

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Prozessintegrierte, simultane Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung für
Durchlaufbacköfen

Nr. des Vorhabens: 20240

UBA-Aktenzeichen: 70441-5/39

Fördernehmer/-in:

Kuchenmeister GmbH

Umweltbereich

Klimaschutz, Energie, Luftreinhaltung

Laufzeit des Vorhabens

22.08.2012 – 31.08.2013

Autoren

Bernd Nasse

Andreas Kunsleben, Daniela Derißen, Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

26.09.2014

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA	Vorhaben-Nr. 20240
Titel des Vorhabens / Report Title Prozessintegrierte, simultane Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung für Durchlaufbacköfen Process-integrated, simultaneous waste heat recovery and odour reduction for feed baking ovens (through-type)	
Autor(en), Name(n), Vorname(n) Bernd Nasse, Kuchenmeister GmbH, Soest Andreas Kunsleben, Daniela Derißen und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	Vorhabensbeginn 22.08.2012
	Vorhabensende (Abschlussdatum): 31.08.2013
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) Kuchenmeister GmbH Coesterweg 31 59494 Soest	Veröffentlichungsdatum 26.09.2014
	Seitenzahl 54
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung / Summary Im Rahmen des Vorhabens "Prozessintegrierte, simultane Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung – ein innovatives Verfahren für Durchlaufbacköfen" konnte die erstmalige industrielle Anwendung eines neuartigen Verfahrens zur simultanen Entfernung der Geruchsbelastung und zur Rückgewinnung der Wärme aus der Prozessabluft (Schwaden) von Durchlaufbacköfen erfolgreich demonstriert werden. Der Neuheitswert des Vorhabens besteht in der Kombination der Verfahrensziele, deren Umsetzung in eine kompakten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungseinheit als modularem Lösungskonzept und der dynamischen Integration in den Ofenprozess. Die Realisierung einer dauerhaft betriebssicheren, in die Prozesslandschaft integrierten Lösung, erwies sich im Laufe der Umsetzung als erheblich komplexer als zunächst erwartet. Dies führte zu Terminverzögerungen und einer Reduktion der Anzahl installierter Einheiten. Die Gesamtkosten zur Umsetzung des Vorhabens an 2 Öfen betrugen insgesamt 233.122,88 €. Die Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms zeigen, dass die neuartige WRG-Anlage - bei geeigneter Integration in das Backofensystem - die Umweltziele an den Backlinien 5 und 8 zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten erreicht. Tatsächlich erreichen die neuartigen Desodorierungsanlagen eine Wärmeleistung von 20 bzw. 25 kW im Dauerbetrieb. Für die ersten beiden realisierten Anlagen ergibt sich bei 4.000 Betriebsstunden eine Energieeinsparung von 180.000 kWh/a, entsprechend bei dem Energieträger Erdgas eine CO ₂ -Emissionsvermeidung von 52,2 t/a. Hochgerechnet auf die ca. 30 Öfen der Kuchenmeister GmbH - unter Annahme gleicher Betriebsbedingungen, bei 4.000 Betriebsstunden p.a. - ergibt sich durch die Wärmerückgewinnung eine Einsparung von 2.700.000 kWh/a, entsprechend einer CO ₂ -Reduktion von 785 t/a. Durch die Wärmerückgewinnung / Desodorierung werden 85,6 % des Wasserdampfs mittels Kondensation aus den Backschwaden entfernt. Dabei werden je nach Bestimmungsmethode zwischen 65 % (C _{ges}) und 68 % (GE) der Gerüche aus	

den Backschwaden entfernt. 32 % (C_{ges}) bis 35 % (GE) der Gerüche finden sich noch in den gereinigten Backschwaden.

Die Kostensteigerung auf der Investitionsseite hat dazu geführt, dass die Amortisationsdauer sich nahezu verdoppelt (ohne Förderung 23,79 Jahre, mit Förderung 19,03 Jahre) hat. In der Praxis bedeutet dies, dass die Lebensdauer der Anlagen etwa der Amortisationszeit entspricht.

Within the project „process-integrated, simultaneous waste heat recovery and odour reduction-an innovative procedure for feed baking ovens (through-type)“, the first-time industrial application of a new procedure for simultaneous elimination of odour nuisance and heat recovery from exhaust air (fumes) of through-type baking ovens has been successfully demonstrated. The novelty value of the project is the combination of the procedure's targets, their implication in a compact deodorization and heat recovery device as a modular solution and its dynamical integration into the oven process.

Throughout its implementation, the realization of a solution that would be permanently operational-reliable and integrated into process run proved to be much more complex than originally expected. This resulted in delays and a reduction of the number of units installed. The entire cost for implementation of the project on two ovens came up to a total of 233.122,88 €.

The results received by the monitoring programme show that the new heat recovery device – provided that it is appropriately integrated into the baking ovens system – does achieve the environmental targets on baking line 5 and 8 at economically justifiable expenses. In fact, the new deodorization-devices reach a heat capacity of 20 respectively 25 kW in continuous operation. For the first two devices installed, an energy saving of 180.000 kWh/a is achieved in 4.000 hours of operation, thus complying in case of natural gas as energy source to an avoidance of 52,2 t/a of CO₂ emissions. Projected on the appx. 30 ovens of Kuchenmeister GmbH – same conditions of operation provided, at 4.000 hours of operation per year – the heat recovery results in an economization of 2.700.000 kWh/a, complying to a CO₂-reduction of 785 t/a. The heat recovery / deodorization eliminates 85,6 % of the water vapour from the baking fumes by means of condensation. Depending on the method of determination, 65 % (C_{ges}) to 68 % (GE) of odours are eliminated from the baking fumes. 32 % (C_{ges}) bis 35 % (GE) of odours are still to be found within the purified baking fumes.

As a result of the cost increase in terms of investment, the pay back period was almost duplicated (without government aid 23,79 years, with government aid 19.03 years). In practice, this means that the life period of the device complies approximately with the pay back period.

Schlagwörter / Keywords

Entfernung Geruchsbelastung, Rückgewinnung Wärme aus Prozessabluft (Schwaden)

Elimination of odour nuisance, heat recovery from exhaust air (fumes)

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 10

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien

EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.kuchenmeister.de sowie in Fachzeitschriften brot und backwaren sowie baking and bisquit

Kurzfassung

Ausgangssituation

Die Firma Kuchenmeister betreibt für die Herstellung von Kuchen europaweit mehr als 30 Durchlaufbacköfen unterschiedlicher Größe mit verschiedenen Produkten und Produktionsleistungen. Beim Backen in leistungsfähigen Durchlauföfen entstehen in Abhängigkeit von der Ofengröße, der Backtemperatur, dem Backgut und der Verweildauer sehr unterschiedliche Ofenatmosphären (Temperatur, Feuchtigkeit, Geruchsstoffe etc.), die als Ofenabluft Geruchsstoffe und Wärmeenergie an die Umwelt abgeben.

