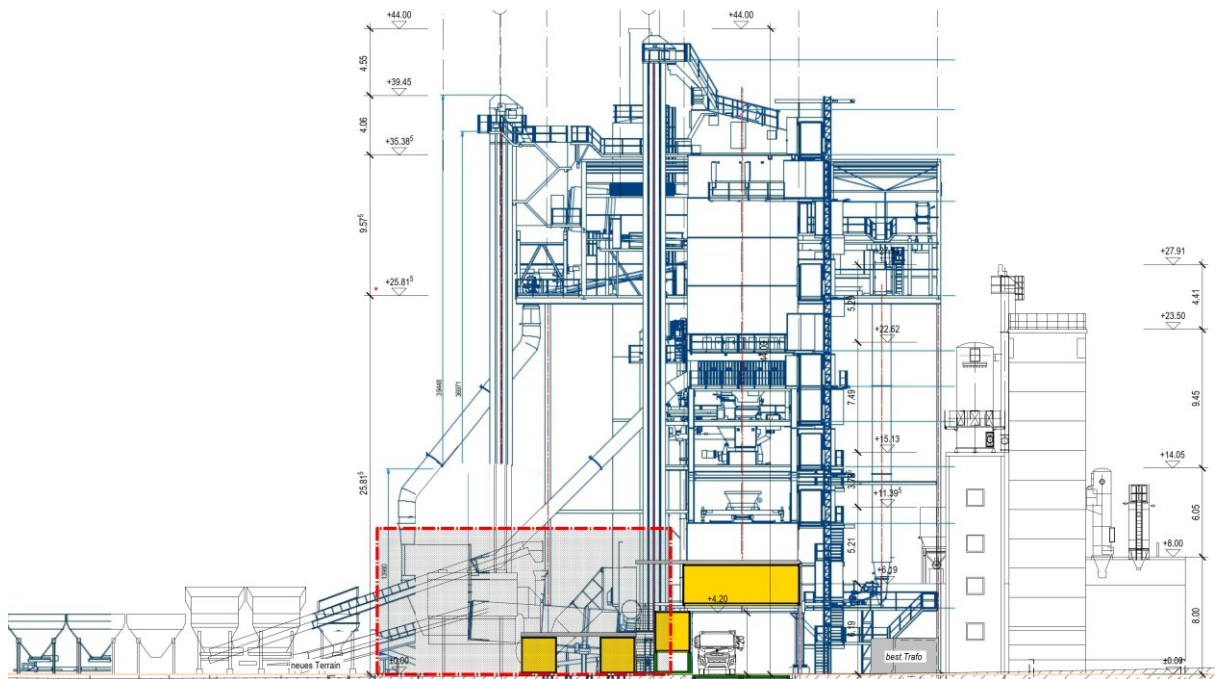




Schlussbericht vom 15.12.2025

Neubau Belagswerk mit Holzstaubfeuerung

Technischer Schlussbericht



Quelle: Belagswerk Oberland AG



Datum: 15.12.2025

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfängerin:

Belagswerk Oberland AG (Vormals: BEHAG Belagswerke Heimberg AG)
c/o AG Balmholz
Staatsstrasse 61
3800 Sundlauenen

Autor/in:

Werner Märchy, Marti Holding AG, werner.maerchy@martiag.ch
René Baggenstos, Enerprice Partners AG, r.baggenstos@enerprice.ch
Andreas Hofer, Enerprice Partners AG, a.hofer@enerprice.ch
Urs Greber, Enerprice Partners AG, u.greber@enerprice.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch
Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502370-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Im Wimmis erstellt das Belagswerk Oberland AG ein neues Belagswerk. Als erstes Belagswerk in der Schweiz setzt die BWO AG anstelle eines fossilen Brennstoffs entsprechende Holzstäube als primäre Energieträger ein. Dadurch kann von einer nahezu CO₂ neutralen Belagsproduktion gesprochen werden. Der Einsatz von Holzstaub als alternativem Brennstoff zu den fossilen Brennstoffen bedingt ein wirtschaftlich austariertes Konzept bezüglich der Verfügbarkeit des Rohbrennstoffs, dessen Aufbereitung zu Holzstaub und dessen Schadstoffverhalten bei der Verbrennung.

Das Ziel des Projekts ist, die energieintensive Herstellung von Asphalt mit beinahe nur erneuerbaren Brennstoffen zu bewerkstelligen und die Wirtschaftlichkeit der Anlage im Praxisbetrieb auszuweisen. Dabei sollen die vom Amt für Umwelt und Energie Bern (AUE) gesetzten Grenzwerte eingehalten bzw. plausibilisiert werden (Anmerkung Grenzwerte AUE: bis dato Baubewilligung waren in der LRV keine Emissionsgrenzwerte festgelegt für Belagswerke mit Brennstoff Altholz). Ein wesentlicher Bestandteil der Anlage ist die Holzaufbereitungsanlage. Vom angelieferten Rohbrennstoff (Altholzschnitzel) werden rund 15 Prozent ausgeschleust und in einer Schnitzelheizung verfeuert. Diese Wärme wird als Trocknungswärme genutzt, um den restlichen Massenstrom auf den notwendige Feuchtegehalt zu trocknen. Die getrocknete Menge wird anschliessend der eigentlichen Aufbereitungsanlage zudosiert. Mit diesem Vorgehen soll sichergestellt werden, dass die beiden Merkmale Mahlgrad und Feuchte derart optimiert werden können, dass die für das Asphaltwerk benötigte Leistung erbracht und die Vorgaben der LRV eingehalten werden können.

Nachdem die Inbetriebnahme der Holzstaubaufbereitungsanlage aufgrund technischer Schwierigkeiten verzögert wurde, konnten die erneuten Tests erfolgreich abgeschlossen werden und die Anlage im Frühjahr 2024 in Produktionsbetrieb übergehen.

Im Oktober 2024 wurde eine erste Orientierungsmessung des Schadstoffausstosses durchgeführt. Während die Grenzwerte bei der Schnitzelheizung (Trocknungswärme) eingehalten wurden, kam es bei der Holzstaubfeuerung für die eigentliche Asphaltproduktion zu Überschreitungen. Aufgrund von Unklarheiten in der Bewertung (erhöhter Schwermetallausstoss bei gleichem Energieträger wie bei der Schnitzelheizung) ist eine erneute Messung im dritten Quartal 2025 vorgesehen.

Die Nachrüstungen an der Holzstaub-Anlage führten zu erheblichen Mehrkosten. Könnten die Investitionskosten der Holzstaubanlage bei Folgeprojekten auf rund 4 Mio. CHF für jährliche Produktionsmengen von rund 110'000 Tonnen Asphaltbelag bzw. 5.2 Mio. CHF für Grossanlagen mit 150'000 Tonnen reduziert werden, wäre eine Amortisationsdauer von unter 20 Jahren realisierbar. Diese Aussage zur Wirtschaftlichkeit basiert auf tiefen Energiekosten ≤ 60 CHF pro Tonne Altholz sowie Erträgen aus allfälligen CO₂-Kompensationsprojekten. Die Energiekosten für sauberes Altholz (positive Auslese), welches aktuell für den Betrieb der Anlage verwendet wird, liegt deutlich über dem Zielwert. Die aktuelle Produktionsmenge der Pilotanlage lag während des Betrachtungszeitraums bei 105'000 Tonnen Asphaltbelag pro Jahr. Ein Zielkonflikt besteht zwischen niedrigen Energiekosten und höheren Emissionen bei unsortiertem Altholz. Bislang liegen jedoch keine belastbaren Emissionsmessungen vor. Daher kann weder die Konformität mit der aktuellen LRV bzw. den vom AUE festgelegten Grenzwerten bestätigt noch ein politischer Diskussionsbedarf für deren Anpassung aufgezeigt werden. Da die Einhaltung der LRV eine zentrale Voraussetzung für den Betrieb von Holzstaubfeuerungen mit dem Brennstoff Altholz in Belagswerken ist, lässt sich deren zukünftiges Potenzial derzeit nicht abschliessend beurteilen. Sollten weitere Anlagen realisiert werden, wäre jedoch eine Anpassung der LRV erforderlich, da die aktuellen Grenzwerte für Asphaltwerke nur fossile Wärmeerzeuger berücksichtigen. Nach heutigem Kenntnisstand würde eine Lockerung der für das Projekt definierten Grenzwerte die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen verbessern.

Die Anlage produziert aktuell Asphalt mit 70 % Holzanteil. Die Energieeffizienz und Kostenreduktion können erst nach Auswertung längerer Betriebsdaten und weiteren Tests abschliessend beurteilt werden. Parallel wird die Qualität des Altholzes verbessert, um den Holzstaub ohne aufwändige «positive Auslese» herstellen zu können.



Sintesi

A Wimmis, la Belagswerk Oberland AG sta realizzando un nuovo impianto di rivestimento. La BWO AG è il primo impianto di rivestimento in Svizzera a utilizzare polveri di legno come fonte primaria di energia al posto dei combustibili fossili. Ciò consente di parlare di una produzione di rivestimenti quasi a emissioni zero di CO₂. L'utilizzo della polvere di legno come combustibile alternativo ai combustibili fossili richiede un approccio economicamente equilibrato per quanto riguarda la disponibilità della materia prima, la sua trasformazione in polvere di legno e il comportamento delle sostanze inquinanti durante la combustione.

L'obiettivo del progetto è quello di realizzare la produzione ad alto consumo energetico di asfalto utilizzando quasi esclusivamente combustibili rinnovabili e di dimostrare la redditività dell'impianto nella pratica. A tal fine devono essere rispettati e verificati i valori limite fissati dall'Ufficio per l'ambiente e l'energia di Berna (AUE) (nota sui valori limite AUE: fino alla data del permesso di costruzione, nella OPA non erano stati fissati valori limite di emissione per gli impianti di rivestimento che utilizzano legno di scarto come combustibile). Una parte essenziale dell'impianto è costituita dall'impianto di trattamento del legno. Circa il 15% del combustibile grezzo consegnato (cippato di legno di scarto) viene espulso e bruciato in una caldaia a cippato. Il calore così prodotto viene utilizzato per essiccare il resto del flusso di massa fino al raggiungimento del contenuto di umidità necessario. La quantità essiccata viene quindi dosata nell'impianto di trattamento vero e proprio. Questo procedimento ha lo scopo di garantire che le due caratteristiche, grado di macinazione e umidità, possano essere ottimizzate in modo tale da fornire la potenza necessaria per l'impianto di asfalto e rispettare i requisiti dell'OPA.

Dopo che la messa in funzione dell'impianto di trattamento della polvere di legno è stata ritardata a causa di difficoltà tecniche, i nuovi test sono stati completati con successo e l'impianto è entrato in produzione nella primavera del 2024.

Nell'ottobre 2024 è stata effettuata una prima misurazione orientativa delle emissioni inquinanti. Mentre i valori limite sono stati rispettati per il riscaldamento a cippato (calore di essiccazione), si sono verificati superamenti per la combustione di polvere di legno per la produzione effettiva di asfalto. A causa di alcune incertezze nella valutazione (aumento delle emissioni di metalli pesanti con lo stesso vettore energetico utilizzato per il riscaldamento a cippato), è prevista una nuova misurazione nel terzo trimestre del 2025.

Gli adeguamenti apportati all'impianto di polvere di legno hanno comportato notevoli costi aggiuntivi. Se i costi di investimento dell'impianto di polvere di legno potessero essere ridotti a circa 4 milioni di franchi svizzeri per progetti successivi con volumi di produzione annuali di circa 110.000 tonnellate di rivestimento in asfalto o a 5,2 milioni di franchi svizzeri per grandi impianti con 150.000 tonnellate, sarebbe possibile ottenere un periodo di ammortamento inferiore a 20 anni. Questa affermazione sulla redditività si basa su bassi costi energetici ≤ 60 CHF per tonnellata di legno di scarto e sui ricavi derivanti da eventuali progetti di compensazione delle emissioni di CO₂. I costi energetici per il legno di scarto pulito (selezione positiva), attualmente utilizzato per il funzionamento dell'impianto, sono nettamente superiori al valore target. Durante il periodo di riferimento, la produzione attuale dell'impianto pilota è stata di 105 000 tonnellate di rivestimento in asfalto all'anno. Esiste un conflitto di obiettivi tra bassi costi energetici ed emissioni più elevate nel caso del legno di scarto non selezionato. Tuttavia, finora non sono disponibili misurazioni affidabili delle emissioni. Pertanto, non è possibile confermare la conformità con l'attuale OPA o con i valori limite stabiliti dall'AUE, né è possibile individuare la necessità di una discussione politica per il loro adeguamento. Poiché il rispetto dell'OPA è un requisito fondamentale per il funzionamento degli impianti di combustione a polvere di legno con combustibile di legno di scarto negli impianti di rivestimento, al momento non è possibile valutare in modo definitivo il loro potenziale futuro. Se dovessero essere realizzati altri impianti, sarebbe tuttavia necessario un adeguamento dell'OPA, poiché gli attuali valori limite per gli impianti di asfalto tengono conto solo dei generatori di



calore fossili. Allo stato attuale delle conoscenze, un allentamento dei valori limite definiti per il progetto migliorerebbe la redditività di tali impianti.

L'impianto produce attualmente asfalto con una percentuale di legno del 70%. L'efficienza energetica e la riduzione dei costi potranno essere valutate in modo definitivo solo dopo aver analizzato i dati di esercizio a lungo termine e aver effettuato ulteriori test. Parallelamente, viene migliorata la qualità del legno di scarto per poter produrre la polvere di legno senza una costosa «selezione positiva».



Résumé

À Wimmis, la société Belagswerk Oberland AG construit une nouvelle usine de revêtement. BWO AG est la première usine de revêtement en Suisse à utiliser de la sciure de bois comme source d'énergie primaire à la place d'un combustible fossile. On peut ainsi parler d'une production de revêtement pratiquement neutre en CO₂. L'utilisation de la sciure de bois comme combustible alternatif aux combustibles fossiles nécessite un concept économiquement équilibré en termes de disponibilité de la matière première, de son traitement en sciure de bois et de son comportement polluant lors de la combustion.

L'objectif du projet est de réaliser la production d'asphalte, très gourmande en énergie, en utilisant presque exclusivement des combustibles renouvelables et de démontrer la rentabilité de l'installation dans la pratique. Les valeurs limites fixées par l'Office de l'environnement et de l'énergie de Berne (AUE) doivent être respectées ou validées (remarque concernant les valeurs limites de l'AUE : jusqu'à présent, aucun permis de construire ne prévoyait de valeurs limites d'émission dans l'OPA pour les usines de revêtement utilisant du bois usagé comme combustible). L'installation de traitement du bois est un élément essentiel de l'usine. Environ 15 % du combustible brut livré (copeaux de bois usagé) sont évacués et brûlés dans une chaudière à copeaux. Cette chaleur est utilisée comme chaleur de séchage afin de sécher le flux massique restant jusqu'à atteindre le taux d'humidité requis. La quantité séchée est ensuite dosée dans l'installation de traitement proprement dite. Cette procédure vise à garantir que les deux caractéristiques, à savoir le degré de broyage et l'humidité, puissent être optimisées de manière à fournir la puissance requise pour l'usine d'asphalte et à respecter les prescriptions de l'OPA.

Après un retard dans la mise en service de l'installation de traitement de la poussière de bois dû à des difficultés techniques, les nouveaux tests ont été menés à bien et l'installation a pu être mise en service au printemps 2024.

En octobre 2024, une première mesure indicative des émissions polluantes a été effectuée. Alors que les valeurs limites ont été respectées pour le chauffage à copeaux (chaleur de séchage), des dépassements ont été constatés pour la combustion de poussière de bois destinée à la production d'asphalte proprement dite. En raison d'incertitudes dans l'évaluation (augmentation des émissions de métaux lourds avec le même combustible que pour le chauffage à copeaux), une nouvelle mesure est prévue au troisième trimestre 2025.

Les travaux de modernisation de l'installation de traitement de la poussière de bois ont entraîné des coûts supplémentaires considérables. Si les coûts d'investissement de l'installation de production de sciure de bois pouvaient être réduits à environ 4 millions de francs suisses pour des volumes de production annuels d'environ 110 000 tonnes de revêtement bitumineux ou à 5,2 millions de francs suisses pour les grandes installations de 150 000 tonnes, une durée d'amortissement inférieure à 20 ans serait réalisable. Cette affirmation sur la rentabilité repose sur des coûts énergétiques faibles ≤ 60 CHF par tonne de bois usagé et sur les revenus éventuels de projets de compensation carbone. Les coûts énergétiques du bois usagé propre (sélection positive) actuellement utilisé pour le fonctionnement de l'installation sont nettement supérieurs à la valeur cible. La production actuelle de l'installation pilote s'élevait à 105 000 tonnes de revêtement bitumineux par an pendant la période considérée. Il existe un conflit d'objectifs entre les faibles coûts énergétiques et les émissions plus élevées du bois usagé non trié. Cependant, aucune mesure fiable des émissions n'est disponible à ce jour. Par conséquent, il n'est pas possible de confirmer la conformité avec l'OPA actuelle ou les valeurs limites fixées par l'AUE, ni de démontrer la nécessité d'un débat politique pour leur adaptation. Étant donné que le respect de l'OPA est une condition essentielle pour l'exploitation de chaudières à poussière de bois utilisant du bois usagé comme combustible dans les usines de revêtement, il n'est actuellement pas possible d'évaluer de manière définitive leur potentiel futur. Si d'autres installations devaient voir le jour, une adaptation de l'OPA serait toutefois nécessaire, car les valeurs limites



actuelles pour les usines d'asphalte ne prennent en compte que les générateurs de chaleur fossiles. Selon les connaissances actuelles, un assouplissement des valeurs limites définies pour le projet améliorerait la rentabilité de telles installations.

