. Vielmehr sollten funktionale und konstruktive Ansätze neuer Gebäude aus ökologischen wie ökonomischen Überlegungen eher auf eine Reduktion des Ausbaustandards im Erdreich ausgerichtet werden. Demzufolge kämen die potentiellen Mengen an produziertem Birkenpech wieder in einen Bereich, bestimmten Bauvorhaben gute Dienste leisten zu können. Die eingesetzte Quantität entspräche auch bei Anzeichen eines erhöhten Gehalts an polyaromatischen Kohlenwasserstoffen einer verträglichen Dosis für den Siedlungsbereich und den angrenzenden Biosphären. Man muss sich vor Augen halten, dass das vielseitig eingesetzte Bitumen in einem aufwendigen Verfahren aus Erdöl gewonnen wird, ein Prozess, bei dem bereits PAK in die Umwelt entweichen. Dazu summieren sich in der Folge Transportemissionen in unbekannter Höhe. Demnach kann Bitumen in der Anwendung noch so wenig der schädlichen Moleküle abgeben, die Gesamtsumme überträfe jene von Birkenpech in ausgeprägtem Masse.

4 Zusammenfassung

Nr. / Monat, Jahr	(durch Bildungsstelle auszufüllen)
Autor	Gaudin Philippe
Titel	Birkenpech – Anwendungsbereiche im Bauwesen
Bild	
Typ	Fach-/ Themenarbeit
Inhalt / Ziele	Ziel dieser Projektarbeit ist es, unter Einbezug gefertigter Proben, Fakten und Erkenntnisse zu sammeln, wie Birkenpech im nachhaltigen und gesunden Bauen sinnvoll verwendet werden kann, um bedenkliche Baustoffe, welche aktuell zur Dichtung der Aussehülle eingesetzt werden, adäquat zu ersetzen. Hierfür wurden drei Untersuchungsfelder betrachtet: • Bitumenersatz – Kleber für Schaumglas-Platten • Silikonersatz – Fugendichtungsmasse • Ersatz kunststoffvergüteter / bituminöser Beschichtung – Dichtungsanstrich Im Sinne einer ganzheitlichen Erfassungsweise unter Einbezug von Kriterien des nachhaltigen und gesunden Bauens, wurde der historische Kleber in all den Phasen seines Zyklus als Baustoff untersucht und ausgewertet. Neben den erwähnten Gegenständen stellte der Verfasser anhand der eigenen Gewinnung von Birkenrinde und des daraus gewonnenen Pechs Gedanken an, in welcher Form der Herstellungsprozess optimiert und wirtschaftlich rentabel umgesetzt werden kann.
Schlussfolgerung	Nach einer monatelangen Auseinandersetzung in praktischer und theoretischer Weise kommt der Verfasser zum Schluss, dass er Birkenpech für einen ökologisch nachhaltigen und gesunden Hausbau bedingt empfehlen kann. Die Stärke dieses Werkstoffes liegt im Potential einer regionalen Wertschöpfungskette, welche erst noch aufgebaut werden müsste. Birkenpech wird jedoch nie in der Masse hergestellt werden können, die derzeitig unverhältnismässig tiefen Produktions- und Transportkosten von Werkstoffen aus nicht regenerativen Rohstoffen zu konkurrieren. Doch weist der Verfasser darauf hin, die Nutzung und Konstruktion des Untergeschosses in der aktuellen Baubranche generell zu hinterfragen. Überreizte Ansprüche führen zum Einsatz von Lösungen und Mitteln bedenklicher Art. Vielmehr sollten funktionale und konstruktive Ansätze neuer Gebäude aus ökologischen wie ökonomischen Überlegungen eher auf eine Reduktion des Ausbaustandards im Erdreich ausgerichtet werden. Demzufolge kämen die potentiellen Mengen an produziertem Birkenpech wieder in einen Bereich, bestimmten Bauvorhaben gute Dienste leisten zu können. Die eingesetzte Quantität entspräche auch bei Anzeichen eines erhöhten Gehalts an polyaromatischen Kohlenwasserstoffen einer verträglichen Dosis für den Siedlungsbereich und den angrenzenden Biosphären. Man muss sich vor Augen halten, dass das vielseitig eingesetzte Bitumen in einem aufwendigen Verfahren aus Erdöl gewonnen wird, ein Prozess, bei dem bereits PAK in die Umwelt entweichen. Dazu summieren sich in der Folge Transportemissionen in unbekannter Höhe. Demnach kann Bitumen in der Anwendung noch so wenig der schädlichen Moleküle abgeben, die Gesamtsumme überträfe jene von Birkenpech in ausgeprägtem Masse.
Autoreninfos	Architekt, Bereich „Ausführung“
Anz. Seiten / Anz. Zeichen inkl. Leerschläge	54 Seiten / 96'912 Zeichen

5 Quellenverzeichnis

5.1 Bücher

Coutalides, 2015

Innenraumklima – Wege zu gesunden Bauten
Coutalides, Reto (Hrsg.)
Werd & Weber Verlag AG, Thun/Gwatt, 3. Auflage 2015
ISBN 978-3-85932-751-1

Fleckinger, 2012

Ötzi, der Mann aus dem Eis
Fleckinger Angelika
Folio Verlag, Wien – Bozen, 6. Auflage 2012
ISBN 978-3-85256-573-6

Godet/Schnieper, 1999

Unsere Bäume
Godet, Jean-Denis; Schnieper, Claudia
Mondo Verlag AG, Vevey, 1999
ISBN 2-88168-855-1

Hörnig, Angelika (Hrsg.)
Das Bogenbauer-Buch
Verlag Angelika Hörnig, Ludwigshafen, 7. Auflage 2012
ISBN 978-3-9805877-7-8