Die Geruchsemissionen der Betriebe der Firma Kuchenmeister stammen zum weitaus größten Teil aus der Prozessabluft dieser Backöfen, den sogenannten Backschwaden. Backschwaden entstehen im Backraum der Backöfen bei der Einbringung thermischer Energie durch die daraus resultierenden Stoffumwandlungen in den Kuchenmassen und -teigen. Sie bestehen aus feuchter, geruchsbelasteter, fett- und staubhaltiger Heißluft. Backschwaden gelangen aus dem Backraum über Schwadenkamine in die Umwelt und bilden, insbesondere bei der vorliegenden industriellen Produktion, eine Geruchs-Immissionsquelle. Die Kuchenmeister GmbH, die alle gesetzlichen Grenzwerte für Emissionen und Immissionen einhält, wollte die Geruchsemissionen der Backöfen weiter reduzieren, auch um die Akzeptanz eines weiteren Wachstums bei den Anliegern zu verbessern.

Abwärmenutzung bzw. Abluftreinigung sind im Medium Backofenschwaden mit herkömmlichen Wärmetauschern und Filtersystemen unwirtschaftlich, da sie in kurzer Zeit durch Verschmutzungen und Kondensate unbrauchbar werden. Daher wollte das Unternehmen in Zusammenarbeit mit der German Lebensmitteltechnologie GmbH ein innovatives, modular konzipiertes Verfahren einsetzen, dass beide Ziele in einem Verfahrensschritt erreicht. Die erstmalige industrielle Anwendung sollte dabei exemplarisch für alle Ofengrößenklassen und Warengruppen/Rezepturen nachgewiesen werden. In der Gesamtheit entstand daraus eine komplexe Anforderungsmatrix, die es notwendig machte, unterschiedliche Kombinationen der Technologiemodule an 2 Öfen (Anlage Linie 5: Einsäulenanlage sowie Anlage Linie 8: Zweisäulenanlage) zu demonstrieren.

Ziel des Vorhabens

Das Vorhaben "Prozessintegrierte, simultane Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung – ein innovatives Verfahren für Durchlaufbacköfen" stellt die erstmalige industrielle Anwendung eines neuartigen Verfahrens dar. Gegenstand des Vorhabens war die simultane Entfernung der Geruchsbelastung und die Rückgewinnung der Wärme aus der Prozessabluft (Schwaden) der Backöfen der Firma Kuchenmeister.

Die Geruchsemissionen der Anlagen sollten um mehr als 90 % gesenkt werden. Hierbei handelte es sich um eine Abschätzung des Anlagenanbieters auf Basis von Laborergebnissen, da keine Geruchsmessergebnisse von den Backöfen der Firma Kuchenmeister vorlagen.

Für einen Backofen der 2.300 Kuchen/h produziert, wurde ein Energiegehalt der Schwaden von 32 kW ermittelt. Davon sollten 2/3 als Warmwasser mit einer Temperatur von 60 °C rückgewonnen werden. Minimalziel war der energieautarke Betrieb der Abluftreinigungsanlage zu jedem Betriebszeitpunkt – dazu werden während des Betriebes der Anlage maximal 2 kW in Form von elektrischer Energie für den Betrieb der Abluft- und der Kühlmittelzirkulation benötigt. Das Vorhaben legte den Schwerpunkt auf die Senkung von Geruchsemissionen in Verbindung

mit einem intelligenten Energienutzungskonzept unter sicherer Vermeidung sonst üblicher zusätzlicher Energiebedarfe zur Abluftreinigung.

Für die ursprünglich vorgesehene Ausrüstung von 6 Ofenanlagen wurden folgende Umwelteffekte (Wärmerückgewinnung je Ofen: 21,33 kW, 4.000 Betriebsstunden) bei Projektabschluss erwartet:

Wärmerückgewinnung	CO ₂ -Reduktion
512.000 kWh/a	148.480 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 1: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung

Hochgerechnet auf die ca. 30 Öfen der Kuchenmeister GmbH - unter Annahme gleicher Betriebsbedingungen - ergaben sich bei Antragstellung die folgenden Umwelteffekte:

Wärmerückgewinnung	CO ₂ -Reduktion
2.500.000 kWh/a	725.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 2: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung (unternehmensweit)

Bei einem deutschlandweiten Einsatz in nur 25% der vergleichbaren Durchlaufbacköfen (deutschlandweit ca. 1.200 Öfen) wären folgende Umwelteffekteeffekte möglich:

Wärmerückgewinnung/a	CO ₂ -Reduktion/a
25.000.000 kWh/a	7.250.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 3: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung durch die Übertragbarkeit bei einem deutschlandweiten Einsatz in 25 % der vergleichbaren Durchlaufbacköfen

Es ging ausdrücklich nicht um die Nutzung der Abwärme aus der Ofenheizung – die Rauchgase der gasbefeuerten Ofenheizungen werden im Unternehmen seit langem über Wärmerückgewinnungseinrichtungen geführt und genutzt. Ziel des Vorhabens war es vielmehr die Leistungsfähigkeit eines kombinierten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungsverfahrens nachzuweisen. Geruchsemissionen werden aus der Prozessabluft entfernt und in der Prozessabluft enthaltene Wärme zur Warmwassererzeugung genutzt.

Die neue Technologie ist als Modulsystem ausgelegt, das es erlauben soll, unterschiedlichen Leistungsklassen und Prozessparametern gleichermaßen gerecht zu werden. Das Grundprinzip stellt ein liegend angeordneter, mit Wasser gefluteter Rohrbehälter dar, der langsam von den Ofenschwaden durchströmt wird. Dabei werden Wärme und Geruchsstoffe vom Wasser aufgenommen. Die gereinigte, kalte Luft strömt über Dach ab. Das erwärmte Wasser wird über einen Wärmetauscher geführt und so energetisch für die Warmwasserbereitung genutzt.

Ziel des Projektes war es, die industrielle Praxistauglichkeit des Modulsystems nachzuweisen. Hierzu wurde die Technologie an zwei unterschiedlichen, repräsentativen (auch für die industrielle Backwarenfertigung in Deutschland) Ofenanlagen am Standorten Soest installiert und in Betrieb genommen. Im Rahmen eines Messprogramms wurden die optimalen Betriebspunkte der Anlagen für die unterschiedlichen Anforderungen ermittelt, sowie die Umweltfreundlichkeit nachgewiesen. Insbesondere sollte die Wärmeleistung der Aggregate,

Leitparameter für die Abluftbelastung und die organische Belastung des Wassers im Rückgewinnungssystem überwacht werden.

Bei Kuchenmeister werden im Wesentlichen Öfen in 6 Größenklassen betrieben, in denen wiederum 25 unterschiedliche Produktgruppen mit entsprechend verschiedenen Rezepturen und Backprogrammen hergestellt werden. Das Modulsystem wurde an je einem Ofen unterschiedlicher Größenklasse (35 bzw. 110 m² Backfläche) als Einsäulenanlage und als Zweisäulenanlage installiert und eingefahren. In diesem Rahmen werden jeweils für eine repräsentative Anzahl von Produktgruppen die idealen Betriebspunkte ermittelt.

Mittelfristig beabsichtigt das Unternehmen alle großen Durchlauföfen mit der innovativen Anlagentechnik auszurüsten und diese Technologie in Zusammenarbeit mit dem Technologielieferanten auch anderen Betrieben anzubieten. Aufgrund des Projekterfolges wurden bei Kuchenmeister bereits zwei weitere Durchlauföfen mit der innovativen Desodorierungstechnik umgerüstet. Dabei konnten wir zeigen, dass künftige Installationen deutlich kostengünstiger ausfallen, da die Betriebsparameter bekannt sind.