L'installation produit actuellement de l'asphalte contenant 70 % de bois. L'efficacité énergétique et la réduction des coûts ne pourront être évaluées de manière définitive qu'après analyse des données d'exploitation à long terme et réalisation de tests supplémentaires. Parallèlement, la qualité du bois usagé est améliorée afin de pouvoir produire la poussière de bois sans « sélection positive » coûteuse.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Sintesi.....	4
Résumé.....	6
Inhaltsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	11
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	11
1.2 Motivation des Projekts	13
1.3 Projektziele	13
2 Anlagenbeschrieb	14
2.1 Belagswerk	14
2.1.1 Holzaufbereitung	16
2.2 Betriebskonzept.....	16
2.2.1 Produktionsbetrieb.....	16
2.2.2 Holzaufbereitung	17
3 Vorgehen und Methode.....	18
3.1 Vorgaben der Brennstoffquelle Holz	18
3.1.1 Gesetzliche Vorgaben	18
3.1.2 Emissionsgrenzwerte für Altholzfeuerungen bei Belagswerken	18
3.2 Technische Vorgaben.....	19
3.2.1 Einfluss der techn. Vorgaben auf die HS-Aufbereitung.....	20
3.3 Logistische Vorgaben	20
3.4 Messstellen.....	20
3.4.1 Emissionsmessungen.....	20
3.4.2 Energiemessungen.....	21
3.4.3 Übersicht Ammann Steuerung AS-1	22
3.4.4 Detaillierte Messpunkterfassung	23
3.5 Brennstoff-Bereitstellung	27
3.5.1 Einfluss Brennstoffqualität auf Schadstoffemissionen	29
3.5.2 Brennstoffqualität.....	29
3.5.3 Erdbrennstoff – Holzstaub aus «sauberem Altholz»	30
3.5.4 Weitere Brennstoffe – Holzstaub aus selektiertem Altholz	30
4 Durchgeführte Arbeiten	31
4.1 Realisierung.....	31
4.2 Messkampagne	31
4.3 Aktueller Betrieb	32



5	Ergebnisse und Diskussion	33
5.1	Technische Kennzahlen	33
5.2	LRV-Konformität	34
5.3	Energiemessungen.....	35
5.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung.....	35
5.4.1	Wirtschaftlichkeit Pilotanlage.....	35
5.4.2	Skalierung der Technologie.....	36
5.4.3	Weiterführende wirtschaftliche Überlegungen.....	39
5.5	Weitere politische Instrumente	40
5.6	CO ₂ -neutraler Asphalt	40
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	41
6.1	Schlussfolgerungen	41
6.2	Ausblick	41
7	Nationale und internationale Zusammenarbeit	43
8	Kommunikation	43
8.1	Berichterstattung	43
8.2	Wirtschaftliche Aussage	43
9	Publikationen	43
10	Literaturverzeichnis	43
11	Anhänge	44



Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AUE	Amt für Umwelt und Energie, Bern
AWI	Amt für Wirtschaft, Bern
BEHAG	Belagswerke Heimberg AG
BWO AG	Belagswerk Oberland AG
Cges	Gesamtkohlenstoffe
EMPA	Eidgenössische Materialprüfanstalt
HS-Aufbereitung	Holzstaub-Aufbereitung
kWh	Kilowattstunden
LKW	Lastkraftwagen
LPG	Liquefied Petroleum Gas. Nebenprodukt bei der Förderung und Verarbeitung von Rohöl
LRV	Luftreinhalte Verordnung
MWh	Megawattstunden
P16S	Korngrößenklasse (P16S, P31S, P45S) für Holzhackschnitzel
PM	PM20 werden Partikel bezeichnet, deren Durchmesser weniger als 20 Tausendstel-Millimeter beträgt.
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungs-Anstalt
UVB	Umweltverträglichkeitsbericht



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Im Wimmis erstellte das Belagswerk Oberland AG (BWO AG), vormals Belagswerk Heimberg AG (BEHAG), ein neues Belagswerk. Dieses Belagswerk ersetzt seit 2023 die beiden Belagswerke AG Balmholz in Sundlauenen und BEHAG in Heimberg. Mit der neuen Anlage werden wie in den beiden alten Belagswerken Asphalt / Asphaltbelag hergestellt. Das energetische Effizienzpotenzial beim Bau dieses neuen Belagswerks liegt in der Technik und Produktion der Anlage, der Aufbereitung und der Lagerung der Mineralstoffe. Basierend auf Erfahrungswerten von der im Rahmen des Projekts ersetzten Belagswerken, wurde beim vorliegenden Neubau eine wesentliche Reduktion des Wärme-Energieverbrauchs erwartet. Mit der Substitution eines fossilen Energieträgers durch einen erneuerbaren Energieträger werden jedoch nicht primär die Energieeinsparungen anvisiert, sondern vielmehr die Elimination von CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen.

Für die Herstellung von Asphaltbelag werden primäre Mineralstoffe (Sand, Splitt und Kies) in eine Trockentrommel (Primärtrommel) beladen und mittels Brenner auf die erforderliche Temperatur erhitzt. In einer weiteren Trocknungstrommel (Paralleltrommel) können zudem sekundäre Mineralstoffe bzw. Recycling-Materialien, (Asphaltgranulat – gebrochener Altbelag) analog aufgeheizt werden. Die so erhitzten Stoffe werden anschliessend in einem Mischer zusammen mit Bitumen und weiteren Zusatzstoffen vermischt und anschliessend in Verladesilos (Zwischenlager) zur Abholung durch den Kunden vorgehalten.

In der Schweiz gibt es ca. 100 Belagswerke. Die Trocknungstrommeln der Belagswerke in der Schweiz werden bis heute primär mit fossilen Brennstoffen wie Heizöl oder Gas (LPG, Erdgas) betrieben. Die gesamten CO₂-Emissionen für die Schweizer Asphaltproduktion betragen jährlich rund 115'000 Tonnen. Um die gesamte benötigte Menge Heizöl und Gas für die Asphaltproduktion mit Holz zu kompensieren, würde insgesamt ca. 100'000 Tonnen Holz pro Jahr benötigt. Schaut man jedoch über die Landesgrenzen hinaus, werden neben den weit verbreiteten fossilen Brennstoffen auch weitere staubförmige Brennstoffe mittels einem Feststoffbrenner verfeuert. Als staubförmige Brennstoffe kommen jene Brennstoffe zum Einsatz, die einen ausreichenden Heizwert aufweisen und sich wirtschaftlich einsetzen lassen. Solche Brennstoffe sind bspw. der Braunkohlestaub (Deutschland) oder Holzstäube (Skandinavien) auf Basis von Schnittholz oder Holzpellets. Weltweit kommen verschiedene erneuerbare Technologien bei der Asphaltbelag-Produktion zum Einsatz. Neben mehr als 50 Anlagen, die bereits mit Holzstaubbrennern betrieben werden, sind zunehmend Brennersysteme verfügbar, die als Mehrstoffbrenner ausgelegt sind und somit Biogas, Biomethan, grünen Wasserstoff, HVO (Hydrotreated Vegetable Oils) oder andere biogene Brennstoffe flexibel einsetzen können. Inwieweit solche Anlagen gegenüber herkömmlich fossilen Lösungen konkurrenzfähige Energiegestehungskosten erreichen und mit welcher Effizienz sie betrieben werden können, lässt sich im Rahmen dieses Projekts nicht beurteilen. Weitere deutliche Emissionsreduktionen werden durch abgesenkte Mischtemperaturen (Niedertemperaturasphalt) sowie durch weitere Elektrifizierung einzelner Prozessschritte erreicht, bei denen die benötigte Wärme direkt elektrisch bereitgestellt wird.

Als erstes Belagswerk in der Schweiz setzt die BWO AG anstelle eines fossilen Brennstoffs entsprechende Holzstäube (primär aus entsprechender Altholzqualität) als primäre Energieträger ein. Dadurch kann von einer nahezu CO₂ neutralen Belagsproduktion gesprochen werden. Das Projekt wird als Beispiel für andere Projekte dienen und unterstützt die Ziele der Politik punkto Energie, Klima und Nachhaltigkeit. Die Rohstoffe werden lokal bezogen und genutzt. Der Einsatz von Holzstaub als alternativem Brennstoff zu den fossilen Brennstoffen bedingt ein wirtschaftlich austariertes Konzept bezüglich der Verfügbarkeit des Rohbrennstoffs, dessen Aufbereitung zu Holzstaub und dessen Schadstoffverhalten bei der Verbrennung.

Die technologische Lösung (Holzstaubverwertung) für dieses Projekt, ist in einzelnen Bestandteilen bereits vorhanden, jedoch nur für sauberes Holz (Holzbrennstoffe gem. LRV). Der Holzstaubbrenner



(Feststofffeuerung in Belagswerken) und die Aufbereitungsanlage für Holzstaub (Zerkleinern und Mahlen von Holz) sind mittlerweile Stand der Technik. Die Innovation liegt darin, dies auch für Altholz nutzbar zu machen. Dabei soll der lokale erneuerbare Energiebrennstoff (Altholz) aufbereitet und für die wirtschaftliche Produktion von Asphaltbelag unter realen Marktgegebenheiten und unter Einhaltung der Vorgaben der Regulatoren genutzt werden. Dies kann als Novum in der Asphaltproduktion gesehen werden. Dieser Prozess soll die geforderten Sicherheitsaspekte und Emissionsgrenzwerte erfüllen sowie einen wirtschaftlichen Betrieb über mehrere Jahre ermöglichen.

Die Verwendung von Holzstaub und insbesondere Holzstaub aus Altholz als Brennstoff ist eine Spezialanwendung. Altholz wird in der Schweiz auch in anderen Anwendungsfällen als Brennstoff für Prozesswärme verwendet oder in Kehrrichtverbrennungsanlagen sowie Wärmeverbünden thermisch verwertet. Diese Anwendungen verfügen jedoch üblicherweise über mehrstufige Schadstoff-Filterlösungen, auf welche im vorliegenden Projekt bewusst verzichtet wurde.

Geeignete staubförmige Holzbrennstoffe müssen bestimmten physikalischen und chemischen Voraussetzungen folgen. Nur so können die prozesstechnischen Anforderungen mit den eingesetzten Feststoffbrenner und der heute bei Belagswerken üblichen nachgeschalteten Rauchgasreinigungsanlage (sprich: Staubfilter) erfüllt werden.

In der LRV werden im Anhang 2 spezifische Grenzwerte für Belagswerke mit fossilem Brennstoff definiert, die jedoch bei Feststofffeuerungen mit Holz nicht anwendbar sind. In Anlehnung an Ziff. 14 Anh. 2 LRV musste die Asphaltmischanlage mit ihren Feststoffbrennern von den zuständigen Fachbehörden neu beurteilt werden. Schwierig einzuhaltende Grenzwerte wie Stickoxide und Kohlenmonoxide wurden nach Art. 4 LRV und mit Blick über die Landesgrenzen neu festgelegt. Weitere Grenzwerte orientieren sich nach dem vorgesehenen Brennstoff Holz (Ziff. 3 des Anh.5) bzw. dessen Emissionsgrenzwerten. Nach erfolgreicher Messkampagne durch das AUE sollen die Grenzwerte für Holzstaubanlagen definitiv festgelegt werden und in Zusammenarbeit mit dem BAFU Eingang in die LRV finden.

Zusammenfassend gilt es im Rahmen dieses Projekts folgende Herausforderungen zu bewältigen bzw. Fragen zu beantworten:

- Ist es möglich mit dem Einsatz von Holz und insbesondere Altholz als primären Brennstoff einen wirtschaftlichen Betrieb (Wettbewerbsfähigkeit) im realen Umfeld des Markts gegenüber fossilen Brennstoffen zu erlangen?
- Ist die in diesem Projekt gewählte technische Lösung und die Prozesse der Holzstaubaufbereitung ausreichend oder gibt es Verbesserungspotenzial?
- Können die Emissionswerte gemäss Luftreinhalteverordnung eingehalten werden? Sind Anpassungen in diesem Bereich nötig? Die LRV ist heute auf die Asphaltproduktion mit der Verbrennung von fossilen Brennstoffen ausgerichtet. Mit der Verbrennung von Holz könnten Grenzwert (u.a. Stickoxid-Emissionen (NOX)) überschritten werden.
- Gibt es in der Region genug Altholz zu einem marktfähigen Preis? Kann eine regionale Versorgung langfristig garantiert werden?
- Wie funktioniert diese Anlage (Holzstaubfeuerung) unter realem Betrieb? Gibt es Mehraufwände für das Betriebspersonal?
- Können alle Sicherheitsmassnahmen für Mensch und Umwelt eingehalten werden?
- Kann das Projekt im Markt skaliert werden? Welche Voraussetzungen sind notwendig?
- Ist mit Altholz als Brennstoff eine ausreichende und längerfristige Produktionssicherheit gewährleistet?



1.2 Motivation des Projekts

Der Klimawandel ist unbestritten und zwingt auch die verarbeitende Industrie, sich von fossilen Brennstoffen zu lösen und ihre Produkte unter dem Einsatz von erneuerbaren Energien zu produzieren. Als besonders herausfordernd weisen sich dabei die hohen Anforderungen industrieller Prozesse an Temperatur und Leistung. Die Holzstaub-Technologie bietet einen möglichen Lösungsansatz und soll im Rahmen dieses Projektes verifiziert und wo möglich verbessert werden.

1.3 Projektziele

Das Ziel des Projekts ist, die energieintensive Herstellung von Asphalt mit beinahe nur erneuerbaren Brennstoffen zu bewerkstelligen und die Wirtschaftlichkeit der Anlage im Praxisbetrieb auszuweisen. Als Rohstoff in diesem Projekt dient Holz respektive Holzstaub, welcher von möglichst regionalen Lieferanten stammt. Um die Wirtschaftlichkeit dieser Technologie zu verbessern, soll aus bekannten Holzressourcen ein zulässiger Rohbrennstoff (Altholz) konditioniert werden, der als aufbereiteter Holzstaub die neu in der LRV definierten Schadstoffgrenzwerte einhalten kann.

Folgende Ziele wurden gemäss Projektantrag für die Umsetzung dieses Projekts definiert:

- Eine beinahe CO₂-neutrale Produktion von Asphaltbelag mit Altholz als primären Brennstoff.
- Sicherer und zuverlässiger Betrieb der Anlage.
- Die Anlage muss eine langfristige Wirtschaftlichkeit aufweisen.
- Produktionsstart Frühling 2023



2 Anlagenbeschreibung

Die CO₂ neutrale Herstellung von Asphaltbelag bedingt neben dem eigentlichen Belagswerk das Vorhalten eines CO₂ neutralen staubförmigen Brennstoffs (hier: Holzstaub). Der staubförmige Brennstoff wird analog zu fossilen Brennstoffen im Umfeld des Belagswerks siliert. Die Herstellung eines staubförmigen Brennstoffs ist grundsätzlich auch unabhängig vom Standort des Belagswerks. Eine Anlieferung von staubförmigen Brennstoffen verursacht jedoch einen erhöhten logistischen Aufwand wie das Vorhalten von zusätzlichen Filteranlagen und Explosionsschutzmassnahmen. Idealerweise wird vor Ort ein vorkonditionierter Rohbrennstoff (bspw. Holzschnitzel oder Pellets) zu einem staubförmigen Brennstoff fertig aufbereitet.

Die BWO AG hat sich deshalb entschieden, neben dem Belagswerk auch eine Aufbereitungsanlage für Holzstaub zu installieren (Abbildung 1). Dadurch können zusätzlich zu der nicht trivialen Logistik von Staubgütern folgende zwei Faktoren berücksichtigt werden:

Verbesserte Einflussnahme auf die Holzstaubqualität respektive des Rohbrennstoffs bezüglich dessen Schad-, Fremd- und Störstoffgehalts.

Sicherstellung der Verfügbarkeit des staubförmigen Brennstoffs aufgrund mehrerer Zulieferfirmen für den Rohbrennstoff.