Kremer, 1984

Bäume
Kremer, Bruno P. in Gunter Steinbach (Hrsg.)
Mosaik Verlag GmbH, München, 1984

Ortner, 2015

Die Birke – Ihre Bedeutung aus interdisziplinärer Sicht
Ortner, Herbert Adrian
Ott Verlag, HEP Verlag AG, Bern, 2015
ISBN 978-3-7225-0147-5

Pantel, 2012

Das Bogenbauer-Buch
Pantel, Boris in Angelika Hörnig (Hrsg.)
Verlag Angelika Hörnig, Ludwigshafen, 7. Auflage 2012
ISBN 978-3-9805877-7-8

Rauch-Schwegler, 2005

Nachhaltig handeln – illustriert am Beispiel Bauen und Wohnen mit Holz
Rauch-Schwegler, Thea (Hrsg.)
HEP Verlag AG, Bern, 2005
ISBN 3-03905-095-8

Steinbach, Gunter (Hrsg.)
Bäume
Mosaik Verlag GmbH, München, 1984

5.2 Artikel / Zeitschriften

BAG, 2016

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Bundesamt für Gesundheit BAG
Informationsschreiben, 2016

BAFU, 2006

Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle
Bundesamt für Umwelt BAFU
Publikation Studie, 2006

BAFU, 2015

Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau
Bundesamt für Umwelt BAFU
Publikation Studie, 2015

Junkmanns, 2001

Vom „Urnenharz“ zum Birkenteer: der prähistorische Klebstoff Birkenpech
Junkmanns, Jürgen
Zeitschrift *Tugium: Jahrbuch des Staatsarchivs des Kantons Zug*, Band 17, 2001

Kurzweil/Weiner, 2013

Wo sind die Retorten – Gedanken zur allothermen Herstellung von Birkenpech
Kurzweil, Andreas; Weiner Jürgen
Zeitschrift *Experimentelle Archäologie in Europa*, 2013

Palmer, 2007

Die Entstehung von Birkenpech in einer Feuerstelle unter paläolithischen Bedingungen
Palmer, Friedrich
Publikation *Mitteilung der Gesellschaft für Urgeschichte*, 2007

Todtenhaupt/Pietsch, 2011

Zahnabdrücke in steinzeitlichen Pechen
Todtenhaupt, Dieter; Pietsch Thomas
Zeitschrift *Experimentelle Archäologie in Europa*, 2011

Umweltbundesamt, 2016

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Umweltbundesamt Deutschland
Publikation, 2016

Weiner, 1988

Praktische Versuche zur Herstellung und Verwendung von Birkenpech
Weiner, Jürgen
Zeitschrift *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 1988

5.3 Online-Dokumente

Allgaier, Datum unbekannt

Zukunft der Fichte im Schweizer Mittelland

Allgaier Leuch, Barbara; und andere

Online www.bafu.admin.ch/bafu/wald-holz/fachinfo-daten, gesehen am 27.05.2020

Allgaier, 2017

Der Schweizer Wald im Klimawandel

Allgaier Leuch, Barbara; und andere

Online www.wsl.ch/publikationen, gesehen am 27.05.2020

BAFU, 2008

Tabelle 2: Entsorgung von Ausbauasphalt

Online www.bafu.admin.ch/bafu/abfall/fachinfo-daten, gesehen am 27.07.2020

butterbaum

Rinden und Borken

Online www.butterbaum.uni-kiel.de

gesehen am 10.06.2020

de.wikipedia.org

Bodentemperatur

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bodentemperatur&oldid=183680305>

gesehen am 08.07.2020

de.wikipedia.org

Borke

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Borke&oldid=200700011>

gesehen am 10.06.2020

de.wikipedia.org

Destillation

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Destillation&oldid=198885622>

gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org

Dichtstoffe

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Dichtstoff&oldid=199308427>

gesehen am 21.07.2020

de.wikipedia.org

Fugenabdichtung

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fugenabdichtung&oldid=191962219>

gesehen am 21.07.2020

de.wikipedia.org

Harz

Online [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Harz_\(Material\)&oldid=201407151](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Harz_(Material)&oldid=201407151)

gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org

Holzschutzverfahren

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Holzschutzverfahren&oldid=200904622>

gesehen am 26.07.2020

de.wikipedia.org

Pech

Online [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pech_\(Stoff\)&oldid=199992798](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pech_(Stoff)&oldid=199992798)
gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org

Pechtropfenexperiment

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pechtropfenexperiment&oldid=200066372>
gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org

Pyrolyse

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Pyrolyse&oldid=199567009>
gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org

Rinde

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rinde&oldid=192817312>
gesehen am 10.06.2020

de.wikipedia.org

Silikone

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Silikone&oldid=201353300>
gesehen am 21.07.2020

de.wikipedia.org

Teer

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Teer&oldid=202448213>
gesehen am 16.06.2020

de.wikipedia.org

Vitruv

Online <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Vitruv&oldid=201753428>
gesehen am 06.07.2020

erz.be

Die Hand von Prêles

<https://www.erz.be.ch/erz/de/index/kultur/archaeologie/laufende-untersuchungen---2017--/hand-von-preles.html>, gesehen am 01.06.2020

Jandl, 2017

Anpassung der Waldbewirtschaftung an den Klimawandel

Online www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/bfw_klimawandel_waldbau/index_DE
gesehen 06.06.2020

Landesforstinventar

Gehölzportraits, Online www.lfi.ch, gesehen 06.06.2020

kaminfeuer

Online www.ofenfeuer.de, gesehen 16.06.2020

metsäwood

Online www.metsawood.com/de, gesehen 27.05.2020

waldprinz

Umtriebsalter der wichtigsten Baumarten

Online www.wald-prinz.de, gesehen 06.06.2020