Technische Lösung

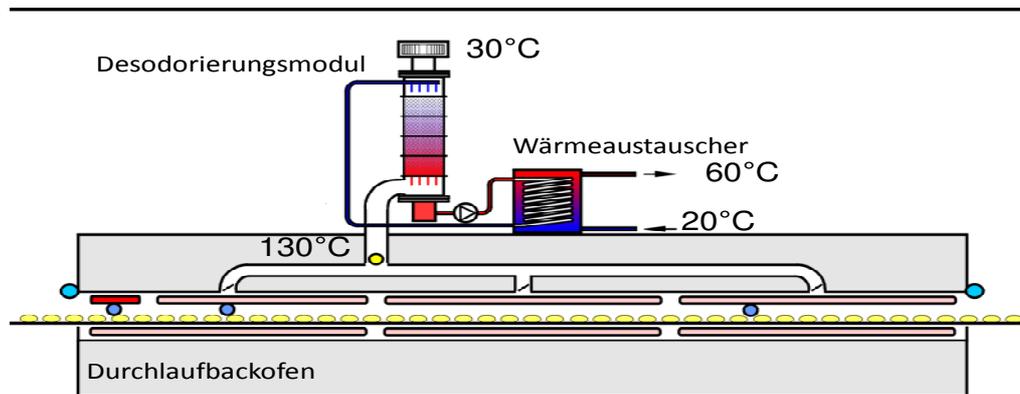
Komplett-Anlagen, welche die beschriebenen Anforderungen an die Behandlung von Kuchen-Backschwaden erfüllen, waren am Markt nicht verfügbar. In diesem Vorhaben ist teils mit geeigneten bekannten Bauteilen und Werkstoffen sowie mit neu konstruierten und zu fertigenden innovativen Bauteilen und Werkstoffen ein Gegenstrom-Anlagensystem mit Wärmetauschern ausgelegt worden, deren Oberflächen so angeordnet sind, dass der Wasserdampf der Backschwaden und seine Geruchsemissionen gemeinsam zur Kondensation gebracht werden. Durch die Anordnung der Oberflächen und durch das Abfließen des Schwadenkondensats wird dabei gleichzeitig die Selbstreinigung der Wärmetauscheroberflächen herbeigeführt.

Gestaltung, Anordnung, Art und Beschaffenheit der Wärmetauscheroberflächen sind konform der Zielsetzung des Vorhabens auf die Produkte und die Produktionsleistung der Backöfen abgestimmt und demonstriert worden. Dazu wurden vorhandene Erfahrungen u.a. aus dem Prinzip von Öl-Brennwertheizungen genutzt und die Reinigung des Wärmetauschers durch Oberflächenbeschichtungen unterstützt. Durch geeignete Strömungsführung und Temperaturregelung der Kühlflüssigkeit sowie durch Regelung der Taupunkttemperatur der Backschwaden im Wärmetauscher wurde das Antrocknen der festen Inhaltsstoffe vermieden und dadurch die Langzeiteffizienz des Wärmetauschers herbeigeführt.

Bei der industriellen Herstellung von Kuchen kommt den ölhaltigen Inhaltsstoffen der Backschwaden, welche sowohl aus den Kuchenmassen als auch aus den Trennfetten stammen, eine besondere Bedeutung zu. Ihrem Einfluss auf die Standzeit der Wärmetauscher muss besonders Rechnung getragen werden.

Es war geplant, die Backschwaden wie bisher mit den vorhandenen ofeninternen Einrichtungen wie Schwadenschieber und Hauben zu sammeln und mit den vorhandenen ofeninternen Rohrleitungen und Kanälen an die Ofenperipherie zu führen. Anstelle der Verbringung mittels Schwadenkaminen ins Freie wurden die Backschwaden dann gemäß des Vorhabens den Desodorierungs-/Wärmerückgewinnungsanlagen zugeführt. Die Konzentration der Backschwaden ist daraufhin mit den vorhandenen bzw. nachzurüstenden Backraum-Klimaregelungen, d.h. in Abhängigkeit von den Produkten und deren Backraumbelastung, maximiert worden. Ein Drittel der firmeninternen Backöfen verfügte bereits über eine Backraum-Klimaregelung. Das Vorhaben knüpfte mit der Wärmerückgewinnung/Desodorierung der Backschwaden an diese Technologie an und hat diese komplettiert.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt schematisch die Funktionsweise und Technologie: „Wärmerückgewinnung und Desodorierung von Backschwaden“.



2

Abbildung 1: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenteile des Verfahrens

In den Technikumsversuchen wurde vor Vorhabensbeginn ein innovatives Modulsystem entwickelt, das vergleichsweise geringe Investitionskosten mit einer maßgeschneiderten Dimensionierung und Anpassung an die jeweiligen kinetischen Verhältnisse in den unterschiedlichen Backprozessen erlaubte.

Für die Erreichung und für die technische Umsetzung der Ziele und den Leistungsnachweis (Messprogramm) wurde auch auf externes Know-How von Fachfirmen zurückgegriffen.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

Abweichend von der Planung konnten im Rahmen des zur Verfügung stehenden Projektbudgets nur zwei Anlagen errichtet werden, statt ursprünglich geplanter sechs Einheiten. Für die Installation der Anlagen an der Linie 5 und 8 wurden insgesamt Kosten von 233.122,88 € verausgabt. Die Amortisationszeit der Anlagen hat sich gegenüber dem Antrag verdoppelt.

Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass unsere neuartige WRG-Anlage bei geeigneter Integration in das Backofensystem die Umweltziele an den Backlinien 5 und 8 zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten erreicht. Im Betrieb konnte nachgewiesen werden, dass diese Anlagen geeignet sind, das gesamte Spektrum der unterschiedlichen Backöfen des Unternehmens sowie die bei der Herstellung verschiedenster Produkte anfallenden Backschwaden zu desodorieren und deren enthaltene Wärmeenergie effektiv zu nutzen. Künftige Installationen können deutlich kostengünstiger errichtet werden, da nun die Betriebsparameter und dauerhaft funktionssicheren Komponenten bekannt sind.

Bei herkömmlichen Anlagen sind die Investitionskosten wesentlich geringer, da bei diesen Systemen nur ein Wärmetauscher in den Schwadenkamin eingebaut wird. Dieser Wärmetauscher setzt sich mit der Zeit durch Rückstände mit Schwaden zu und führt so zu einem höheren Wartungsaufwand als bei der Desodorierungsanlage. Die Desodorierungsanlage hat höhere Investitionskosten, aber sehr geringe Wartungskosten durch die Selbstreinigung des Systems. Die Amortisationszeiten für beide Systeme sind im Rahmen der Projektumsetzung annähernd gleich.

Da wir im Nachgang zwei weitere Anlagen installiert haben, konnten wir zeigen, dass die Kosten deutlich sinken, da die Betriebsparameter bekannt sind.