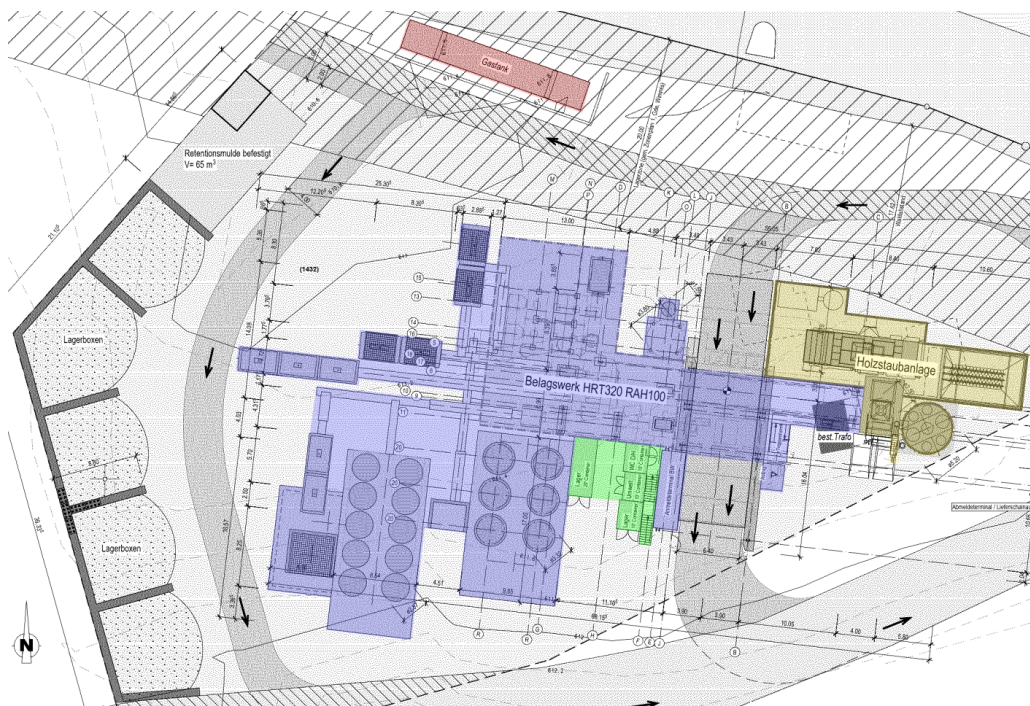


Abbildung 1: Belagswerk BWO Wimmis

(Belagswerk / Holzstaubaufbereitung / Gastank / Betriebsgebäude)

2.1 Belagswerk

Das Belagswerk in Wimmis unterscheidet sich von Belagswerken, die nur fossile Brennstoffe (Heizöl, Gas) verfeuern, dahingehend, dass ein Mehrstoffbrenner (Feststoff - / Flüssigbrenner) eingesetzt wird und die Länge der Trocknungstrommel sowie die Brennerleistung auf die Verfeuerung mit Holzstaub optimiert wurde.

Der eigentliche Prozess zur Erhitzung und gleichzeitiger Trocknung des Grundmaterials (Gesteinskörner, Asphaltgranulat) bleibt an sich gleich. Entsprechende Brenner und



Trocknungstrommeln sind heute bereits mehrfach in Betrieb (u.a. Braunkohlestaub). Der installierte Brenner (Ammann Induflame) wird heute bereits in verschiedenen skandinavischen Anlagen eingesetzt. Solche Brenner sind Mehrstoffbrenner und können je nach Ausführung 2 oder 3 Brennstoffe verfeuern.

Die prozesstechnische Funktion des Belagswerk ist in Abbildung 2 ersichtlich. Die Abbildung zeigt weiter die Interaktion zwischen dem jeweiligen Brenner und der Trocknungstrommel. Als Anzündquelle benötigt der Feststoffbrenner zum Entzünden des Brennstoffs Holzstaub eine bereits bestehende Flamme aus fossilen Brennstoffen. Der fossile Brennstoff kommt ebenfalls zum Einsatz, wenn die Heizleistung des Holzstaubs zu gering ist (bspw. der Feuchtigkeitsanteil des Holzstaubs ist zu hoch). Aufgrund dessen geht die BWO in Absprache mit dem Belagswerkhersteller Ammann von einem Verhältnis Holz- vs. Gasbrennstoff von 95 % vs. 5 % aus. Das Vorhalten eines fossilen Brennstoffs stellt somit gleichzeitig den Prozess als auch die Rückfallebene als Betriebsbrennstoff sicher.

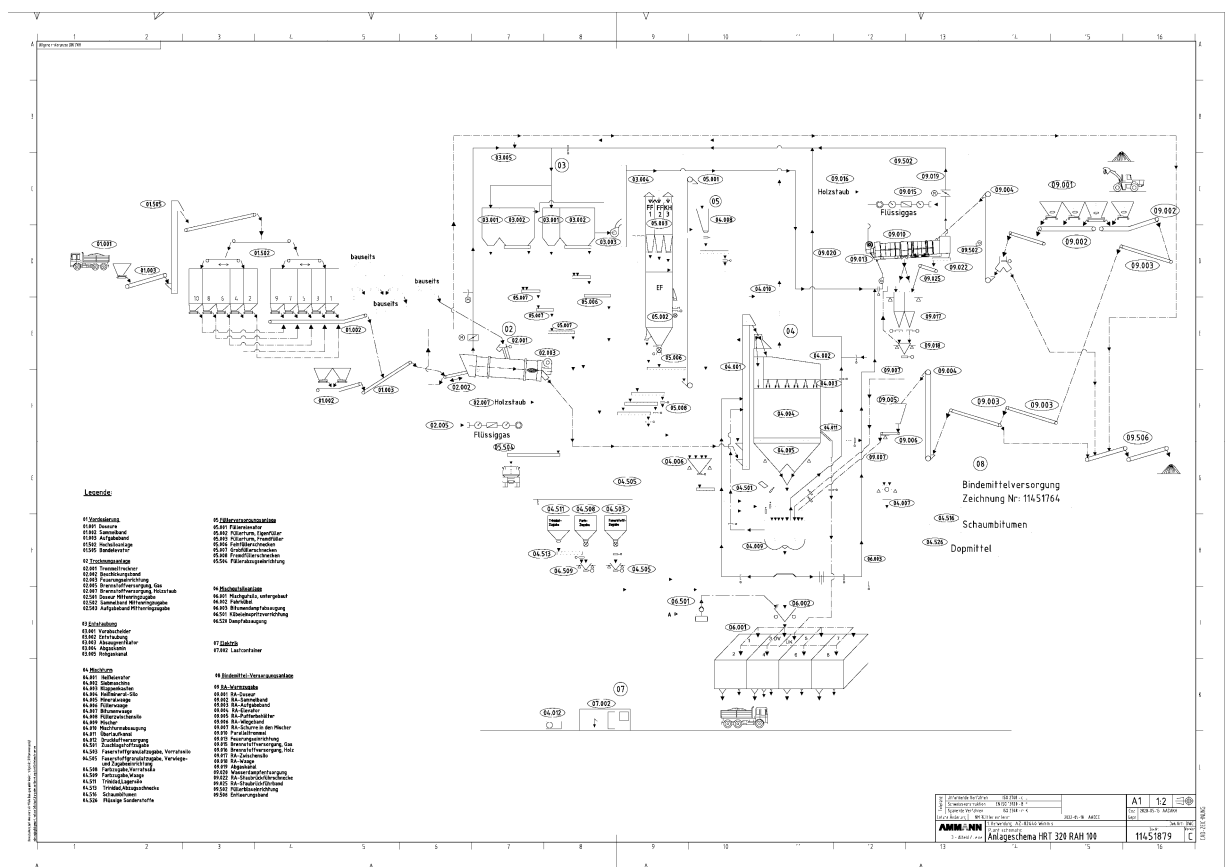


Abbildung 2: Verfahrensfließbild Belagswerk BWO Wimmis



2.1.1 Holzaufbereitung

Die Holzaufbereitungsanlage ist ein wesentlicher Bestandteil bei der Erzeugung eines qualitativ guten Holzstaubs. Zu den bestehenden Qualitätsmerkmalen (Brennwert und Schadstoffgehalt) des zugeführten Rohbrennstoffs Holz werden bei der Holzaufbereitung die beiden Merkmale "Mahlgrad" und "Feuchte" beeinflusst. Damit auf der Seite des Belagswerks die thermische Prozesssicherheit für das Erhitzen der Materialien gegeben ist, werden durch den Belagswerkhersteller die Mindestanforderungen an den Holzstaub vorgegeben (Anhang A1). Die beiden Merkmale Mahlgrad (Kornkurve) und Feuchte beeinflussen u.a. den Heizwert (Holzstaubbedarf pro Zeiteinheit) und den Ausbrandgrad des Brennstoffs (spezifischer Rückstand in der Abluft) bei der Verfeuerung des Holzstaubes.

Der verwendete Rohbrennstoff (Holzschnitzel) wird per Radlader oder LKW angeliefert und in den Tiefbunker gekippt. Über Förder- und Abscheideorgane wird das Material der Vorabsiebung zugeführt. Dabei wird es in zwei Massenströme aufgeteilt. Bei der Vorab-Siebung werden nach neuester Erkenntnis ca. 15 % der angelieferten Holzschnitzelmenge ausgeschleust und zur Erzeugung der Trocknungsenergie in einer Schnitzelheizung verfeuert. Diese Wärme wird genutzt als Trocknungswärme, um den restlichen Massenstrom auf den notwendige Feuchtegehalt zu trocknen.

Die getrocknete Menge wird anschliessend der eigentlichen Aufbereitungsanlage zudosiert und weiter aufbereitet (siehe Anhang A-04). Dabei durchläuft der Rohbrennstoff Holz mehrere Verfahrensstufen (wie sieben, zerkleinern und mahlen), bis der resultierende Holzstaub für die Verbrennung im Feststoffbrenner geeignet ist. Während diesem Prozess werden Störstoffe wie metallische Verunreinigungen oder große Fremtteile durch das System separiert und ausgeschleust.

Der so aufbereitete Holzstaub wird anschliessend in einem Holzstaubsilo gelagert, bis er für die Verbrennung in einem der beiden Feststoffbrenner des Belagswerks benötigt wird.

Je nach Bedarf der Feststofffeuerung wird der Holzstaub vom Holzstaubsilo über Zuführ- und Dosierschnecken ausgetragen und mittels Flugförderung zum Feststoffbrenner geblasen, wo er schliesslich praktisch ohne Ascherückstand vollständig verbrennt.

Das ausreichend dimensionierte Holzstaubsilo entkoppelt die beiden Werke Holzstaubaufbereitung und Belagswerk voneinander, d.h. auch wenn das Belagswerk keinen unmittelbaren Bedarf an Holzstaub hat, kann die Holzstaubaufbereitung weiter produzieren und Holzstaub in das Holzstaubsilo füllen.

2.2 Betriebskonzept

Die jährliche Produktionsmenge der BWO (Belagswerk Oberland AG) ist abhängig vom Endkundenbedarf und kann bis zu 150'000 Tonnen Belag betragen. Die Belagsproduktion erfolgt im Allgemeinen in Tagesschichten. Der Asphaltbelag muss kundengerecht, d.h. mit Zeit- und Rezeptvorgaben, bereitgestellt werden, was in wenigen Ausnahmefällen auch zu einem Mehrschichtbetrieb führen kann. Diese unterschiedlichen Kundenbedürfnisse verursachen bei der Belagsproduktion einen mengenmässig variablen Produktionsablauf. Erschwerend kommt hinzu, dass der Asphaltbelag zeitnah zum geplanten Abholtermin durch den Kunden produziert werden muss (Beibehaltung der thermischen Eigenschaften bis zum Einbau des Asphaltbelags im Strassenbau).

Die für die Produktion notwendigen Rohmaterialien und Halbfabrikate (Gesteinsminerale, Brennstoffe, Additive, usw.) werden daher vor Ort vorgehalten und zeit- und bedarfsgerecht dem Belagswerks zu- und als Asphaltbelag (Endprodukt) abgeführt.

2.2.1 Produktionsbetrieb

Der Produktionsbetrieb des Belagswerks BWO (Kapitel 2.1 Belagswerk) unterscheidet sich grundsätzlich nicht von den Betriebsabläufen anderer Belagswerke in der Schweiz.

Die Produktion von Asphaltbelag ist keine Produktion auf Vorrat, d.h. das Endprodukt Asphaltbelag wird zeitnah im Vorlauf zu dessen Einbau produziert und zwischengelagert. Die Produktion von Asphaltbelag



ist ein endothermer Prozess, da die einzelnen Rohmaterialien und Halbfabrikate auf die für das Endprodukt spezifische Temperatur gebracht und gehalten werden müssen.

Bei der Produktion von Asphaltbelag werden daher grössere Mengen an elektrischer und insbesondere thermischer Energie benötigt. Der thermische Energiebedarf eines Belagswerks wird heute noch primär durch fossile Energieträger bereitgestellt.

Die fossilen Energieträger werden von Drittunternehmen bereitgestellt und über eine Tankanlage im näheren Umfeld des Belagswerks vorgehalten (Heizöl- oder Flüssiggastank), von wo die Brennstoffe bedarfsgerecht abgerufen werden können. Da wo es sich anbietet, wird der Energieträger direkt mittels einer ausreichenden Zuleitung zum Belagswerk geführt.

Als alternativ zu den fossilen Brennstoffen werden in ausländischen Belagswerken auch feststoffliche Brennstoffe wie Braunkohle- oder aufbereiteter Holzstaub auf Basis von Holzpellets verwendet. Die feststofflichen Brennstoffe müssen analog den gängigen Brennstoffen in geeigneter Art (Tanks / Silos / direkte Zuleitung) beim Belagswerk vorgehalten werden.

Das Mineral wird in einer Trocknungstrommel auf eine Temperatur von ca. 140 – 160°C aufgeheizt und dabei gleichzeitig getrocknet. Der thermische Energiebedarf eines Belagswerks ist daher stark abhängig vom Feuchtegehalt der mineralischen Grundmaterialien. Für eine Tonne Asphalt wird im Mittel ca. 70 - 75 kWh thermische Energie benötigt.

Bei einer jährlichen Produktionsmenge von 150'000 Tonnen werden somit rund 10'500 MWh an thermischer Energie benötigt. Dies entspricht ca. 1'100 m³ Heizöl (~10 kWh/l) oder knapp 7'650 m³ bzw. ca. 2'300 Tonnen Holzstaub.

Neben dem Bedarf dieser thermischen Energie werden auch noch ca. 6-8 kWh elektrische Energie pro Tonne Asphalt innerhalb des Belagswerks benötigt.

2.2.2 Holzaufbereitung

Die Aufbereitung des Rohbrennstoff Holz zu Holzstaub muss nicht zwingend in unmittelbarer Nähe des Verbrauchers (Belagswerk) sein. Eine externe Holzstauberzeugung bedingt jedoch einen erhöhten Aufwand bei der Logistik des Brennstoffs Holzstaub und verursacht zudem höhere Kosten beim Erstellen und dem Vorhalten der für die Logistik notwendigen Installationen (Stichwort: Ex-Schutz).

Der Betrieb einer entsprechenden Holzstaubaufbereitung ist stark von der Anlieferqualität des Rohbrennstoff Holz und durch die für die Belagsproduktion benötigte Menge des aufbereiteten Holzstaubs geprägt. Im Gegensatz zum volatilen Produktionsbetrieb des Belagswerks kann der Aufbereitungsprozess bei der Holzstaubaufbereitung als konstanter Prozess gefahren werden. Die entsprechende Leistungsdimensionierung der einzelnen Prozessschritte (Kapitel 2.1, Belagswerk) innerhalb der Holzaufbereitung und eine ausreichende Möglichkeit zur Lagerung (Pufferung) des aufbereiteten Holzstaubs lässt eine kostenoptimierte Installation und wirtschaftlichen Betrieb der Holzstaubaufbereitung zu.

Bei einer mittleren Feuchte von ~3 % des mineralischen Grundmaterials wird für deren Trocknung und Erhitzung gemäss der Fa. Ammann knapp 15 kg Holzstaub pro Tonne Asphaltbelag benötigt. Dabei sind die minimalen physikalischen Vorgaben (Feuchte und Mahlgrad) des Belagswerkherstellers für den Brennstoff Holzstaub (Anhang A1) einzuhalten.

Bei einer Produktionsleistung von 300 t/h Asphaltbelag werden von den Feststoffbrennern der beiden Trocknungstrommeln mehr als 4'500 kg/h Holzstaub abgerufen. Bei einer Belagsproduktion von ca. 2'000 t pro Tag werden somit mehr als 30 t oder 110 m³ Holzstaub notwendig, die im selben Zeitraum produziert und vorgehalten werden müssen. Damit diese Menge Holzstaub innert Tagesfrist vorliegt, muss die Menge des Rohbrennstoff Holz entsprechend der geforderten Qualität (Kapitel 3.5.1 Schadstofftrigger) der Holzstaubaufbereitung zugeführt werden. Kumuliert man noch die Holzmenge, die für die Trocknung des Rohbrennstoff Holz notwendig ist, werden bei intensiven Produktionstagen (Belagsproduktion) mehr als 38 Tonnen Holz benötigt (Anhang A2).



3 Vorgehen und Methode

3.1 Vorgaben der Brennstoffquelle Holz

Bei einer Feststofffeuerung mit Holz können grundsätzlich alle Holzarten / -quellen zur Anwendung kommen, solange diese den gesetzlichen (LRV, Abfallrecht, usw.) und den technischen Vorgaben (Feuchtegehalt, Stör- und Fremdstoffe) genügen. Unter Einhaltung dieser Vorgaben sollte der zu erwartende Schadstoffausstoss innerhalb der betrieblichen Grenzen liegen. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Vorgaben auch mit wirtschaftlichen Aspekten eingehalten werden müssen, d.h. die Verfügbarkeit entsprechender Holzarten und die logistische Beibringung der potenziellen Holzarten spielen zusätzlich eine wesentliche Rolle.