Im Werk Soest wurde eine Einsäulenanlage mit einer tatsächlichen Wärmeleistung von 32 kW (Nennleistung 40 kW) im Januar 2014 in Betrieb genommen. Eine weitere Dreisäulensäulenanlage wurde im Werk Chrzanow (Polen) mit einer Nenn-Wärmeleistung von 100 kW im September in Betrieb genommen - Leistungsmessungen laufen. Die Investitionskosten in Soest betragen 41.000€, in Chrzanow steht die Abschlusskalkulation noch aus. Die durchschnittlichen Investitionskosten je kW Wärmeleistung sinken damit auf unter 1.500 €/kW gegenüber den Kosten von 5.180 €/kW im geförderten Vorhaben, also um ca. 75 %.

Anders als bei herkömmlichen Anlagen zur Geruchsreduzierung wird eine positive Energiebilanz erreicht und der Wert der zurückgewonnenen Energie übersteigt die Betriebskosten der Aggregate. Dies ist aus Sicht der Reduktion von Geruchsbelastungen in der Lebensmittelindustrie ein erheblicher Fortschritt. Die bisher ausgezeichneten Betriebserfahrungen mit der Handhabung der Anlagen im Dauerbetrieb tragen zum positiven Gesamtbild bei.

Tatsächlich erreichen die neuartigen Desodorierungsanlagen eine Wärmeleistung von 20 bzw. 25 kW im Dauerbetrieb. Bei 4.000 Betriebsstunden resultiert daraus folgender Effekt:

Wärmerückgewinnung	CO ₂ -Reduktion
180.000 kWh/a	52.200 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 4: Erreichte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Projektende

Hochgerechnet auf die ca. 30 Öfen der Kuchenmeister GmbH - unter Annahme gleicher Betriebsbedingungen, bei 4.000 Betriebsstunden p.a. - ergibt sich gegenüber Antragstellung die folgende Situation bei den Umwelteffekten:

Wärmerückgewinnung lt. Antrag	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag	Wärmerückgewinnung tatsächlich erreichte Wärmeleistung der Aggregate	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag
2.500.000 kWh/a	742.500 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)	2.700.000 kWh/a	783.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 5: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung und tatsächlich erreichbare Umwelteffekte

Bei einem deutschlandweiten Einsatz in nur 25% der vergleichbaren Durchlaufbacköfen (Deutschlandweit ca. 1.200) wären folgende Umwelteffekteeffekte möglich:

Wärmerückgewinnung lt. Antrag	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag	Wärmerückgewinnung tatsächlich erreichte Wärmeleistung der Aggregate	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag
25.000.000 kWh/a	7.425.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)	27.000.000 kWh/a	7.830.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 6: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung durch die Übertragbarkeit bei einem deutschlandweiten Einsatz in 25 % der vergleichbaren Durchlaufbacköfen

Bezüglich der Klimateffekte des Vorhabens konnten die Ziele je Ofen also leicht übertroffen werden.

Bei der Geruchsreduktion konnten die - ohne vorherige Messung - abgeschätzten Reduktionseffekte nicht vollständig erreicht werden. Statt erwartete 90 % Geruchsreduktion werden nahezu 70 % erreicht. Dies ist aber vor dem Hintergrund der hohen Energieeffizienz und der guten Einbindung in den Backprozess dennoch ein ausgezeichnetes Resultat.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Entwicklungen zur Behandlung von Backschwaden hatten in den 1970er Jahren den Schwerpunkt auf der Rückgewinnung der Wärme. Die technischen Ausführungen scheiterten zunächst an der mangelnden Beständigkeit der eingesetzten Werkstoffe gegen die Inhaltstoffe der Backschwaden. Diese Teilproblematik konnte jedoch inzwischen gelöst werden. Die technischen Ausführungen scheiterten an den festen Inhaltstoffen der Backschwaden, insbesondere an den fetthaltigen und staubhaltigen Anteilen, welche die Wärmetauscher verstopfen und den erforderlichen Wärmeübergang bis zur Ineffizienz behindern.

Entwicklungen zur Entfernung der Geruchsemissionen aus Backschwaden sind unter anderem aus den USA bekannt. Dabei werden die Backschwaden durch Oxidation in einer Verbrennungsanlage oder durch Kondensation in einer Kühlanlage von geruchsaktiven Inhaltsstoffen befreit. Beide Verfahren sind jedoch mit erheblichem Zusatz-Energieaufwand verbunden und waren für die Firma Kuchenmeister unter den Aspekten Ressourcenschonung, Umweltschutz und Kosteneinsparung für die Lösung der Gesamtproblematik nicht zielführend.

Darüber hinaus wurden die bisher ausgeführten Anlagen zur Wärmerückgewinnung isoliert, d.h. nicht integriert in den eigentlichen Backprozess, betrieben. Es wurde nicht berücksichtigt, dass zwischen dem Backvorgang und der Wärmerückgewinnung durch das Absaugen der Backschwaden eine Wechselwirkung besteht, die den Backprozess sowohl in energetischer Hinsicht als auch im Hinblick auf die Konstanz der Gebäckqualität beeinflusst. Unser Ansatz beruht auf der dynamische Prozessintegration - deshalb war die Zusammenarbeit mit einem Fachunternehmen der Backtechnologie für diese Vorhaben unentbehrlich.

Es ist gelungen, die Backschwaden wie bisher mit den vorhandenen ofeninternen Einrichtungen wie Schwadenschieber und Hauben zu sammeln und mit den vorhandenen ofeninternen Rohrleitungen und Kanälen an die Ofenperipherie zu führen. Anstelle der Verbringung mittels

Schwadenkaminen ins Freie werden die Backschwaden dann den Desodorierungs-/Wärmerückgewinnungsanlagen zugeführt.

Der Neuheitswert des Vorhabens besteht in der Kombination der Verfahrensziele, deren Umsetzung in einer kompakten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungseinheit als modularem Lösungskonzept und der dynamischen Integration in den Ofenprozess. Es handelte sich bei diesem Vorhaben um einen erstmaligen, innovativen Ansatz zur industriellen Verfahrenseinführung. Es konnte erstmals die über den Lebenszyklus der Anlage betrachtete, kostenneutrale Elimination von Geruchsemissionen demonstriert werden. Die Wärmeleistung der Anlage "bezahlt" die Desodorierung.

Die Übertragbarkeit auf die industrielle Produktion von Lebensmitteln mit thermischer Bearbeitung ist naheliegend und im Ansatz gegeben. Wir gehen davon aus, dass alleine in Deutschland ca. 1.200 Durchlauföfen betrieben werden, auf die das neue Verfahren übertragbar ist. Kuchenmeister selbst hat bereits zwei weitere Anlagen der innovativen Desodorierungstechnik in Betrieb genommen. Die neue Technologie wird insgesamt einen erheblichen Beitrag zur Senkung von Geruchs- und Treibgasemissionen in der europäischen Backindustrie leisten.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens soll in 2014 zum einen über die Kunden der Kuchenmeister GmbH erfolgen. Darüber hinaus ist eine Veröffentlichung der Ergebnisse in den Fachzeitschriften „brot und backwaren“ sowie „baking and bisquit“ geplant. Zugleich wird diese Verfahrensumsetzung auch zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung im 2. Halbjahr 2014 veröffentlicht.

Gerade die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist geeignet, die Standards innerhalb der Branche zugunsten eines energieeffizienten Verfahrens zu verbessern.