3.1.1 Gesetzliche Vorgaben

Eine wesentliche gesetzliche Vorgabe ist neben dem Abfallgesetz (Verwertung von Altholz) auch die Luftreinhalteverordnung (LRV). Sie definiert, dass für Altholzfeuerungen nur bestimmte Brennstoffe nach Anh. 5 der LRV zum Einsatz kommen dürfen. Dazu zählen die Holzbrennstoffe nach Ziff. 31 Abs. 1 Anh. 5 der LRV und Altholz nach Ziff. 31 Abs. 2 Bst. a Anh. 5 der LRV. Alle übrigen Stoffe aus Holz, wie solche, die mit problematischen Holzschutzmitteln, halogenorganischen oder bleihaltigen Stoffen behandelt sind, fallen nicht darunter und dürfen nicht in Altholz- oder Holzstaubfeuerungen verbrannt werden (vgl. auch Kapitel 3.1.2).

Zu den Auflagen aus der Baubewilligung werden mit der Betriebsbewilligung weitere Vorgaben und Abläufe konkretisiert.

3.1.2 Emissionsgrenzwerte für Altholzfeuerungen bei Belagswerken

Beim Belagswerk BWO ist bei beiden Erhitzungstrommeln je ein Zweistoffbrenner (fest / flüssig) installiert. Bei der Belagsherstellung kommt für die Erzeugung der notwendigen Erhitzungswärme neben dem Hauptbrennstoff Holzstaub (ca. 93-95 % Anteil) auch noch LPG zum Einsatz. Das LPG wird für das Entfachen des Holzstaubs verwendet oder wenn der Holzstaub eine zu geringe Heizleistung entwickelt aufgrund eines zu hohen Feuchtegehalts des Holzstaubs.

Die Schadstoffgrenzwerte beim Einsatz von fossilen Brennstoffen (hier LPG) sind in der Luftreinhalteverordnung (LRV) vorgegeben. Äquivalente Vorgaben beim Einsatz von NICHT fossilen Brennstoffen (bspw. Holzstaub aus Altholz) sind in der aktuellen LRV (Stand: 01.01.2022) jedoch nicht definiert.

In Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden mussten für den Einsatz von Holzstaub bei Asphaltmischanlagen neue Schadstoffgrenzwerte definiert werden. Auf Basis von Messwerten norwegischer Anlagen und mit Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit solcher mit holzstaubbetriebenen Anlagen wurden im Zuge der Baubewilligung folgende Schadstoffgrenzwerte definiert:



Luftschadstoff	Belagswerk		Holzstaubaufbereitung	
	Fossile Feuerung *	Holzstaub-feuerung	Altholz-feuerung ¹⁾	Abluft-anlagen ²⁾
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]
Staub (PM)	20	20	20	20
Organische Stoffe (C _{ges})	80	80	50	--
Stickstoffdioxid (NO ₂)	100	150	--	--
Kohlenmonoxid (CO)	500	750	250	--
Blei und Zink (kumuliert)	5	5	5	--
Chlorverbindungen (HCl)	30	30	--	--
	[%vol.]	[%vol.]	[%vol.]	[%vol.]
O ₂ -Gehalt Abgas	17	17	11	--

Tabelle 1: Übersicht Schadstoffe (Quelle: UVB & Baubewilligung Belagswerk Wimmis)

*) LRV 01.04.2021

¹⁾ Die Grenzwerte für die Altholzfeuerung zur Trocknung der Schnitzel orientiert sich nach Ziffer 72, Anhang 2, LRV.

²⁾ Die Grenzwerte für den Staub beim Zerspannen, Mahlen und Aufbereiten orientiert sich nach Ziffer 4, Anhang 1, LRV.

Die genannten Grenzwerte sind so festgelegt, dass deren Einhaltung technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar sein sollte.

3.2 Technische Vorgaben

Der potenzielle Holzbrennstoff kann bei seiner Anlieferung als Rohbrennstoff neben den chemischen Schadstoffen auch weitere für die Holzaufbereitung ungeeignete Elemente enthalten. Sogenannte Stör- und Fremdstoffe gilt es so weit wie möglich von der Holzstaubaufbereitung fernzuhalten, da diese die Leistungswerte der Anlage minimieren oder unnötige Schäden verursachen können. Um bei der Verfeuerung des Holzstaubs in der Trocknungstrommel des Belagswerks einen ausreichenden Heizwert vorliegend zu haben, ist eine max. Feuchte beim Holzstaub einzuhalten. Somit muss der Holzbrennstoff in der Holzaufbereitungsanlage meist auf eine vom Belagswerkhersteller vorgegebene Feuchte getrocknet werden.

Der Feuchtegehalt für sauberes Schnittholz (ca. 30 %) und der von Waldschnitzel (rund 55-60 %) liegen deutlich über dem von Altholz (mittlere Feuchte von weniger als 20-25 %). Dieser Umstand lässt eine Nutzung von sauberem Schnittholz oder Waldschnitzel als möglichen Holzbrennstoff nur zu, wenn die notwendige Trocknungsenergie und die Installationen (grössere Trockner) in wirtschaftlichen Grenzen (bspw. durch Nutzung von Abwärme Dritter) gehalten werden können.



Firmen, die eine Altholzannahmestelle betreiben, bereiten das anfallende Altholz innerhalb der gesetzlichen Vorgaben für verschiedene Altholzfeuerungsanlagen auf und beliefern diese. Auf Basis dieser bereits bestehenden Prozesse werden die benötigten Mengen Altholz für das Belagswerk BWO bei der Altholzannahmestelle (=Lieferant unseres Rohbrennstoffs Holz) entsprechend unseren Vorgaben (Kapitel 3.5.1 Schadstofftrigger) konditioniert.

Durch diese Konditionierung beim Brennstofflieferanten werden die im Altholz vorkommenden Stör- und Fremdstoffe grösstenteils ausgeschieden und belasten so die Holzaufbereitungsanlage weniger.

3.2.1 Einfluss der techn. Vorgaben auf die HS-Aufbereitung

Entsprechend den physikalischen Eigenschaften des Brennstoffs Holzstaub (Anhang A1) und den möglichen Brennstofflieferanten wurde die HS-Aufbereitung ausgelegt und konzipiert.

Das Konzept der HS-Aufbereitung basiert auf der Anlieferung des Brennstoffs in Schnitzelform (P16S) und einem maximalen Feuchtegehalt von weniger als 20-25 %. Dadurch erübrigt sich einerseits die energieintensive Grobzerkleinerung von grossen Holzstücken und andererseits kann auf das Vorhalten einer überdimensionierten Trocknungsanlage für Holz verzichtet werden. Mit der Anlieferungsart "Schnitzel" (insbesondere beim Holztyp: Altholz) kann wie erwähnt der Anteil der Stör- und Fremdstoffe auf ein Minimum beschränkt werden, da diese beim Schreddern grösstenteils freigelegt und aussortiert werden.

3.3 Logistische Vorgaben

Ein weiteres nicht unwesentliches Element mit Fokus auf die Wirtschaftlichkeit ist die Verfügbarkeit und die logistischen Wege des Rohbrennstoffs Holz. Als potenzielle Brennstoffquellen für (Alt-)Holz kommen sowohl die Holzindustrie (Verwertung von sauberem Schnittholzabfall) als auch klassische Altholzentsorger in Frage, die neben den gesetzlichen auch die technischen Brennstoffvorgaben berücksichtigen. In diesem Projekt wird deswegen auf eine sehr regionale Zusammenarbeit mit entsprechend kurzen logistisch Wegen gesetzt.

3.4 Messstellen

3.4.1 Emissionsmessungen

Die Abnahme-Emissionsmessung sowie die periodischen Messungen werden nach den aktuell gültigen eidgenössischen¹ und kantonalen Vorgaben² ausgeführt. Um die einzelnen Emissionsmessungen ausführen zu können, sind in den jeweiligen Kaminschlotten unter Einhaltung der einschlägigen Vorschriften (Messplatzanforderungen) entsprechende Messstellen (EMPA-Messstutzen) verbaut.

Messstutzen	Holzstaubfeuerung	Altholzfeuerung	Abluftanlagen
[Typ]	[Stk.]	[Stk.]	[Stk.]
EMPA	2	1	je 1

Tabelle 2: Übersicht Messstutzen

Die unter Kapitel 3.1.2 gelisteten Schadstoffgrössen (-gruppen) werden in einer zweistufigen Messreihe gemessen. Die ersten Messungen erfolgen als orientierende Emissionsmessungen. Dabei werden die Schadstoffe No_x und CO gemessen. Bewegen sich diese im erwarteten Messbereich, werden die vorab erwähnten Schadstoffgrössen (-gruppen) gemessen.

¹ Emissionsmessung bei stationären Anlagen - Emissions-Messempfehlungen des BAFU. Stand 2020

² Cercl'Air-Empfehlung Nr. 29 (Stand: Nov. 2013) - Checklisten Emissionsmessungen



Nach der Betriebsaufnahme werden mit den zuständigen Stellen (Behörde, Messunternehmen, Betreiber) ein Messprogramm definiert, dass die wirtschaftliche Abhängigkeit der max. Schadstoffgrenzen aus der Verbrennung des Holzstaubs in Funktion des eingesetzten Rohbrennstoff Holz (Altholzschnitzel) und dessen Schadstoffgehalt (Deklarationsanalyse) aufzeigt.

Parallel dazu werden mit dem Lieferant des Rohbrennstoffes kostengünstigere Schnitzelchargen definiert und produziert (Kapitel 3.5.2, Brennstoffqualität). Mittels spezifischen Messkampagnen (in zeitlicher Abstimmung zum Betrieb des Belagswerks) werden die kostengünstigeren Schnitzelchargen (Rohbrennstoff) nach dem definierten Messprogramm auf ihre Schadstoffemission gemessen und beurteilt.

3.4.2 Energiemessungen

Mit der Erhebung der wichtigsten Energieverbräuche kann die notwendige Bedarfsmenge an thermischer Energie pro Belagstonne dargestellt werden. Folgende Bedarfsmengen an spezifischer Energie werden über einen längeren Zeitraum erfasst:

- die thermische Energie (Holzstaub)
- elektrische Energie der Holzstaubaufbereitung (die Erfassung des E-Verbrauchs des Belagswerks ist nicht notwendig)

Das folgende Material- und Energieflussdiagramm zeigt alle Messstellen. Im nächsten Kapitel sind zu den einzelnen Punkten 1-9 detaillierte Angaben. Die Messpunkte MP1, MP3, MP7, MP8 sowie MP9 liefern für die Beurteilung der Zielerreichung relevante Messwerte.

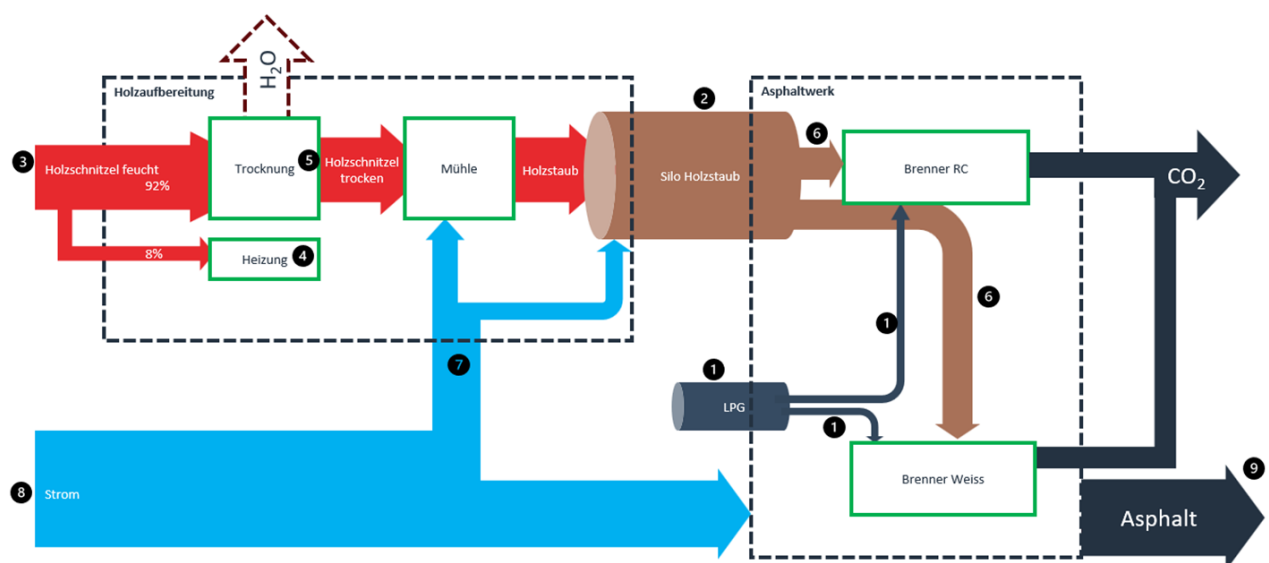


Abbildung 3 Material- und Energieflussdiagramm



3.4.3 Übersicht Ammann Steuerung AS-1

Die Ammann Steuerung, die sich in der zentralen Überwachung befindet, liefert die meisten Daten für das Monitoring. Folgende Bilder zeigen die Steuerung im allgemeinen, detaillierte Angaben sind im nächsten Kapitel beschrieben.



Abbildung 4 Aussenansicht der Anlage und der Standort der Überwachungszentrale.

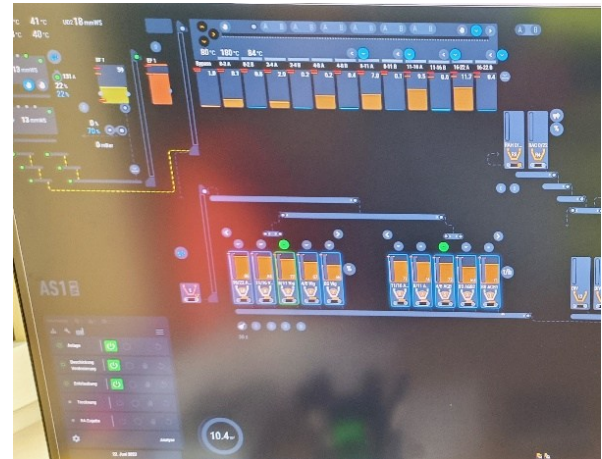


Abbildung 5: Übersicht der Anlage im AS-1 von Ammann.

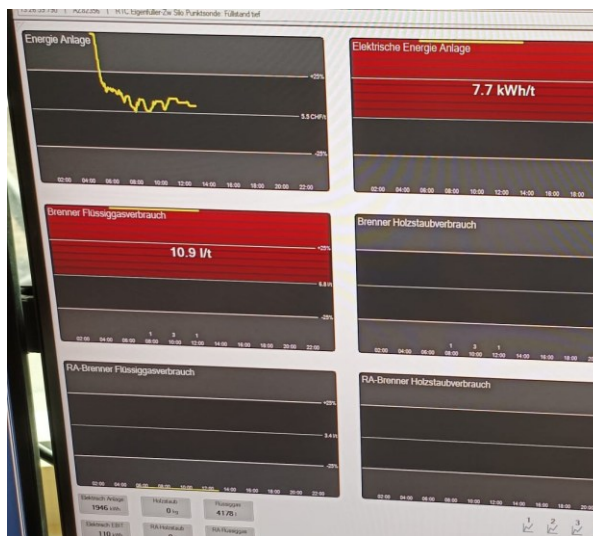
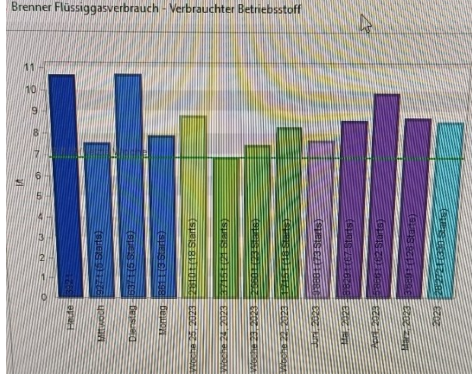
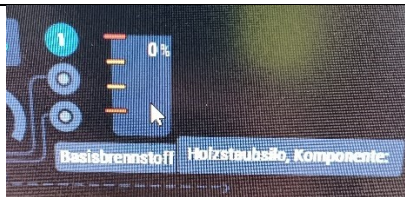


Abbildung 6: Übersicht der Energie relevanten Daten im Ecoview der AS-1.



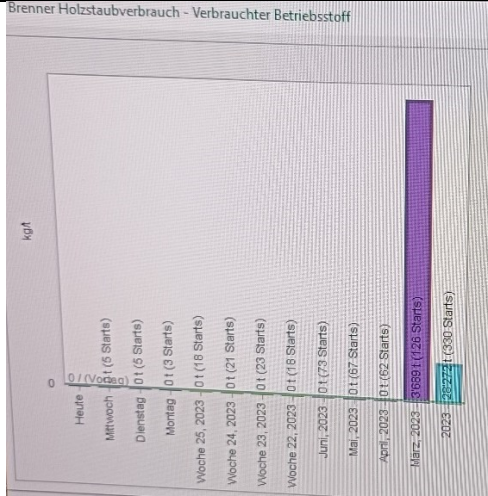
3.4.4 Detaillierte Messpunkterfassung

Nr.	Zu messende Einheit	Datenquelle / Beschreibung	Messort / Verantwortung	Bild
MP-1	LPG Gelagert in einem Tank.	Nach Monitoringkonzept wird der LPG-Verbrauch mit den Rechnungen und Füllstandveränderung ermittelt. Der Füllstand wird digital erfasst und kann jederzeit abgefragt werden. Verifikation: Der Verbrauch wird bei der Ammann Steuerung AS-1 angezeigt. Der Ausgabewert ist in Liter pro Tonnen (l/t). Dieser Wert wird mit der erfassten Asphaltmenge multipliziert und man erhält die verbrauchte Jahresmenge vom Flüssiggas. Wichtig: Beide Brenner werden einzeln ausgewiesen. Messgenauigkeit: +/- 2% Kalibrierung: Nur bei Inbetriebnahme der Anlage.	Messort: Rechnungsunterlagen Digitale Füllstandsmessung Verifikation: Überwachungszentrale Verantwortung: Enerprice hat den Zugang bei Vitogaz und kann den Verbrauch online ablesen.	
MP-2	Holzstaub Füllstand im Silo.	Der Füllstand wird mit 15 Sensoren überwacht. Die Feuchtigkeit wird nicht gemessen. Verifikation: Der Füllstand kann bei der jährlichen Revision optisch geprüft werden. Messgenauigkeit: 360m³ /15 Messungen. Also ±6.7% auf aktuellen Füllstand. Kalibrierung: --	Messort: Überwachungszentrale Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber	



MP-3	Angelieferte Holzschnitzel	Der Lieferant stellt für das angelieferte Holz eine Rechnung. Die Rechnung beinhaltet die gelieferte Menge in Tonnen. Die Kosten sind in CHF/Tonne. Die Holzfeuchtigkeit liegt bei Anlieferung zwischen 8-25%. Die Feuchtigkeit wird nach 300 Tonnen kontrolliert. Verifikation: -- Messgenauigkeit: -- Kalibrierung: --	Messort: Rechnungsunterlagen Verifikation: -- Verantwortung: Der Anlagebetreiber fasst die Daten zusammen.	
MP-4	Trocknungsanlage Holzschnitzel (Heizung)	Für das Monitoring ist dieser Messpunkt nicht relevant, da er nur auf die Effizienz der Anlage einen Einfluss hat. Für eine Auswertung können die Betriebsstunden und die Leistung abgelesen werden. Dieser Punkt wird jedoch im Monitoring nicht dokumentiert.	Messort: Überwachungszentrale Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber	--
MP-5	Trocknung Holzschnitzel	Die Trocknungsanlage misst die Feuchtigkeit des Holzschnitzels am Eingang und Ausgang der Trocknungsanlage. Mit dieser Messung wird sichergestellt, dass die Feuchtigkeit am Ausgang bei 8% liegt. Wird beim Eingang ein feuchteres Holz gemessen, so erhöht sich automatisch die Wärmenergie für die Trocknung. Die Menge des benötigten Holzes für die Trocknung wird nicht gemessen. Dieser Messpunkt ist für den internen Gebrauch. Verifikation: Sporadische Messungen des Holzstaubes. Ansonsten wird ein zu feuchtes Material im Wirkungsgrad der Anlage bemerkbar. Messgenauigkeit: 8% +/- 2% Kalibrierung: Entscheid Anlagebetreiber	Messort: Überwachungszentrale Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber	--



MP-6	Holzstaubverbrauch	Der Holzstaubverbrauch wird über die Ammann Steuerung AS-1 erfasst, die verbrauchte Holzstaubmenge wird in Kilogramm pro Tonne Asphalt (kg/t) ausgewiesen. Dieser Wert wird mit der produzierten Asphaltmenge multipliziert. Wichtig: Für beide Brenner (Weiss und RA) gibt es eine eigene Auswertung. Der Verbrauch dient für interne Optimierungsmöglichkeiten und ist im Monitoring nicht relevant. Verifikation: Durch eine indirekte Messung via Förderschnecke wäre der Holzstaubverbrauch messbar. Messgenauigkeit: -- Kalibrierung: --	Messort: Überwachungszentrale Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber	
MP-7	Strombedarf Holzaufbereitung	Der Strombedarf für die Holzstaubaufbereitung wird mit einem eigenen Stromzähler gemessen. Die Messung ist im Zuleitungsgebäude installiert. Verifikation: Die Anlage gibt den Strombedarf auch in kWh/t an, so kann der Stromverbrauch, der Asphalt- und der Holzstaubanlage berechnet werden. Messgenauigkeit: -- Kalibrierung: --	Messort: Ablesewert Stromzähler im Zuleitungsgebäude Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber Enerprice verlangt einen jährlichen Auszug der Daten	



MP-8	Strombedarf Gesamtanlage	Dieser Messpunkt misst den gesamten Stromfluss der Anlage. Der Netzbetreiber sowie der Energielieferant stellen monatlich eine Rechnung. Verifikation: Die Anlage gibt den Strombedarf in kWh/t an, so kann der Stromverbrauch verifiziert werden. Messgenauigkeit: Klasse B gemäss Metering Code Schweiz Kalibrierung: In Verantwortung des Netzbetreibers	Messort: Rechnungen Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber Enerprice verlangt einen jährlichen Auszug der Daten	--
MP-9	Asphalt Produktion	Die produzierte Menge an Asphalt wird bei der Ammann Steuerung AS-1 erfasst. Anhand dieser Messung wird den Kunden die Rechnung erstellt. Die produzierte Menge ist bei jedem Diagramm zusammengefasst. Verifikation: Durch den Energieverbrauch pro Tonne Asphalt Messgenauigkeit: +/- 2% Kalibrierung: Durch Ammann mit Werkseigenen Produktionskontrollen	Messort: Überwachungszentrale Verifikation: -- Verantwortung: Anlagebetreiber Enerprice verlangt ein jährlicher Auszug der Daten	



3.5 Brennstoff-Bereitstellung

Ein wesentlicher Aspekt, damit sich der Betrieb eines CO₂-neutralen Brennstoffes (Holzstaub) gegenüber dem Betrieb eines Belagswerks mit fossilem Brennstoff wirtschaftlich durchsetzen kann, ist auch eine einfache Bereitstellung des Brennstoffs durch den Brennstofflieferanten. D.h. es muss ein pragmatischer Ansatz bezüglich Schadstoffermittlung im CO₂ freien Brennstoff geben, damit die zukünftig definierten Schadstoffgrenzwerte bei Belagswerken, die mit solchen CO₂-neutralen Brennstoffen betrieben werden, gegeben sind.

Ziel ist es:

- Bei potenziellen Brennstofflieferanten soll ohne (nennenswerter) Zusatzaufwand und auf Basis ihrer heute bereits umgesetzten gesetzlichen und betrieblichen Vorgaben aus bekannten Holzressourcen ein zulässiger Rohbrennstoff Holz (Altholz) konditioniert werden, der als aufbereiteter Holzstaub, für CO₂-neutrale Brennstoffe mit derselben Anlagenkonfiguration wie beim BWO, die neu in der LRV definierten Schadstoffgrenzwerte einhalten kann.

Damit dieser Balanceakt gelingt, müssen bei der Bereitstellung des Brennstoff- die beiden Bereiche:

- | | | |
|--------------------------------|---|--|
| - Bereitstellung Rohbrennstoff | → | Prüfung Brennstoffqualität (Eingangskontrolle) auf Schad-, Stör- und Fremdstoffe |
| - Belagswerk | → | Abluftmessung (Schadstoffe gemäss LRV) |

als Einheit gesehen werden.

Durch ein prozesssicheres und sauberes Bereitstellen der Holzschnitzel beim Brennstofflieferant (Kapitel 3.5.2, Brennstoffqualität) wird gewährleistet, dass bei der Verbrennung der Holzschnitzel als Holzstaub die bewilligten Schadstoffgrenzwerte eingehalten werden können.

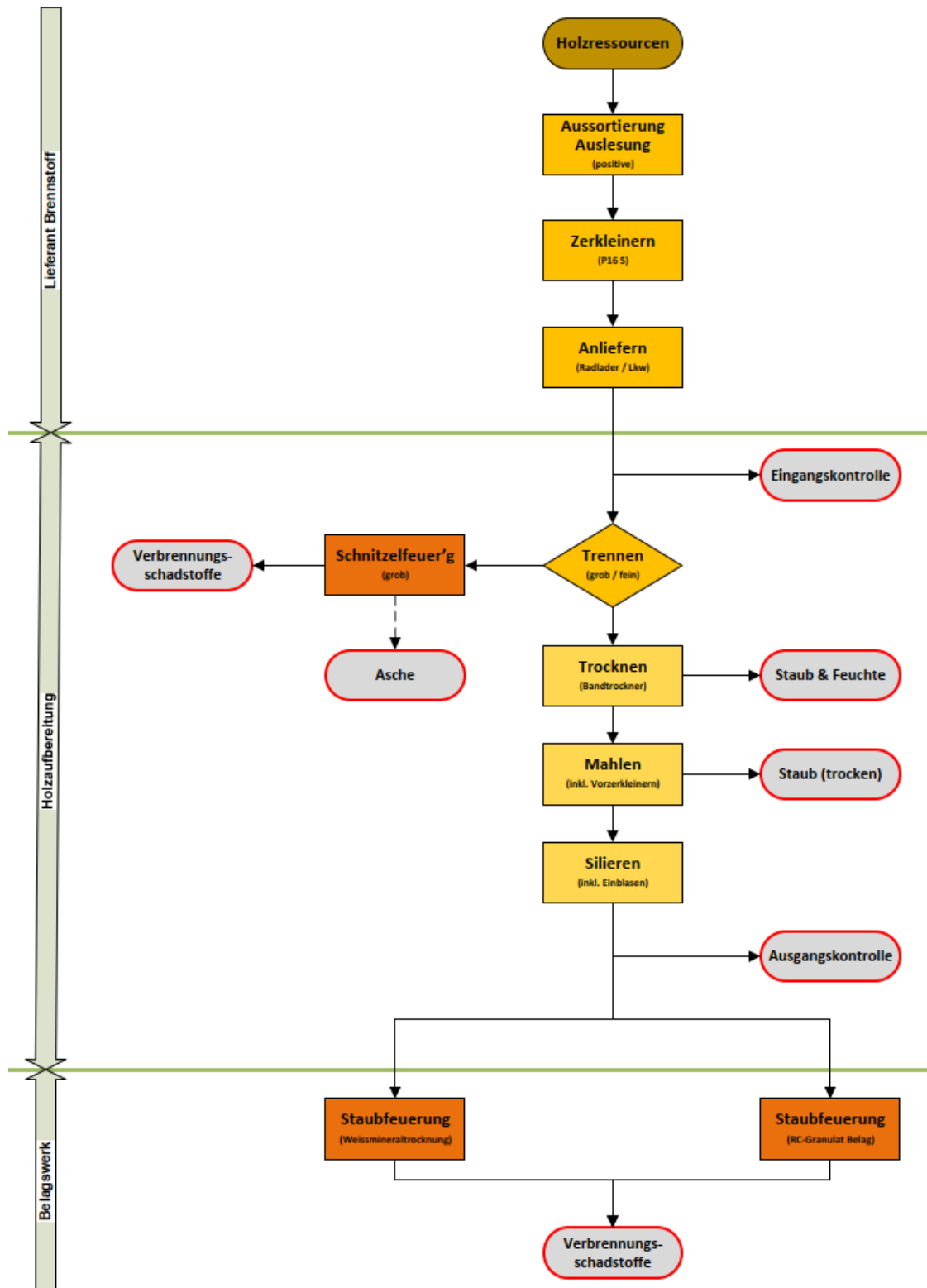


Abbildung 7: Vereinfachter Ablauf Materialfluss Brennstoff Holz



3.5.3 Erstbrennstoff – Holzstaub aus «sauberem Altholz»

Der Schadstoffgehalt in der Abluft des Belagswerks ist wie erwähnt stark abhängig von den verschiedenartigen Verunreinigungen des "Rohbrennstoff" Altholz. Um die potenziellen Schadstoffquellen eingrenzen zu können, wird bei der Inbetriebnahme BWO mit "sauberem" Altholz gefahren, das durch eine positive Auslese basierend auf dem triagierten Altholzlager für die thermische Verwertung³ gewonnen wird. Diese erschwerte Bereitstellungsart verursacht beim Brennstofflieferanten zwangsläufig einen sehr hohen Arbeitsaufwand mit entsprechender Kostenfolge. Mit systematischen Analysen (Deklarationsanalysen) des Rohbrennstoffs stellt der Brennstofflieferant sicher, dass eine konstante Brennstoffqualität angeliefert wird.

3.5.4 Weitere Brennstoffe – Holzstaub aus selektiertem Altholz

Die Bereitstellungskosten von Altholzschnitzel mit entsprechender Brennstoffqualität sind ein wesentlicher Erfolgsfaktor für eine wirtschaftliche Nutzung des Brennstoffs Altholz gegenüber fossilen Brennstoffen bei Belagswerken.

Aufgrund dieser Tatsache werden im Nachgang zur Betriebsaufnahme des Belagswerks weitere kostengünstigere Bereitstellungsarten evaluiert, die die Brennstoffqualitäten gemäss Tabelle 1 Kapitel 3.1 einhalten.

Nachfolgende Tabelle zeigt mit der Bezeichnung «LRV-Brennstoff 1 bzw. 2» zwei mögliche Gewinnungsarten für den Rohbrennstoff gegenüber der erwähnten positiven Auslese.

Bezeichnung	Gewinnungsart	Altholz-Basis	Bemerkungen
Sauberes Altholz	Positive Auslese	Stoffliche Verwertung bzw. LRV Anh. 5 Ziff. 31 Abs. 1 und 2a	Nur geeignetes Holz aussortiert
LRV-Brennstoff 1	Kompl. Shreddern auf 0-20mm	Stoffliche Verwertung bzw. LRV Anh. 5 Ziff. 31 Abs. 1 und 2a	
LRV-Brennstoff 2	Nur Aussieben auf 0-20mm	Stoffliche Verwertung bzw. LRV Anh. 5 Ziff. 31 Abs. 1 und 2a	Potenziell erhöhter Schadstoffgehalt am Feinkorn

Tabelle 4: Unterschiedliche Brennstoffqualität basierend nach ökonomischen Bereitstellungsaufwand

Diese Rohbrennstoffe «LRV-Brennstoff 1 bzw. 2» werden dann ebenfalls in der Holzstaubaufbereitungsanlage zu Holzstaub aufbereitet.

Durch die Möglichkeit einer Bypass-Schnecke können diese Holzstäube den Holzstaubsilo umfahren und die Schadstoffemission können zeitnah mittels weiterer Messreihen validiert werden.

Werden bei diesen Messungen die behördlich vorgegebenen Schadstoffgrenzwerte eingehalten, werden die Gestehungskosten dieser Brennstoffe den Gestehungskosten der gängigen fossilen Brennstoffe (Heizöl, LPG oder LNG) gegenübergestellt und bewertet.

Können bei diesen Messungen die behördlich vorgegebenen Schadstoffgrenzwerte jedoch nicht eingehalten werden, ist je nach Spannweite der gemessenen Schadstoffwerte eine Kosten- / Nutzenabwägung sinnvoll. Evtl. hilft auch eine LRV-Erleichterung, damit die Idee, die Belagswerke zukünftig mit CO₂-neutralen Brennstoffe zu betreiben, skalierbar wird.



4 Durchgeführte Arbeiten

4.1 Realisierung

Gemäss ursprünglichem Plan ging die Asphaltanlage Anfang März 2023 in Betrieb. Die Inbetriebnahme der Holzstaub-Aufbereitungsanlage war für Sommer 2023 vorgesehen. Dieser Termin konnte jedoch nicht eingehalten werden, da bei der initialen Inbetriebnahme der Holzaufbereitungsanlage im August 2023 verschiedentliche Prozessschritte nur ungenügend funktionierten und verbessert werden mussten. So mussten die ursprünglichen Austragsschnecken unterhalb des Schnitzelbunkers durch neu hergestellte Förderschnecken mit den korrekten Förderwinkeln im Oktober 2023 ersetzt werden.

Mit fortschreitender Inbetriebnahme zeigte sich weiter, dass der Vorbehälter unterhalb des Holzstaubsilos nur ungenügend und nicht zeitgerecht mit Holzstaub aus dem darüberliegenden Holzstaubsilo versorgt wurde. Die grosse Austragsschnecke über dem Boden des Holzstaubsilo förderte den Holzstaub aus dem Holzstaubsilo diskontinuierlich nach ansprechen der Füllstandsonden im Vorratsbehälter. Durch eine Neuordnung dieser Füllstandsmelder im Vorbehälter konnte dieser Prozessschritt deutlich verbessert werden.

Im Zuge der andauernden Inbetriebnahme zeigte sich bei längeren Betriebszeiten folgendes. Die geplante und ursprünglich umgesetzte Austragsituation mit einem schrägverlaufenden Fallrohr unterhalb des Mühlefilters war nicht ideal (Anbackungen von Holzmehl im Schrägrohr). Dieses Schrägrohr musste durch ein vertikalverlaufendes Fallrohr und einer horizontalen Förderschnecke ersetzt werden. Anschliessend konnte mit der Inbetriebnahme weitergefahren werden. Dass die ursprüngliche Ausführung unterhalb der Zellradschleuse mittels Schrägrohr nicht ideal ist, offenbarte sich durch das Ansprechen des Füllstandsmelder in der Zellradschleuse und der nachfolgenden Überprüfung der Zellradschleuse und des Schrägrohrs. Bei dieser Überprüfung zeigte sich weiter, dass sich ein Glimmbrand im Schrägrohr entwickelte, vermutlich ausgelöst durch einen Funkenwurf aus der Holzstaubmühle. Unter einem Glimmbrand versteht man das langsame Verglimmen der Bestandteile eines Baustoffes oder von Kohle. Die allgemeine Definition ist die unvollständige Verbrennung aufgrund mangelhafter Sauerstoffzufuhr. Daraus resultiert eine niedrige Verbrennungstemperatur von 500 – 1000 °C.