Summary

Initial Situation

Company Kuchenmeister is operating more than 30 baking ovens through-type of different sizes for different products and with different manufacturing capacities throughout Europe. While baking in high-capacity through-type baking ovens, very differing oven atmospheres (temperature, humidity, odours etc.) are created, depending on the size of the oven, baking temperature, the baked goods and their exposure time; these emit odours and heat energy to the environment by way of exhaust air from the oven.

The odour emissions of Kuchenmeister's production sites are mainly caused by the exhaust air from these baking ovens, the so-called baking fumes. Baking fumes are created within the baking area of the ovens; thermal energy is applied and results in chemical transformation within the cake batters and doughs. They consist of humid, odourous hot air containing fat and dust. Baking fumes are dispensed to the environment through chimneys and thus create a source of odour immission, especially in case of the present industrial production. The purpose of Kuchenmeister GmbH- who is keeping all legal limits for emissions and immissions – was to further reduce the odour emissions of the baking ovens, also in order to improve acceptance of a further growth of the company by residents.

Waste heat utilization respectively waste air purification with common heat exchanging devices and filtration systems are uneconomical in case of baking fumes, as they become inoperative within short period because of soiling and condensates. Therefore, in cooperation with German Lebensmitteltechnologie GmbH, the company intended to use an innovative, modularly designed procedure reaching both targets in just one step. The initial industrial application was intended to prove exemplary for all categories of oven sizes and product groups / recipes. Altogether, this resulted in a very complex requirement profile which made it necessary to demonstrate different combinations of the technology modules on 2 ovens (Line 5: one-stack device and line 8: two-stack device).

Project Aim

The project „process-integrated, simultaneous waste heat recovery and odour reduction- an innovative procedure for feed baking ovens (through-type)“ represents the initial industrial application of a new procedure. Subject of the project was to simultaneously delete the odour nuisance and recover heat from the exhaust air (fumes) of the baking ovens of company Kuchenmeister.

Odour emissions from the plants were supposed to be decreased by more than 90 %. This was based on an estimate by the facility's supplier on the basis of laboratory results, as there were no odour emission measurements available from company Kuchenmeister's baking ovens.

For a baking oven producing 2300 cakes per hour, an energy content within the fumes of 32 kW was determined. 2/3 thereof should be recovered as hot water at a temperature of 60° C. The minimum aim was an energy self-sufficient operation of the exhaust air cleaning plant at any point of time of operation – this takes a maximum of 2 kW by means of electrical energy throughout operation to run the exhaust air- and cooling agent circulation. The project focused on decreasing the odour emissions in connection with an intelligent energy exploitation concept, explicitly avoiding normally usual additional energy requirements for the exhaust air cleaning.

For the originally planned equipment of 6 oven plants, the following environmental effects (heat recovery per oven: 21,33 kW, 4.000 hours of operation) were expected upon project completion:

Heat recovery/a	CO ₂ -reduction/a
512.000 kWh/a	148.480 kg/a (based on heat generation by natural gas)

Table 7: Estimated environmental effects of heat recovery upon application

Projected on the about 30 ovens of Kuchenmeister GmbH – identical conditions of operation assumed – the following environmental effects resulted upon application:

Heat recovery/a	CO ₂ -reduction/a
2.500.000 kWh/a	725.000 kg/a (based on heat generation by natural gas)

Table 8: Estimated environmental effects of heat recovery upon application (company-wide)

Upon installation throughout Germany in only 25 % of all comparable through-type baking ovens (across Germany about 1.200 ovens), the following environmental effects would be possible:

Heat recovery/a	CO ₂ -reduction/a
25.000.000 kWh/a	7.250.000 kg/a (based on heat generation by natural gas)

Table 9: Estimated environmental effects of heat recovery by transferability to a Germany-wide use in 25 % of comparable through-type baking ovens

The purpose was explicitly not to use the exhaust heat of the oven heating – the smoke gas of of the gas-fired oven heatings within the company are being used by means of heat recovery devices since a long time already. The aim of the project was rather to evidence the capability of a combined deodorization- and heat recovery procedure. Odour emissions are eliminated from the exhaust air and heat contained in it is used for hot water generation.

The new technology is designed as a modular system permitting to come up to different performance classes and process parameters in equal measure. The basic principle is a horizontal tubular container flushed with water, which is slowly being streamed by the baking fumes. While passing through, heat and odours are being absorbed by the water. The purified, cold air is dispersing via the roof. The heated water is led through a heat-exchanging device and can thus be energetically used for warm water generation.

Aim of the project was to evidence the practical suitability of the modular system. Therefore, the technology was implemented and taken into operation on two different, representative (also for industrial production of baked goods in Germany) oven devices at the site in Soest. By way of a measuring programme, the optimum points of operation for the devices for the different demands were determined and the eco-friendliness was proved. Specifically the heat capacity of the units, main parameter for exhaust air contamination and organic pollution of the water within the recovery system, were to be monitored.

Generally, Kuchenmeister operates ovens in 6 size ranges, which are used to produce 25 different product groups with the related different recipes and baking programmes. The modular system was installed and taken into operation on one oven each of different size ranges (35

respectively 110 m² baking zone), as a one-stack and a two-stack device. This being the framework to determine the ideal points of operation for a representative number of product groups.

In the medium term, the company intends to furnish all big through-type ovens with the innovative technical installation and to also offer it to other companies in cooperation with the technology's supplier. Due to the success of the project, Kuchenmeister has already equipped two further through-type ovens with the innovative deodorization-technique. Doing so, we were able to show that future installations are considerably cheaper, as the parameters of operation are known.

Technical Solution

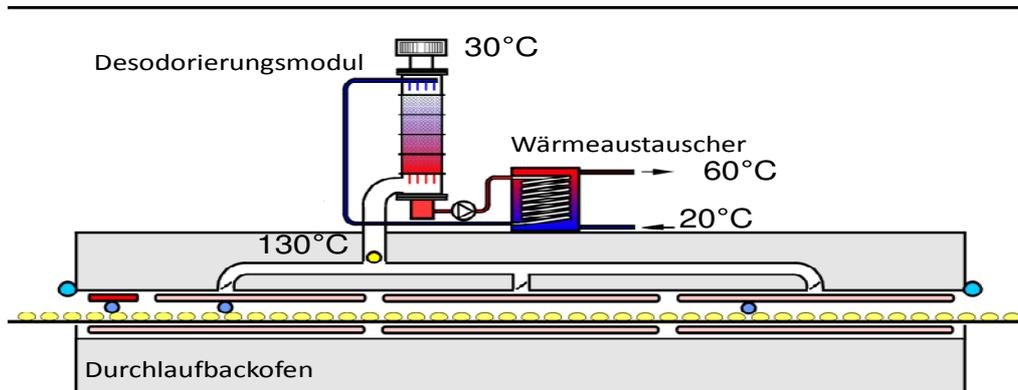
Complete systems fulfilling the described demands on the treatment of baking fumes were not available on the market. Within this project, a reverse-flow device was equipped with heat exchangers, partly with common components and materials, partly with newly-constructed and innovative components and materials to be manufactured. The surfaces are arranged in such a way that the water vapor of the baking fumes and its odour emissions condensate together. Due to the composition of the surfaces and the flow-off of the fume's condensate, the self-purification of the surfaces of the heat exchanger is effected at the same time.