Bei der Anlagenplanung wurde das Risiko eines Glimmbrandes als sehr klein eingeschätzt und folglich auf eine Glimmbranderkennung mit Löschvorrichtung verzichtet. Dieser Entscheid wurde folglich revidiert und für die kritischen Stellen wurde eine entsprechende Funkenerkennungs- und Löscheinrichtung nachbestellt. Das Material ist im Dezember 2023 und Januar 2024 eingetroffen und wurde anschliessend eingebaut.

Die daraufhin erneut durchgeführten Tests konnten positiv abgeschlossen werden. Es wurde aufgezeigt, dass die Einstellungen, welche die Detektionsrate bestimmen, einen normalen Betrieb ermöglichen. Somit konnten auch die Inbetrieb- und Abnahme sowie die Fertigstellungsarbeiten durchgeführt werden.

4.2 Messkampagne

Im Oktober 2024 fand die erste orientierende Messkampagne (Betriebsmessung) gemeinsam mit dem Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern statt. Ziel war die Überprüfung der Schadstoffemissionen bei der BWO. Diese Messungen wurden mit Holzstaub auf Basis von «sauberem Altholz» gemäss Kapitel 3.5.3 durchgeführt. Es konnte festgestellt werden, dass die Grenzwerte bei der Feuerung für die Trocknung der Schnitzel grösstenteils eingehalten wurden. Bei der Holzstaub-Feuerung für die Erhitzung der Gesteinskörnung und der RC-Granulate wurden die Grenzwerte jedoch überschritten. Aufgrund von Ungereimtheiten in der Bewertung der Resultate (erhöhter Schwermetallausstoss bei gleichem Energieträger wie bei der Schnitzelheizung) wurde eine erneute Messkampagne auf das 3. Quartal 2025 angesetzt.



4.3 Aktueller Betrieb

Aktuell läuft die Anlage unter Produktionsbedingungen. Da der Betrieb der Asphaltproduktion mit Holzstaub noch nicht optimal funktionierte, wurde seit der Inbetriebnahme Anfang März 2023 der grösste Teil des Asphalts mit LPG hergestellt. Der Holzstaubbetrieb wird jedoch kontinuierlich eingefahren und der Anteil des Holzes an der Wärmeerzeugung laufend erhöht. Die Erfahrungen aus dem effektiven Betrieb zeigen jedoch, dass der ursprünglich geplante Anteil von fünf bis acht Prozent der angelieferten Holzmenge nicht ausreicht, um die erforderliche Trocknungswärme zu erzeugen. Der tatsächliche Anteil liegt bei rund 15 % der gesamten angelieferten Holzschnitzelmenge. Das Produktionspotenzial von 150'000 Tonnen Asphalt pro Jahr konnte in den Jahren 2023 und 2024 nicht ausgeschöpft werden, wobei in beiden Jahren rund ein Drittel weniger Asphalt produziert wurde. Das Ziel für das Jahr 2025 besteht darin, Asphalt unter Verwendung von 70 % Holzstaub und 30 % LPG herzustellen.



5 Ergebnisse und Diskussion

Bei den technischen und technoökonomischen Ergebnissen handelt es sich um vorläufige Auswertungen anhand des noch nicht optimal funktionierenden Prozesses der Holzstaubaufbereitung/-erzeugung.

5.1 Technische Kennzahlen

Die geplante Anlage konnte im März 2023 ihren Produktionsbetrieb aufnehmen. Die installierte thermische Leistung für die Erwärmung des Grundmaterials liegt bei rund 30.7 MW. Folgende Kennzahlen werden im Betrieb des Belags- und Holzstaubwerks erreicht:

Produktionsleistung Asphaltbelag:	max. 320 t/h
Leistungsbedarf (thermisch):	ca. 65-85 kW/t
Leistungsbedarf (elektrisch):	ca. 9.5 – 12.25 kW/t
Holzstaubbedarf:	ca. 15.3 kg/t (abhängig von Feuchte des RC-Asphaltgranulats – 3% Feuchte)

Bei maximaler Produktionsleistung sowie einem maximalem Holzstaubanteil von 95% muss somit 4'800 kg/h Holzstaub (ca. 30 m³) zur Verfügung stehen.

Bei einer jährlichen Produktionsmenge von 110'000t Asphaltbelag wird entsprechend der Kennzahlen 1'700 t Holzstaub benötigt. Durch diese Substitution resultiert eine CO₂-Einsparung von ca. 1'600 t/a bzw. 95% gegenüber einem konventionellen fossilen Betrieb.



5.2 LRV-Konformität

Bei der ersten orientierenden Schadstoffmessung durch das AUE wurden Messungen an der Altholzfeuerung für die Schnitzeltrocknung sowie an der Belagswerk-Feuerung für die Erhitzung der Gesteinskörnung und der Recycling-Granulate durchgeführt. Die Altholzfeuerung wird mit nicht getrockneten Holzschnitzen bestückt und die Belagswerk-Feuerung mit dem aufbereiteten und getrockneten Holzstaub betrieben. Nachfolgende Tabelle stellt die Messresultate gegenüber den Grenzwerten dar.

	Belagswerk		Holzstaubaufbereitung	
Luftschadstoff	Holzstaub- feuerung Grenzwerte	Holzstaub- feuerung Messwerte	Altholz- feuerung Grenzwerte	Altholz- feuerung Messwerte
	[mg/m ³]		[mg/m ³]	[mg/m ³]
Staub (PM)	20	<20	20	<20
Organische Stoffe (C _{ges})	80	810	50	<2
Stickstoffdioxid (NO ₂)	150	95	--	
Kohlenmonoxid (CO)	750	750	250	95
Blei und Zink (kumuliert)	5	Ca. 9	5	2.1
Chlor- verbindungen (HCl)	30	45	--	39.8
	[%vol.]		[%vol.]	[%vol.]
O ₂ -Gehalt Abgas	17	17	11	-11-

Tabelle 5: Messwerte der ersten orientierenden Schadstoffmessung gem. Angaben BWO AG

Der zu hohe HCL-Wert könnte möglicherweise auf einen zu hohen Grün- bzw. Rindenanteil im Altholz hinweisen. Obwohl die Altholzfeuerung und die Belagswerk-Feuerung mit demselben Brennstoff betrieben wurde und bei der Altholz-Feuerung die Grenzwerte mehrheitlich eingehalten wurden, wurden die Grenzwerte bei der Belagswerk-Feuerung überschritten. Die Grenzwertüberschreitung bei den organischen Stoffen (C_{ges}) könnte möglicherweise auf eine unzureichende Brennerstabilität (unstete Belagsproduktion) während der Messung hinweisen. Bei den kumulierten Werten von Blei und Zink wird angenommen, dass Quellen ausserhalb des Brennstoffs zu suchen sind, welche für die Überschreitung der Grenzwerte verantwortlich sind. Aufgrund der Ungereimtheiten wurde eine erneute Messkampagne auf das 3. Quartal 2025 angesetzt. Diese Resultate liegen zum Zeitpunkt dieser Berichtlegung noch nicht vor.



5.3 Energiemessungen

Da die Energiemessungen bislang noch nicht lückenlos über einen längeren Betrachtungszeitraum aufgenommen werden konnten, der angestrebte Holzstaubanteil von 95% noch nicht erreicht ist und allenfalls noch Optimierungen aufgrund der LRV-Messungen vorgenommen werden müssen, entsprechen die nachfolgenden Energieverbrauchsdaten noch keinen finalen repräsentativen Zahlen. Die folgenden Energiedaten des Produktionsjahres 2024 dienen jedoch als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Betriebsdaten 2024

Produktionsmenge Asphaltbelag:	ca. 110'000 t/a
LPG-Verbrauch (thermisch):	~860 m ³
Holzstaubverbrauch «Sauberes Altholz» (thermisch):	~500 t
Anteil Holzstaub an Gesamtenergiebedarf thermisch:	~25% (von theoretisch 95-97%)
Thermischer Energiebedarf inkl. Altholzfeuerung (Trocknungswärme):	~8'400MWh (77 kWh/t)
Stromverbrauch Asphaltwerk + Holzstaubanlage:	~1'100MWh (10.3 kWh/t)
Stromanteil des Asphaltwerks:	~92%

5.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung

5.4.1 Wirtschaftlichkeit Pilotanlage

Durch die Änderungen bzw. Nachrüstungen an der Holzstaub-Anlage mussten Mehrinvestitionen bei den Baumeisterarbeiten (BKP 100/200) sowie den Sanitär- und Heizungsarbeiten (BKP 400) getätigt werden, was sich zudem auf die übrigen Aufwendungen und Honorare auswirkte. Weitere Mehrkosten entstanden aufgrund Teuerungseffekten (europäische Zulieferer). Zusätzlich müssen noch 150'000CHF für die Schadstoffmesskampagnen sowie die kontinuierliche Messeinrichtung investiert werden. Die Mehrinvestitionen belaufen sich gegenüber der Projekteingabe auf ca. 700'000 CHF.

Die Gesamtkosten pro Tonne Asphaltbelag über die Nutzungsdauer von 15 Jahren liegen bei einem Betrieb gemäss dem Produktionsjahr 2024 bei hochgerechnet 110'000 Tonnen produziertem Asphaltbelag bei rund 12.7 CHF/t wobei Referenzanlagen dieselbe Produktionsmenge mit ungefähr 10.6 CHF/t Asphaltbelag produzieren können. Unter den im Jahr 2024 vorherrschenden Produktionsbedingungen war ein wirtschaftlicher Betrieb somit nicht möglich. Dabei ist zu beachten, dass bisher weder die Schadstoffgrenzwerte eingehalten noch Asphaltbelag mit dem angestrebten Anteil von mindestens 95 % Altholz (25% im Jahr 2024) produziert werden konnte. Ob das Projektziel, eine langfristig wirtschaftliche Anlage zu realisieren, erreicht werden kann, lässt sich daher zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschliessend beurteilen. Aus demselben Grund kann auch das Ziel einer nahezu CO₂-neutralen Produktion von Asphaltbelag unter Verwendung von Holz bzw. Altholz als primärem Brennstoff noch nicht zweifelsfrei bestätigt werden.

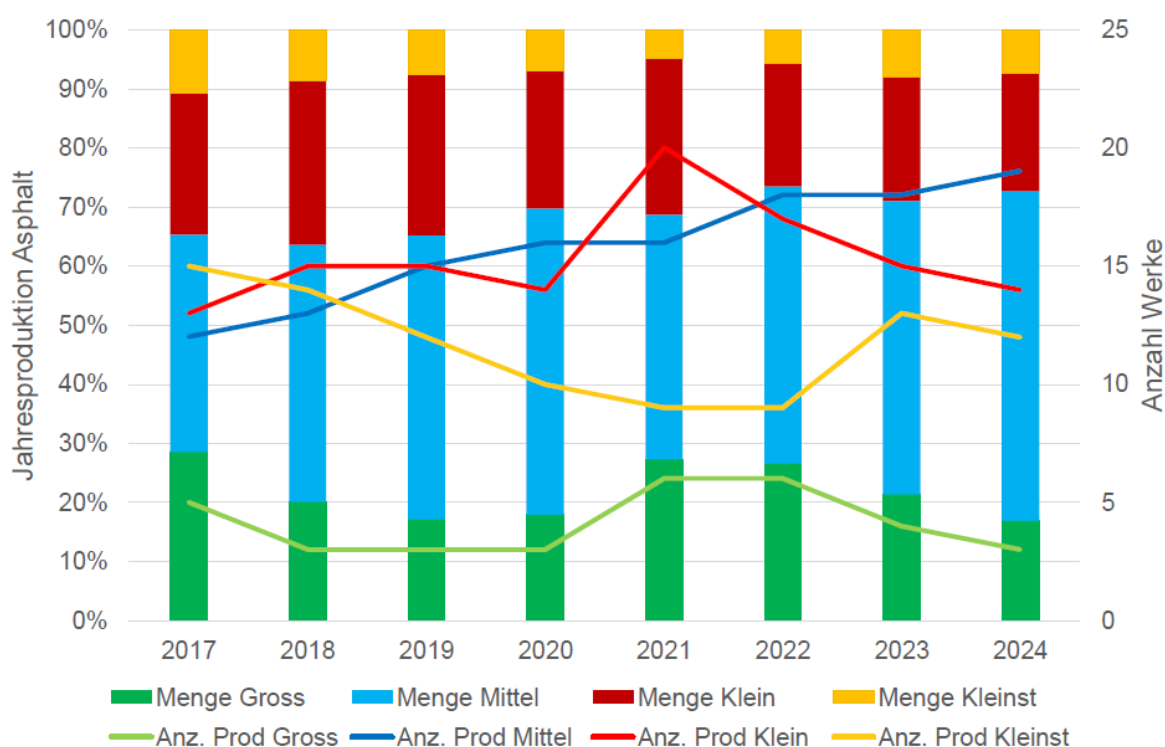
Im laufenden Jahr 2025 wird der Holzstaubanteil auf 80% erhöht. Gleichzeitig soll eine Reduktion des Einkaufspreises des erneuerbaren Brennstoffes durch das Weglassen des «Auslese-Prozesses» angestrebt werden. Zudem sollen die bisherigen spezifischen Energiegrössen gefestigt bzw. bestätigt werden.



5.4.2 Skalierung der Technologie

Das Projekt soll die Skalierbarkeit von Holzstaubfeuerungen aufzeigen. Belagswerke in der Schweiz produzieren von 80'000 – 150'000t Asphaltbelag pro Jahr. Das nachfolgende Diagramm in Abbildung 8 zeigt, mit welchen jährlichen Produktionsmengen (Gross, Mittel, Klein, Kleinst) die Schweizer Asphaltwerke in den vergangenen Jahren produziert haben. Auf der linken Achse sind die Anteile an der gesamten Jahresproduktion dargestellt. Rechts ist ersichtlich, wie viele Werke in den jeweiligen Jahren in den erwähnten Kategorien eingeordnet wurden. Man erkennt, dass sich die Branche in einem Strukturwandel befindet.

- Abnahme der Anzahl Werke mit kleinen und sehr kleinen Produktionsmengen
- Zunahme der Anzahl Werke mit mittleren Produktionsmengen
- Stabilität bei den grossen Produktionsmengen
 - o Ausnahme: sehr hohe Mengen in 2021/22
- Wachstum der Werke mit grossen und mittleren Produktionsmengen insgesamt



Produktion im Jahr von im Schnitt 55 Werken mit einer Gesamtproduktionsmenge von ca. 3.5Mio Tonnen Asphalt: Kleinst bis 35kt; Klein bis 70kt; Mittel bis 140kt; Gross ab 140kt

Abbildung 8: Produktionsstruktur von Schweizer Asphaltwerken



Da die Anlagengrösse die Rentabilität von Asphaltwerken wesentlich beeinflusst, werden zur Beurteilung der Skalierbarkeit zwei unterschiedliche jährliche Ausstossmengen betrachtet. Untersucht werden einerseits eine Anlage im mittleren Schweizer Kapazitätsbereich mit 110'000 Tonnen Jahresleistung und andererseits eine Grossanlage mit 150'000 Tonnen. Ob grosse Mengen Asphaltbelag produziert werden können, ist stark davon abhängig inwiefern Grossprojekte (bspw. Autobahnausbauten) vorhanden sind oder wie die öffentliche Hand in Strassenbauprojekte investiert. Auch das Einzugsgebiet bzw. die Standortfrage gilt es dabei zu beachten.

Ein weiterer entscheidender Faktor für die Rentabilität sind die Investitionskosten der Holzstaubproduktion. Durch optimierte Anlagenplanung und technischer Weiterentwicklung darf davon ausgegangen werden, dass die Investitionskosten für Folgeprojekte reduziert werden können. Dies würde bedeuten, dass sich die Investitionssumme für eine grössere Holzstaubaufbereitungsanlage (für Asphaltwerke bis zu 150'000 t/a Produktionsleistung) auf rund 5.2 Millionen CHF senken liesse, während eine Anlage für Asphaltwerke mit 110'000 Tonnen jährlicher Ausstossmenge bereits mit etwa 4 Millionen CHF realisierbar wäre.

Auch die Wahl der Brennstoffquelle (im Projekt Altholzschnitzel) kann einen Einfluss auf die Investitionskosten haben. So ermöglichen Pellets oder Rückstand aus der Holzbearbeitung (Späne, Staub, usw.) den Einsatz kleinerer Mühlen für die Holzstaubproduktion. Bei einem erhöhten Staubanteil im Rohbrennstoff steigt jedoch auch die Explosionsgefahr, was zu Mehrkosten für zusätzliche Sicherheitsmassnahmen führen kann.

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor auf die Rentabilität ist der Einkaufspreis des Brennstoffs. Dabei stellt sich insbesondere die Frage nach der Verwendung von Altholz im Vergleich zu sauberem Schnittholz, aber auch nach Schnitzel oder Pellets. Ausschlaggebend für die Wahl dürften ausreichend geeignete Bezugsquellen wie Altholzammelstellen oder grosse Holzverarbeiter wie die Möbelindustrie in einem wirtschaftlich tragbaren Einzugsgebiet einer Anlage sein. Da die Transportkosten eine zentrale Rolle spielen, wird ein Einzugsradius von maximal 50 bis 80 Kilometern als ideal betrachtet.