Complying with the objective of the project, design, composition, kind and condition of the surfaces of the heat exchangers have been adjusted to the products and production capacity of the ovens. For that purpose, existing experiences among others from the principle of oil-condensing technologies were used and the purification of the surfaces of the heat exchanger was supported by surface coatings. By means of an appropriate conduction of the flow and temperature control of the cooling liquid, as well as by controlling the dewpoint temperature of the baking fumes within the heat exchanger, surface drying of solid substances could be avoided and thus a long-term efficiency of the heat exchanger was achieved.

Throughout industrial production of cake, special importance has to be attached to the oil-bearing components of the baking fumes, which arise from the cake doughs as well as from the separating fats. Their influence on the service life of the heat exchangers has to be taken adequately into account.

It was planned to collect the baking fumes as before with the present oven-internal equipment like fume pusher and hoods, and to deliver them with the existing oven-internal pipings and ducts to the oven periphery. Instead of discharging the fumes to atmosphere by way of fume chimneys, the fumes were then according to the project conducted to the deodorization-/heat recovery device. The concentration of baking fumes was then maximized by the existing respectively upgraded baking area climate control, i. e. depending on the products and their baking area allocation. One third of the ovens owned by Kuchenmeister did already dispose of a baking area climate control. With heat recovery / deodorization of the fumes, the project links up with the existing technology and has completed it.

The following figure 2 is a schematic presentation of operating mode and technology: „heat recovery and deodorization of baking fumes“.



2

Figure 2: Schematic presentation of essential plant components of the procedure

While making attempts in a pilot plant station, an innovative modular system was developed prior to starting the project. This enabled us to adjust to the particular kinetic conditions in different baking processes with a customized dimensioning in spite of relatively low investment costs.

In order to achieve and realize the aims as well as for the performance record (measuring programme), we also resorted to external know-how from specialized companies.

Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

Deviating from the planning, only two plants could be set up within the project budget that had been put at disposal, instead of the originally planned six units. For the installations on line 5 and 8, an overall cost of 233.122,88 € incurred. The payback period has duplicated compared to the application.

However, the results show that our innovative heat recovery device reaches the environmental target on baking line 5 and 8 at an economically justifiable expense. Throughout operation, we could prove that these devices are suitable to deodorize the baking fumes and to effectively use the heat energy contained in them. This applies for the entire range of different ovens within the company and for production of all different types of products. Future installations can be set up at considerably lower costs, as the parameters of operation and permanently fail-safe components are known now.

In standard plants, the cost of investment is considerably lower, as for these systems, only one heat exchanging device is installed in the fumes chimney. However, this heat exchanger requires a higher maintenance effort than the deodorization device, as it is gradually clogging with residues from the fumes. The deodorization device involves higher costs of investment, but

very low maintenance costs due to the self-purification of the system. The payback periods for both systems are practically identical within the project implementation.

As we have installed two further devices afterwards, we were able to prove that the costs are decreasing considerably, because the parameters of operation are known.

On the production site in Soest a one-stack device with an effective heat capacity of 32 kW (nominal capacity 40 kW) was taken into operation in January 2014. Another three-stack device with a nominal heat capacity of 100 kW was taken into operation on the site in Chrzanow (Poland) in September – power measurements are being led through. The investment cost in Soest was at 41.000 €, the final calculation for Chrzanow is not completed yet. The average cost of investment per kW heat capacity are thus decreasing to less than 1.500 € / kW compared to 5.180 € in the subsidised project, i. e. by appx. 75 %.

Differing from standard devices to reduce odours, a positive energy balance is achieved and the value of recovered energy exceeds the cost of operation for the aggregates. This is a remarkable progress in terms of reduction of odour nuisance in foodstuffs industries. The positive overall impression is completed by so far excellent experiences in handling the devices in continuous operation.

In fact, the innovative deodorization devices achieve a heat capacity of 20 respectively 25 kW in continuous operation. In 4.000 hours of operation, the following effects result from this:

Heat recovery/a	CO ₂ -reduction/a
180.000 kWh/a	52.200 kg/a (based on heat generation by natural gas)

Table 10: Environmental effects of heat recovery achieved at project completion

Projected to the appx. 30 ovens of Kuchenmeister GmbH – same conditions of operation assumed, at appx. 4.000 hours of operation p. a. - the following situation results in terms of environmental effects compared to application:

Heat recovery according to application	CO ₂ -reduction according to application	Heat recovery – actually achieved heat capacity of aggregates	CO ₂ -reduction according to application
2.500.000 kWh/a	742.500 kg/a (based on heat generation by natural gas)	2.700.000 kWh/a	783.000 kg/a (based on heat generation by natural gas)

Table 11: Estimated environmental effects of heat recovery upon application and actually achievable environmental effects

In case of Germany-wide use in only 25 % of all comparable through-type baking ovens (appx. 1200 across Germany) the following environmental effects would be possible:

Heat recovery according to application	CO ₂ -reduction according to application	Heat recovery – actually achieved heat capacity of aggregates	CO ₂ -reduction according to application
25.000.000 kWh/a	7.425.000 kg/a (based on heat generation by natural gas)	27.000.000 kWh/a	7.830.000 kg/a (based on heat generation by natural gas)

Table 12: Estimated environmental effects of heat recovery due to transferability in case of a Germany-wide installation on 25 % of all comparable through-type ovens

Concerning the climate effects of the project, the aims per oven have thus easily been exceeded.

Concerning odour reduction, the estimated effects (determined without prior measuring) could not be entirely achieved. Instead of the expected 90 % odour reduction, almost 70 % were achieved. However, considering the high energy efficiency and the good integration into the baking process, this is still an excellent result.

Transferability / Measures to distribute the project's results

Developments for treatment of baking fumes used to have a focus on heat recovery back in the 1970s. The techniques used to fail due to the lack of durability of the used construction materials towards the contents of the baking fumes. This part of the problem however has been solved in the meantime. The techniques failed because of the solid substances contained in the baking fumes, especially those parts containing fat and dust which are clogging the heat exchangers and obstructing the necessary heat transfer up to inefficiency.

Developments to eliminate odour emissions from baking fumes are known among others from the USA. In that case, baking fumes are exempted from odour-carrying contents by oxidation in an incinerator or by condensation in a cooling system. However, both procedures involve a remarkable additional energy input and were unacceptable for Kuchenmeister as a solution to the entire complex of problems, considering the aspects resource conservation, environmental protection and cost saving.

Moreover, the existing devices for heat recovery were operated separately, i. e. not integrated into the baking process itself. It was not considered that there is a reciprocal effect between baking process and heat recovery due to the suction of the baking fumes, which has an impact on the baking process in terms of energetic effects as well as in terms of stability of the quality of the baked product. Our approach is based on dynamic process integration – therefore, cooperation with a company specialized in the area of baking technology was essential.

We managed to gather the baking fumes as before with the existing internal devices like fumepusher and fume hood and to direct them to the periphery of the oven using the present internal pipings and tubes. Instead of delivering them outdoors by chimneys, the baking fumes are then delivered to the deodorization/heat recovery devices.

Combination of the aims of the procedure, its realization by means of a compact deodorization- and heat recovery unit as a modular concept and its dynamic integration into the ovenprocess represent the novelty value of the procedure. This project was an initial, innovative approach to

industrial implementation of the method. For the first time, an elimination of odour emissions which is self-financing along the life cycle of the installation, could be demonstrated. The heat capacity of the device „pays for“ the deodorization.

Transferability to industrial production of foodstuffs with thermal treatment is obvious and generally given. We go out from approximately 1.200 through-type ovens being operated only in Germany, to which the new procedure can be transferred. Kuchenmeister itself has already taken two further installations of the innovative deodorization technique into operation. So the new technology will make a remarkable contribution to the decrease of odour- and greenhouse gas emissions within Europe's baking industry.

Communication of this successful project shall be made within the industry sector in 2014 through customers of Kuchenmeister GmbH. Moreover, a publication of the results is planned to be released in the trade journals „Brot und Backwaren“ as well as „Baking and bisquit“. At the same time, the realization of this procedure will be published in cooperation with the Efficiency Agency NRW in their loose leaf edition in the second half-year of 2014.

It is especially communication of an eco-friendly technology that is appropriate to improve the standards within the branch to the favour of an energy-efficient procedure.

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt	2
Kurzfassung.....	4
Abbildungsverzeichnis	19
Tabellenverzeichnis.....	20
1. Einleitung	22
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	22
1.2 Ausgangssituation	23
2. Vorhabensumsetzung	23
2.1 Ziel des Vorhabens.....	23
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	24
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	27
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	43
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	43
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	45
3.3 Umweltbilanz	51
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	53
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	55
4. Empfehlungen.....	56
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	56
4.2 Modellcharakter	56
4.3 Zusammenfassung	58
Anlagen	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenteile des Verfahrens.....	7
Figure 2: Schematic presentation of essential plant components of the procedure	14
Abbildung 3: Betriebsgelände am Standort Soest und Blick in die Produktion.....	22
Abbildung 4: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenteile des Verfahrens.....	25
Abbildung 5: Verfahrenstechnisches Schaltbild WRG, Anordnung im Pilotmassstab	26
Abbildung 6: Gesamtansicht Wärmerückgewinnung Ofen Anlage 5, Aufnahme aus 2013	27
Abbildung 7: Wasserverteilung unterhalb des untersten Pads bei Pumpendrehzahl 30 Hz.....	30
Abbildung 8: Wasserverteilung unterhalb des untersten Pads bei Pumpendrehzahl 40 Hz.....	30
Abbildung 9: Schwadenanschluss Desodorierungsanlage an Linie 8, Aufnahme aus März 2014.....	32
Abbildung 10: Wärmerückgewinnung an Desodorierungs-Anlage II (Linie 5), Aufnahme aus März 2014	34
Abbildung 11: Wärmerückgewinnung an Desodorierungs-Anlage II (Linie 5), Aufnahme aus März 2014	35
Abbildung 12: Wärmetauscher an Anlage Linie 5, Aufnahme aus März 2014.....	36
Abbildung 13: Ofen Linie 5 in Gesamtansicht, Aufnahme aus 2013	37
Abbildung 14: Wärmetauscher an Anlage Linie 8, Aufnahme aus März 2014.....	40
Abbildung 15: Gesamtansicht Anlage Linie 8, Aufnahme aus 2013.....	41
Abbildung 16: Desodorierung Anlage Linie 8, Aufnahme aus März 2014	42
Abbildung 17: Backofen ohne Wärmerückgewinnung.....	46
Abbildung 18: Backofen mit Wärmerückgewinnung/Desodorierung.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung.....	5
Tabelle 2: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung (unternehmensweit).....	5
Tabelle 3: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung durch die Übertragbarkeit bei einem deutschlandweiten Einsatz in 25 % der vergleichbaren Durchlaufbacköfen	5
Tabelle 4: Erreichte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Projektende	8
Tabelle 5: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung und tatsächlich erreichbare Umwelteffekte.....	8
Tabelle 6: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung durch die Übertragbarkeit bei einem deutschlandweiten Einsatz in 25 % der vergleichbaren Durchlaufbacköfen	9
Table 7: Estimated environmental effects of heat recovery upon application	12
Table 8: Estimated environmental effects of heat recovery upon application (company-wide).....	12
Table 9: Estimated environmental effects of heat recovery by transferability to a Germany-wide use in 25 % of comparable through-type baking ovens.....	12
Table 10: Environmental effects of heat recovery achieved at project completion	15
Table 11: Estimated environmental effects of heat recovery upon application and actually achievable environmental effects	15
Table 12: Estimated environmental effects of heat recovery due to transferability in case of a Germany-wide installation on 25 % of all comparable through-type ovens.....	16
Tabelle 13: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung	24
Tabelle 14: Projektplan.....	28
Tabelle 15: Teilvorhaben gem. Zuwendungsbescheid vom 27.08.2012.....	28
Tabelle 16: Hinweise und Einstellparameter für den Alltagsbetrieb.....	39
Tabelle 17: Wesentliche Leistungsparameter WRG	45
Tabelle 18: Ergebnisse der olfaktorischen Messungen im Roh- und Reingas des installierten Wäschers mit Wärmerückgewinnung am Backofen 5 der Kuchenmeister GmbH in Soest, Kurzdokumentaion LG9773.1/03 vom 21.03.2014	48
Tabelle 19: Messergebnisse C _{ges} im Reingas, Messergebnisse vom 25.02.2014 (Bezüge: Einheit mg/m ³ : 0 °C; 1013 hPa trocken).....	50
Tabelle 20: Messergebnisse C _{ges} im Rohgas, Messergebnisse vom 25.02.2014 (Bezüge: Einheit mg/m ³ : 0 °C; 1013 hPa trocken).....	50

Tabelle 21: Messergebnisse Kondensat (Abwasserprobe), Messergebnisse vom 25.02.2014 (* < Bestimmungsgrenze)	51
Tabelle 22: Erreichte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Projektende	52
Tabelle 23: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung und tatsächlich erreichbare Umwelteffekte	52
Tabelle 24: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung durch die Übertragbarkeit bei einem deutschlandweiten Einsatz in 25 % der vergleichbaren Durchlaufbacköfen	52
Tabelle 25: Wärmeleistung und Einsparungen der Desodierungsaggregate.....	53
Tabelle 26: Amortisationsrechnung	54
Tabelle 27: Amortisationsrechnung ohne Förderung bei erwarteter künftiger Investitionskostenentwicklung	55

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Seit mehr als hundert Jahren ist das Familienunternehmen Kuchenmeister dem Konditorhandwerk verbunden; der Beruf des Konditors und Bäckers ist bei uns noch heute, bereits in der vierten Generation, die Basis für industrielle Produktion im großen Stil. Aus den Anfängen einer kleinen Konditorei in der Innenstadt hat sich Kuchenmeister heute zum Hersteller feiner Konditoreiwaren und Kuchenspezialitäten mit einer Produktionsfläche von über 30.000 qm an verschiedenen Standorten entwickelt. Traditionelle Rezepturen wurden im Laufe der Jahre dem heutigen technischen Stand angepasst. Das umfassende Know-how über die Fertigung auf hochtechnisiertem Niveau ist der Grundstein für unsere Produktion von weit über 150 Sorten feinsten Konditoreiwaren. Jahrelange Erfahrung, ein hohes Qualitätsniveau, fortschrittliche Produktionsverfahren, die Verwendung erstklassiger Rohstoffe und das feine Gespür für Markttrends bilden das Erfolgsrezept von Kuchenmeister.