Ein zusätzlicher Einfluss auf die Rentabilität ergibt sich, wenn höhere Käuferlöse pro Tonne CO₂ (reduziertem) Asphalt erzielt werden könnten bzw. wenn CO₂-Abgaben auf Asphalt, welcher mit fossilen Brennstoffen hergestellt wurde, erhoben würden.

Die nachfolgenden Abbildung 9 zeigt wie sich die Amortisationsdauer durch Anpassungen der vorab erwähnten Einflussfaktoren verhalten.



		Szenario 3	Szenario Break even (CHF/t 110.-)		Szenario Break even (CHF/t 60.-)	
	Einheit	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J inkl. Mehrkosten	Holzstaub Asphaltproduktion 150'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 150'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J
Daten der Anlagen						
Investition	CHF	6'120'500	5'200'000	4'000'000	5'200'000	4'000'000
Investitionsbeitrag	%					
Investitionsbeitrag	CHF	1'437'191	-	-	-	-
Anschaffungswert	CHF	4'683'309	5'200'000	4'000'000	5'200'000	4'000'000
Restwert	CHF	-	-	-	-	-
Nutzungsdauer	Jahre	15	15	15	15	15
Auslastung	Tonnen/Jahr	110'000	150'000	110'000	150'000	110'000
Kalkulationszinsfuss	%	3%	3%	3%	3%	3%
Umrechnungsfaktor CO2	kgCO2/l					
CO2-Ausstoss	tCO2/Jahr					
Preis CO2-Bescheinigungen	CHF/tCO2eq	100	100	100	100	100
Ertrag CO2 Bescheinigungen	CHF/Jahr	205'488	280'211	205'488	280'211	205'488
Variable Kosten (CHF/Jahr), bei obiger Auslastung - für Holzaufbereitung						
Anteil Lohn und Lohnnebenkosten	CHF	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000
Werkzeuge, Betriebsstoffe u.a.	CHF	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000
Verbrauch Holzbrennstoff	kg/Jahr	1'828'750	2'493'750	1'828'750	2'493'750	1'828'750
Heizwert	kWh/kg	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
Energieverbrauch Holz Produktion	kWh	7'315'000	9'975'000	7'315'000	9'975'000	7'315'000
Energieverbrauch Holz Trocknungsanlage	kWh	731'500	997'500	731'500	997'500	731'500
Energiepreis Holzbrennstoff (Einkauf)	CHF/kg	0.110	0.110	0.110	0.060	0.060
Energiepreis Holzbrennstoff	Rp./kWh	2.500	2.500	2.500	1.364	1.364
Energiepreis Flüssiggas	Rp./kWh	6.868	6.868	6.868	6.868	6.868
Energie und sonstige variable Kosten	CHF	348'104	452'870	348'104	328'182	256'667
Gesamtkosten						
Kalkulatorische Abschreibungen	CHF/Jahr	312'221	346'667	266'667	346'667	266'667
Kalkulatorische Zinsen	CHF/Jahr	70'250	78'000	60'000	78'000	60'000
Total Kosten	CHF/Jahr	730'574.54	877'536.17	674'770.97	752'848.67	583'333.47
Erträge und Einsparungen						
Ertrag CO2 Bescheinigungen	CHF/Jahr	205'488	280'211	205'488	280'211	205'488
Ertrag CO2-freier Asphalt	CHF/Jahr	55'000	150'000	110'000	150'000	110'000
Einsparungen Betrieb gegenüber Referenzprojekt	CHF/Jahr	-147'733	-102'388	-91'929	22'299	-492
Nettonutzen I (2023-2029)	CHF/Jahr	112'756	327'823	223'559	452'511	314'997
Nettonutzen II (2030-2037)	CHF/Jahr	-92'733	47'612	18'071	172'299	109'508
Payback Amortisation	Jahre	277.8	26.4	31.3	16.2	18.3

Abbildung 9: Business Case Holzstaubanlage

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Grossanlagen in der Regel bessere Payback Zeiten erreichen und sich daher besser für den Einsatz von Holzstaubanlagen auf Altholzbasis eignen als mittelgrosse Anlagen. Die Tendenz zu immer grösseren Werken begünstigt künftig die Wirtschaftlichkeit von Holzstaub-Anlagen.

Weiter zeigt sich, dass eine Amortisation unter zwanzig Jahren mit einem Einkaufspreis des Rohbrennstoffs Holz (110CHF pro Tonne), nicht erreichbar ist. Selbst dann nicht, wenn der Ertrag aus dem Verkauf von CO₂-freiem Asphaltbelag einen Mehrertrag von 1 CHF pro Tonne einbringen würde. Eine vernünftiger Payback-Dauer von ca. 16 bzw. 18 Jahren lässt sich dennoch erreichen, wenn zusätzlich auch der Einstandspreis der Altholschnitzel auf 60 CHF pro Tonne gesenkt werden könnte. Aktuell muss jedoch durch ein aufwendiges Ausleseverfahren beim Altholzlieferanten sichergestellt werden, dass die Holzschnitzel nicht zu stark mit Stör- und unzulässigen Schadstoffen versetzt sind. Eine Reduktion des aktuellen Einkaufspreises lässt sich aktuell jedoch kaum realisieren. Die zweite Frage lautete, ob sich am Markt ein Zusatzertrag durch den Verkauf von CO₂-freiem Asphaltbelag erreichen lässt, was mit Mehrkosten für den Endkunden einhergehen würde.

Die dargestellten Szenarien basieren zudem darauf, dass der produzierte Holzstaub aus Altholz einen Heizwert von 4.4 kWh/kg aufweist, was gemäss der Erfahrung des Anlagebetreibers realistisch erscheint. Es wurde ausserdem angenommen, dass über einen Zeitraum von acht Jahren



Bescheinigungen aus einem BAFU-Kompensationsprojekt verkauft, werden könnten, wodurch gegenüber herkömmlichen fossilen Lösungen ein zusätzlicher Ertrag erzielt würde (gleiche Ausgangslage wie Pilotprojekt). Würden über die gesamte Dauer des Kompensationsprojekts von 15 Jahren Bescheinigungen ausgestellt und mit einem tiefen Brennstoffpreis (<60CHF/t) produziert, könnte auch ohne Mehrertrag eine Payback-Dauer unter 20 Jahren erreicht werden. Ob und wie hoch diese Mehrerträge zukünftig ausfallen werden, ist von den gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängig.

5.4.3 Weiterführende wirtschaftliche Überlegungen

Ein längerfristiges Bestehen von neuen marktorientierten Ideen ist nur gegeben, wenn sich diese auch wirtschaftlich nachhaltig etablieren können. Dies heisst im vorliegenden Fall konkret, dass der in Frage kommende CO₂-neutrale Brennstoff

1. beim Belagswerk keine nennenswerten Mehrinvestitionen in Form von weitergehenden Abgasnachbehandlungsanlagen (NO_x-Reduktion, usw.) notwendig macht
2. mit seinen Gestehungskosten pro kW thermischer Leistung nicht höher liegt als die heute genutzten fossilen Brennstoffe

Zwar konnten schon vielversprechende Betriebserfahrungen mit ausländischen Anlagen gesammelt werden, die das Potenzial der Mehrstoffbrennertechnologie aufzeigen (Kapitel 2.1). Auf Basis der bisher erreichten Ergebnisse zur vorliegenden Feststofffeuerungsanlage (v.a. in Tabelle 5) konnte jedoch noch nicht nachgewiesen werden, dass mit dem eingesetzten Brennstoff Holzstaub nach Anh. 5 der LRV die Schweizer Emissionsgrenzwerte ohne weitergehende Abgasnachbehandlung als bei einem Belagswerk mit fossilem Brennstoff eingehalten werden können. Deshalb kann im Moment auch noch nicht abschliessend bestätigt werden, dass die Investitionskosten beim Belagswerk (Punkt 1) effektiv auf einem Minimum gehalten werden.

Die Gestehungskosten pro kW thermischer Leistung (Punkt 2) summieren sich

- a) aus den notwendigen Anlagekosten (Aufbereitungsanlage Holzstaub – Kapitel 2.1.1)
- b) aus den erhöhten Betriebskosten (Energie, Wartung & Unterhalt, usw. der Aufbereitungsanlage Holzstaub)
- c) und aus dem Einkaufspreis des Rohbrennstoffs (Brennstoffqualität – Kapitel 3.5.2)

Ein grosser Hebel zur Senkung der Gesamtkosten (Investition & Betrieb) liegt beim Einkaufspreis des Rohbrennstoffs (Punkt 2c). Diese Kennzahl wird direkt beeinflusst durch mögliche zukünftige LRV-Erleichterungen der potenziellen Schadstoffe.

Beim Punkt 1 und 2a spielt der Wettbewerb der Anlagenhersteller eine eher untergeordnete Rolle. Beim Punkt 2a und 2b ist ebenfalls die Brennstoffqualität mitentscheidend. Bei diesen beiden Punkten sind weniger die chemischen Schadstoffe kostentreibend, sondern die Fremdstoffe (höhere Verschleisskosten) oder die Eingangsfeuchte des Rohbrennstoffs (höhere Investitionen infolge grösserer Trockner in der Holzaufbereitungsanlage).



5.5 Weitere politische Instrumente

Sollten die Investitionskosten trotz der Vorarbeit dieses Projekts nicht in ausreichendem Masse reduziert werden können, sind zusätzliche Kompensationsmechanismen erforderlich, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten. In Betracht kommen entweder eine direkte Förderung des emissionsfreien Asphalts zur Abdeckung der verbleibenden Kostennachteile oder eine Verteuerung oder Mengenbegrenzung der CO₂ intensiven Alternativen.

Als bedeutender Abnehmer stünde es der öffentlichen Bauherrschaft zudem offen, die Nachfrage nach CO₂ neutralen Baumaterialien gezielt zu erhöhen. Dies würde einerseits dazu beitragen, die erforderlichen hohen Produktionsmengen auch auf der Nachfrageseite abzusichern, und andererseits dem Vorbildcharakter der öffentlichen Hand gerecht zu werden.

Sinnigerweise sollte zumindest die öffentliche Bauherrschaft bereit sein, diese nachhaltigen und höherwertigen Produkte mit einem höheren Preis zu vergüten.

5.6 CO₂-neutraler Asphalt

Zu beachten ist, dass selbst der Holzstaubbetrieb nicht vollständig auf einen geringen Anteil an flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen verzichten kann, da diese für die Zündung der Feststoffbrenner notwendig sind. Da hierfür auch biogene Alternativen eingesetzt werden können, ist eine Netto-Null-Produktion grundsätzlich realisierbar. Solche Brennstoffe sind jedoch mit Mehrkosten verbunden, weshalb gegenwärtig weiterhin LPG als Zweitbrennstoff eingesetzt wird, da für einen wirtschaftlichen Betrieb die Kosteneffizienz bereits heute gesteigert werden muss.



6 Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Schlussfolgerungen

Die Anlage wurde fertiggestellt und produziert aktuell Asphalt mit rund 70% Holzstaub als thermischer Energieträger. Dies zeigt, dass die technische Umsetzung der Holzstaubaufbereitung wie Auslesen, Mahlen und Silieren im realen Umfeld funktioniert. Im Betrieb fällt gegenüber herkömmlichen Asphaltwerken ein merklicher Mehraufwand an, da der finale Brennstoff selbst produziert und nicht wie bei fossilen Lösungen fertig angeliefert wird. Der Veredelungsprozess vor Ort ist entsprechend mit einem erhöhten Personalaufwand für den Unterhalt der Holzstaubanlage verbunden.

In Kürze erfolgt eine erneute Schadstoffmessung für das AUE-Bern. Die Resultate dienen als Grundlage zur Festlegung von Grenzwerten für künftige Anlagen und zeigen auf, ob eine Skalierung dieser Technologie im Rahmen der LRV möglich ist. Der anschliessende politische Prozess liegt ausserhalb des Einflussbereichs der BWO und hängt davon ab, wie die klimapolitischen Herausforderungen auf Ebene der Politik angegangen werden.

Aufgrund der Prozessanpassungen und des Nachrüstens von Messinstrumenten konnten die einzelnen Prozessschritte bisher noch nicht ausreichend über längere Produktionszeiträume hinsichtlich Energieeffizienz bewertet werden. Sobald belastbarere Betriebs- und Verbrauchsdaten vorliegen, können darauf basierende Massnahmen zur Effizienzsteigerung und zur Reduktion der Kosten abgeleitet und umgesetzt werden. Alle Massnahmen erfolgen mit dem Ziel der Einhaltung der Grenzwerte der LRV sowie der baulichen Auflagen.

Parallel wird in Zusammenarbeit mit dem Altholzlieferanten die Qualität des Rohbrennstoffes verbessert, um diesen ohne grossen Aufwand, das heisst ohne positive Auslese, bereitstellen zu können und so die Einstandskosten des Rohbrennstoffes zu reduzieren. Da das beschränkt vorhandene höherwertige Holz als Biomasse für verschiedenste Anwendungen in immer höherem Masse verwendet wird, scheint es den Projektbeteiligten wichtig, den Einsatz von Altholz gezielt zu prüfen und nach Möglichkeit zuzulassen. Gut möglich, dass dafür umweltpolitische Kompromisse eingegangen werden müssen.

Wie im Kapitel 5.4.1 erläutert, ist das gesetzte Ziel, eine langfristig wirtschaftliche Anlage zu realisieren, unter der bisherigen Betriebsweise und den aktuellen Rahmenbedingungen noch nicht erreicht. Da bisher lediglich die orientierenden Schadstoffmessungen durchgeführt wurden und die Resultate Unstimmigkeiten aufweisen, können die im Projektantrag definierten Ziele noch nicht belegt werden. Dies ist eine beinahe CO₂-neutrale Produktion von Asphaltbelag mit Altholz als primären Brennstoff oder ein sicherer Betrieb der Anlage in Bezug auf die Umweltbelastung durch Schadstoffe. Aus diesem Grund wäre auch die Initiierung einer politischen Diskussion über die Schadstoffgrenzwerte für Asphaltwerke mit entsprechenden nicht fossilen Brennstoffen verfrüht. Die orientierenden Schadstoffmessungen und die wirtschaftlichen Erkenntnisse deuten jedoch darauf hin, dass es bezüglich Wirtschaftlichkeit und strengen Schadstoffgrenzwerten zu einem Interessenkonflikt kommen könnte. Die definierten Ziele werden weiterhin verfolgt, bis zum gesetzten Zeitpunkt gemäss Projektantrag.

6.2 Ausblick

Eine bedingte wirtschaftliche Produktion von Asphaltbelag mit Holzstaub aus «Altholz» ist unter Einhaltung verschiedener Kriterien machbar. Die Wirtschaftlichkeit ist stark abhängig von den Investitionskosten (Amortisation) sowie der Nachfragemenge, der Energiegestehungskosten, und der Erlöse aus Bescheinigungen. Durch die Verwendung von Mehrstoffbrennern wird zumindest die Abhängigkeit von Holzbrennstoffen reduziert, falls der Brennstoff Holz durch weitere Anwendungen verknappt und somit teurer würde.



Wegen der hohen Investitionskosten der Holzstaubanlage müssen grosse Mengen Asphalt produziert werden, damit durch die niedrigeren Betriebskosten, vor allem durch günstigere Holzpreise, die Mehrkosten aus der Investition ausgeglichen werden können. Die Unsicherheit der Nachfrage sowie die Volatilität der Energiepreise und die Entwicklungen am Energiemarkt könnten wie bereits erwähnt durch politische Massnahmen etwas entschärft werden.

Die Verwendung von Altholz für die Herstellung von Holzstaub bringt verschiedene Schwierigkeiten mit sich: Fremdkörper verursachen im Prozess zusätzlichen Verschleiss an der Holzstaubanlage, und auch der Schadstoffausstoss bei der Verbrennung des Holzes ist höher. Deshalb könnte geprüft werden, ob sich durch den Einsatz von qualitativ besserem dafür kostenintensiverem Holzbrennstoff (z.B. Pellets) zusätzliche Investitionskosten für die benötigte Holzstaubproduktionsanlage reduzieren lassen. Entsprechend würden die hohen Fixkosten der Holzstaubaufbereitungsanlage teilweise auf die variablen Energiekosten, die nur bei tatsächlicher Asphaltproduktion anfallen, umgelagert und die wirtschaftlich notwendige Produktionsmenge reduziert.

Dafür spricht, dass bei der BWO die Möglichkeit besteht, einzelne Prozessschritte wie zum Beispiel die Trocknung, die Vorsiebung sowie die Vorzerkleinerung zu umgehen, wenn Holzabfälle aus der Holzverarbeitungsindustrie (etwa trockenes Sägemehl) eingesetzt würde (Ablaufschema - Aufbereitung Altholzschnitzel zu Holzstaub - Anhang A-02). In einer Folgestudie könnte dies bis hin zur ausgelagerten Holzstaubproduktion vertieft geprüft werden.



7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die BWO ist Mitglied bei asphaltsuisse, dem Fachverband der Branche. Im Rahmen von Fachtagungen und Newsletters werden die Mitglieder über die Erfahrungen von BWO informiert gehalten.

Die BWO ist zudem Mitglied der Gruppe «Schweizerische Mischgutindustrie SMI» bei der Energie Agentur der Schweiz (www.enaw.ch). Am 13. November 2023 fand ein Workshop dieser Gruppe vor Ort in Wimmis statt, an welchem die Branche aus erster Hand über die Anlage und insbesondere die Holzstaubaufbereitung informiert wurde.

8 Kommunikation

8.1 Berichterstattung

Die Berichterstattung soll aufzeigen, dass mit lokalen und nicht fossilen Brennstoffen ein realer wirtschaftlicher Betrieb eines Belagswerks möglich ist. Dies soll im Nachgang auch weiteren Belagswerken als Entscheidungsfindung dienen und sie zur Umstellung auf eine nachhaltige CO₂-neutrale Belagsproduktion motivieren.

Der Bericht zeigt zudem die Korrelation zwischen Brennstoffqualität (Deklarationsanalyse) und den zu erwartenden Schadstoffemissionen auf. Weiter werden die mittels verschiedenen Messkampagnen spezifisch ermittelten Werte (Schadstoffe, Leistungsbedarf pro produzierte Tonne) zu Kennwerten aufbereitet und den äquivalenten Kennwerten der mit fossilen Brennstoffen betriebenen Belagswerken gegenübergestellt.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den diversen Messkampagnen sowie die wirtschaftliche Aussage hierzu werden in die geforderten Zwischen- und Schlussberichte des Pilot- und Demonstrationsprojekts überführt und den zuständigen Behördenstellen (BFE, usw.) sowie weiteren interessierten Kreisen zugänglich gemacht.

8.2 Wirtschaftliche Aussage

Mit der ersten Messkampagne und der Abnahmemessung sowie den im selben Zeitraum erhobenen Energieverbräuchen, kann bereits eine gute Aussage bezüglich eines wirtschaftlichen Betriebs der Anlage gemacht werden. Dabei werden die gewonnenen Zahlen hochgerechnet auf einen bestimmten Zeitraum mit den Zahlen von fossilen Belagswerken verglichen (Anhang A-03). Da wichtige Indikatoren wie «Energiebedarf pro Tonne Belag» sowie «Kosten pro kWh Energie» noch nicht in Abhängigkeit von Energie- sowie Schadstoffdaten ausdifferenzierter Langzeitbetrachtungen basieren, werden weitere Erkenntnisse im laufenden Betrieb erwartet, welche nicht mehr im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden.

9 Publikationen

Keine

10 Literaturverzeichnis

Keines



11 Anhänge

Anhang

A-01

A-02

A-03

A-04

Titel

Spezifikation von Holzstaub für die Verbrennung mit Ammann-Brenner

Aufbereitung Altholzschnitzel zu Holzstaub (24.02.2025 / Mw)

Business-Case

Flussbild Belagswerke Heimberg AG

Date 01. Juli 2021

Spezifikation von Holzstaub für die Verbrennung mit Ammann-Brennern

Dieses Dokument definiert die physikalischen und chemischen Holzstaub-Eigenschaften, die erfüllt sein müssen, um ein optimales Verbrennungs-Ergebnis mit einem Ammann MIBZ Holzstaub Brenner zu erzielen, **im Betriebsmodus mit abschaltbarer Stützflamme:**

1. Holzstaubqualität:**1.1. Rechtlich erlaubt:**

Nur die folgenden Holzarten sind rechtlich erlaubt, als Brennstoff verwendet zu werden:

(gem. «TA-Luft-Deutschland, LRV-Schweiz» Regelungen in anderen Ländern können abweichen und müssen speziell geprüft werden)

- Unbehandeltes frisch Holz
- Pellets
- Restholz aus Kategorien A I*, und A II* der Altholzverordnung (D)
- Holzbrennstoff gemäss *Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1*** der LRV (CH)

*: für die Altholzklassen A I und A II gelten die Emissionsgrenzwerte nach TA-Luft.

***: dürfen nach LRV in Holzfeuerungen >40kW verbrannt werden.

1.2. Für Ammann-Brenner geeignet sind:

- **Unbehandeltes Frischholz**
- **Pellets**
- **Restholz der Kategorie AI der Altholzverordnung (D)**
- **Holzbrennstoff gemäss *Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1 lit. a, b, d.* der LRV (CH)**

Bei Altholz der Klasse AII der Altholzverordnung, sowie *LRV Anhang 5 Ziff. 31 Abs. 1 lit. c* besteht kein Einfluss auf die Gehalte an Schadstoffen im Holz und somit auch keinen Einfluss auf die Emissionswerte.

Ein benutzen dieser Holzbrennstoffe oder Holzbrennstoffe anderer Kategorien geschieht auf eigene Gefahr und Ammann übernimmt dafür keine Verantwortung.

Die Gehalte an Schadstoffen, bezogen auf den Brennstoff, jeweils angegeben als Elemente, müssen so eingehalten werden, dass die zutreffenden Immission- bzw. Emissionsgrenzwerte nicht überschritten werden.

2. Erforderliche physikalisch/chemische Eigenschaften:

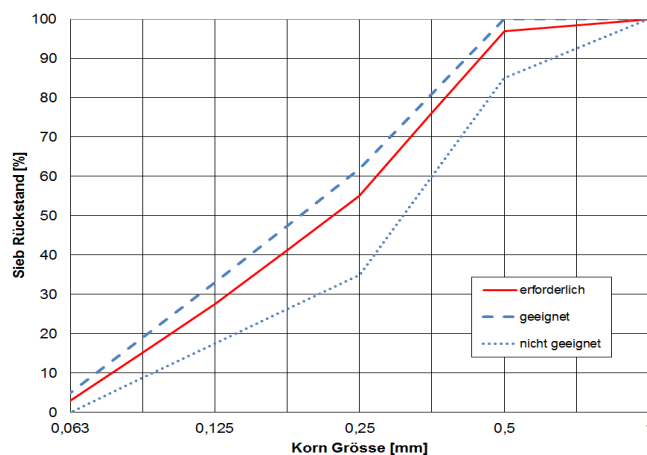
- Feuchtigkeit: **< 11 %**
- Heizwert: **> 16 MJ/kg**
- Schüttdichte: **200 bis 300 kg/m³**

3. Korngrößenverteilung:

3.1. Siebdurchgang

- **100 %** 1mm
- **97 %** 0.5 mm
- **55 %** 0.25 mm

3.2. Grafik der Korn-Kurve mit einem geeigneten und ungeeigneten Holzstaub Typ:



4. Feuerraumbelastung:

Die Einhaltung der CO- und NO_x-Grenzwerte können wir nur garantieren wenn eine Feuerraumbelastung von **1 MW/m³** nicht überschritten wird.

5. Benutzung von torrefizierten Holzstaub:

Mit Holzstaub aus torrefizierten «brown-&black-Pellets» werden sehr gut die CO-Grenzwerte erreicht.

Das Mahlen auf die gewünschte Korngrösse ist einfacher zu erreichen.

Die Feuerräume in den Trommeln können kleiner gewählt, müssen aber vorgängig mit der Technik geklärt werden

6. Beispiel für Brennstoffverbrauch:

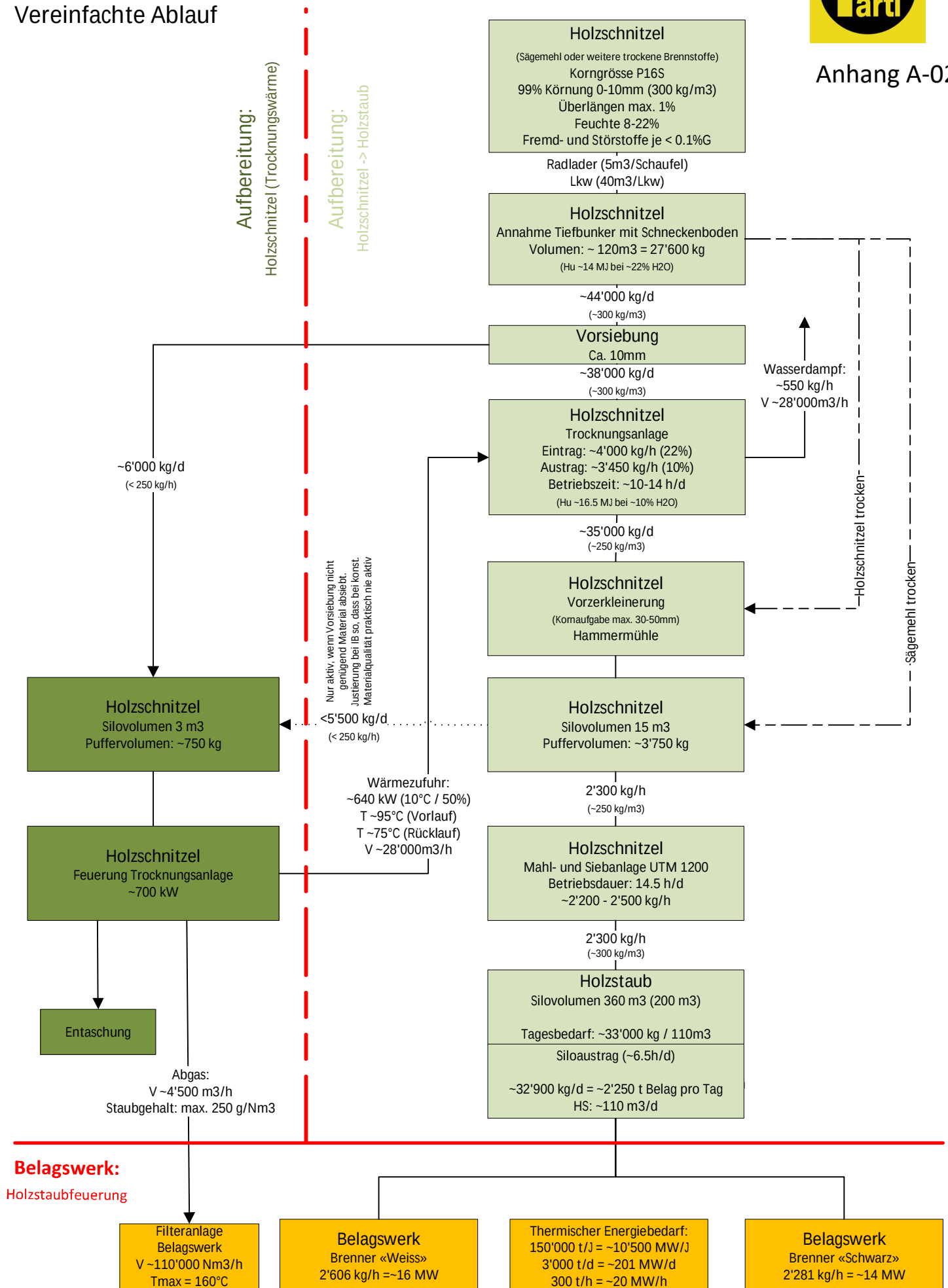
Trocknungsleistung (@ 3% Feuchtigkeit)	benötigte Brennerleistung	Holzstaubmenge (per 1t dry VA)	Holzstaubmenge (@ 16.7 MJ/kg)	Holzstaubmenge (@ 250kg/m ³)
[t/h]	[MW]	[kg/t]	[t/h]	[m ³ /h]
215	16.0	16.5	3.46	13.8

Aufbereitung Altholzschnitzel zu Holzstaub



Anhang A-02

Vereinfachte Ablauf



Businesscase Holzstaubanlage

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2a	Szenario 2b	Szenario 3	Szenario Break even (CHF/t 110.-)		Szenario Break even (CHF/t 60.-)		Referenzszenario	Referenzszenario
	Einheit	Gesuch 14.10.21	Holzstaub Referenzanlage Pilot- / Demoprojekt	Holzstaub Vertragsgrundlage eff. Investbeitrag	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J inkl. Mehrkosten	Holzstaub Asphaltproduktion 150'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 150'000t/J	Holzstaub Asphaltproduktion 110'000t/J	Heizöl oder Gas	Heizöl oder Gas
Daten der Anlagen												
Investition	CHF	6'049'377	5'375'837	5'375'837	5'375'837	6'120'500	5'200'000	4'000'000	5'200'000	4'000'000	600'000	600'000
Investitionsbeitrag	%	-									-	-
Investitionsbeitrag	CHF	1'944'021	1'754'518	1'437'191	1'437'191	1'437'191	-	-	-	-		
Anschaffungswert	CHF	4'105'356	3'621'319	3'938'646	3'938'646	4'683'309	5'200'000	4'000'000	5'200'000	4'000'000	600'000	600'000
Restwert	CHF	0	-	-	-	-	-	-	-	-		
Nutzungsdauer	Jahre	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
		0										
Auslastung	Tonnen/Jahr	100'000	150'000	150'000	110'000	110'000	150'000	110'000	150'000	110'000	150'000	110'000
Kalkulationszinsfuss	%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3.00%	3.00%
Umrechnungsfaktor CO2	kgCO2/l	0									2.65	2.65
CO2-Ausstoss	tCO2/Jahr	0									2'802	2'055
Preis CO2-Bescheinigungen	CHF/tCO2eq	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
Ertrag CO2 Bescheinigunen	CHF/Jahr	186'808	280'211	280'211	205'488	205'488	280'211	205'488	280'211	205'488	-	-
Variable Kosten (CHF/Jahr), bei obiger Auslastung - für Holzaufbereitung												
Anteil Lohn und Lohnnebenkosten	CHF	30000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	5'000	5'000
Werkzeuge, Betriebsstoffe u.a.	CHF	30000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	30'000	-	-
Verbrauch Holzbrennstoff	kg/Jahr	2'554'745	3'657'500	3'657'500	2'682'167	1'828'750	2'493'750	1'828'750	2'493'750	1'828'750		
Heizwert	kWh/kg	2.74	3.00	3.00	3.00	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40		
Energieverbrauch Holz Produktion	kWh	7'000'000	9'975'000	9'975'000	7'315'000	7'315'000	9'975'000	7'315'000	9'975'000	7'315'000	9'975'000	7'315'000
Energieverbrauch Holz Trocknungsanlage	kWh	0	997'500	997'500	731'500	731'500	997'500	731'500	997'500	731'500		
Gesamtenergieverbauch Holzbrennstoffe	kWh	7'000'000	10'972'500	10'972'500	8'046'500	8'046'500	10'972'500	8'046'500	10'972'500	8'046'500		
Energievebrauch Flüssiggas	kWh		525'000	525'000	385'000	385'000	525'000	385'000	525'000	385'000	525'000	385'000
Stromverbrauch Aufbereitung Holzstaub	kWh		550'000	550'000	403'333	403'333	550'000	403'333	550'000	403'333		
Strompreis	Rp./kWh		15	15	15	15	15	15	15	15		
Stromkosten Aufbereitung Holzstaub	CHF		82'500	82'500	60'500	60'500	82'500	60'500	82'500	60'500		
Heizwert Heizöl	kWh/l										9.93	9.93
Energieverbrauch Heizöl	l										1'057'402	775'428
Energiepreis Holzbrennstoff (Einkauf)	CHF/kg	0.173	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.060	0.060		
Energiepreis Holzbrennstoff	Rp./kWh	6.305	3.667	3.667	3.667	2.500	2.500	2.500	1.364	1.364		
Energiepreis Flüssiggas	Rp./kWh		6.868	6.868	6.868	6.868	6.868	6.868	6.868	6.868		
Energiepreis Heizöl (Einkauf)	CHF/l										1.00	1.00
Energiepreis Heizöl	Rp./kWh										10.070	10.070
CO2-Abgabe	CHF/tCO2										120	120
CO2-Abgabe	CHF										336'254	246'586
CO2-Abgabe	Rp./kWh										3.202	3.202
Vergleichbaren Heizölpreis	Rp./kWh										6.868	6.868
Energie und sonstige variable Kosten	CHF	501'332	580'882	580'882	441'980	348'104	452'870	348'104	328'182	256'667	726'148	533'842
Gesamtkosten												
Kalkulatorische Abschreibungen	CHF/Jahr	273'690	241'421	262'576	262'576	312'221	346'667	266'667	346'667	266'667	40'000	40'000
Kalkulatorische Zinsen	CHF/Jahr	61'580	54'320	59'080	59'080	70'250	78'000	60'000	78'000	60'000	9'000	9'000
Total Kosten	CHF/Jahr	836'603	876'623.05	902'538.09	763'636.22	730'574.54	877'536.17	674'770.97	752'848.67	583'333.47	775'148.04	582'841.89
Erträge und Einsparungen												
Ertrag CO2 Bescheinigungen	CHF/Jahr	186'808	280'211	280'211	205'488	205'488	280'211	205'488	280'211	205'488		
Ertrag CO2-freier Asphalt	CHF/Jahr		75'000	75'000	55'000	55'000	150'000	110'000	150'000	110'000		
Einsparungen Betrieb gegenüber Referenzprojekt	CHF/jahr	-257'004	-101'475	-127'390	-180'794	-147'733	-102'388	-91'929	22'299	-492		
Nettonutzen I(2023-2029)	CHF/Jahr	-70'196	253'736	227'821	79'694	112'756	327'823	223'559	452'511	314'997		
Nettonutzen I(2030-2037)	CHF/Jahr	-257'004	-26'475	-52'390	-125'794	-92'733	47'612	18'071	172'299	109'508		
Payback Amortisation	Jahre	-24	29.4	40.6	keine Amortisation	277.8	26.4	31.3	16.2	18.3		

Einsparungen gemittelt über 15 Jahre

CHF/Jahr

97'056

-16'201

16'861

197'058

127'665

321'745

219'102