Auf der nachfolgenden Abbildung 3 sind Teile des Betriebsgeländes in Soest sowie ein Blick in die Produktion abgebildet.



Abbildung 3: Betriebsgelände am Standort Soest und Blick in die Produktion

Heute setzen wir an den Standorten Soest, Mettingen und Duingen mit mehr als 850 Mitarbeitern in der Kuchenmeister GmbH ca. 220 Mio. € um. Unsere Kunden sind die großen Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels, die wir unter der Marke Kuchenmeister und mit Eigenmarken beliefern.

Das aktuelle Vorhaben zur prozessintegrierten Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung stellte einen weiteren Schritt zur technologischen Entwicklung unserer hochmodernen Produktion dar – hier mit dem Fokus auf maximale Energieeffizienz und emissionsarmen Betrieb.

1.2 Ausgangssituation

Die Firma Kuchenmeister betreibt für die Herstellung von Kuchen europaweit mehr als 30 Durchlaufbacköfen unterschiedlicher Größe mit verschiedenen Produkten und Produktionsleistungen. Beim Backen in leistungsfähigen Durchlauföfen entstehen in Abhängigkeit von der Ofengröße, der Backtemperatur, dem Backgut und der Verweildauer sehr unterschiedliche Ofenatmosphären (Temperatur, Feuchtigkeit, Geruchsstoffe etc.), die als Ofenabluft Geruchsstoffe und Wärmeenergie an die Umwelt abgeben.

Die Geruchsemissionen der Betriebe der Firma Kuchenmeister stammen zum weitaus größten Teil aus der Prozessabluft dieser Backöfen, den sogenannten Backschwaden. Backschwaden entstehen im Backraum der Backöfen bei der Einbringung thermischer Energie durch die daraus resultierenden Stoffumwandlungen in den Kuchenmassen und -teigen. Sie bestehen aus feuchter, geruchsbelasteter, fett- und staubhaltiger Heißluft. Backschwaden gelangen aus dem Backraum über Schwadenkamine in die Umwelt und bilden, insbesondere bei der vorliegenden industriellen Produktion, eine Geruchs-Immissionsquelle. Die Kuchenmeister GmbH, die alle gesetzlichen Grenzwerte für Emissionen und Immissionen einhält, wollte die Geruchsemissionen der Backöfen weiter reduzieren, auch um die Akzeptanz eines weiteren Wachstums bei den Anliegern zu verbessern. Die Produktionskapazität am Standort Soest beträgt 3.550 KW/h, Standort Duingen 1.600 KW/h, Mettingen 1.050 KW/h. Die gasbetriebenen Anlagen werden genehmigungsrelevant ab 10.000 KW/h.

Abwärmenutzung bzw. Abluftreinigung sind im Medium Backofenschwaden mit herkömmlichen Wärmetauschern und Filtersystemen unwirtschaftlich, da sie in kurzer Zeit durch Verschmutzungen und Kondensate unbrauchbar werden. Daher wollte das Unternehmen in Zusammenarbeit mit der German Lebensmitteltechnologie GmbH ein innovatives, modular konzipiertes Verfahren einsetzen, dass beide Ziele in einem Verfahrensschritt erreicht. Die erstmalige industrielle Anwendung sollte dabei exemplarisch für alle Ofengrößenklassen und Warengruppen/Rezepturen nachgewiesen werden. In der Gesamtheit entstand daraus eine komplexe Anforderungsmatrix, die es notwendig, machte unterschiedliche Kombinationen der Technologiemodule an zwei Backöfen unterschiedlicher Größenklassen zu demonstrieren.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Das Vorhaben "Prozessintegrierte, simultane Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung – ein innovatives Verfahren für Durchlaufbacköfen" stellte die erstmalige industrielle Anwendung eines neuartigen Verfahrens dar. Gegenstand des Vorhabens war die simultane Entfernung der Geruchsbelastung und die Rückgewinnung der Wärme aus der Prozessabluft (Schwaden) der Backöfen der Firma Kuchenmeister.

Die Geruchsemission der Anlagen sollten um mehr als 90 % gesenkt werden. Hierbei handelte es sich um eine Abschätzung des Anlagenanbieters auf Basis von Laborergebnissen, da keine Geruchsmessergebnisse von den Backöfen der Fa. Kuchenmeister vorlagen.

Für einen Backofen der 2.300 Kuchen/h produziert wurde ein Energiegehalt der Schwaden von 32 kW ermittelt. Davon sollten 2/3 als Warmwasser mit einer Temperatur von 60 °C rückgewonnen werden. Minimalziel war der energieautarke Betrieb der Abluftreinigungsanlage zu jedem Betriebszeitpunkt – dazu werden während des Betriebes der Anlage maximal 2 kW in Form von elektrischer Energie für den Betrieb der Abluft- und der Kühlmittelzirkulation benötigt. Das Vorhaben legte den Schwerpunkt auf die Senkung von Geruchsemissionen in Verbindung

mit einem intelligenten Energienutzungskonzept unter sicherer Vermeidung sonst üblicher zusätzlicher Energiebedarfe zur Abluftreinigung.

Für die ursprünglich vorgesehene Ausrüstung von 6 Ofenanlagen wurden folgende Umwelteffekte (Wärmerückgewinnung je Ofen: 21,33 kW, 4.000 Betriebsstunden) bei Projektabschluss erwartet:

Wärmerückgewinnung	CO ₂ -Reduktion
512.000 kWh/a	148.480 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 13: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung

Hochgerechnet auf die ca. 30 Öfen der Kuchenmeister GmbH - unter Annahme gleicher Betriebsbedingungen - wurde bei Antragstellung eine geschätzte Wärmerückgewinnung von 2.500.000 kWh/a, dies entspricht eine CO₂-Reduktion von 725.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas) ermittelt. Bei einem deutschlandweiten Einsatz in nur 25% der vergleichbaren Durchlaufbacköfen (Deutschlandweit ca. 1.200) wären eine Wärmerückgewinnung/a von 25.000.000 kWh/a, dies entspricht eine CO₂-Reduktion/a von 7.250.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas) möglich.

Es ging ausdrücklich nicht um die Nutzung der Abwärme aus der Ofenheizung – die Rauchgase der gasbefeuerten Ofenheizungen werden im Unternehmen seit langem über Wärmerückgewinnungseinrichtungen geführt und genutzt. Ziel des Vorhabens war es vielmehr, die Leistungsfähigkeit eines kombinierten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungsverfahrens nachzuweisen. Geruchsemissionen werden aus der Prozessabluft entfernt und in der Prozessabluft enthaltene Wärme zur Warmwassererzeugung genutzt. Das Vorhaben legte den Schwerpunkt auch auf die Vermeidung von zusätzlichem Energieverbrauch durch den Betrieb der Anlage selbst sowie auf die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Anlage und Backprozess.

Bei Kuchenmeister werden im Wesentlichen Öfen in 6 Größenklassen betrieben, in denen wiederum 25 unterschiedliche Produktgruppen mit entsprechend verschiedenen Rezepturen und Backprogrammen hergestellt werden. Das geplante Modulsystem wurde an je einem Ofen Einsäulenanlage und Zweisäulenanlage je Größenklasse (35 – 110 m² Backfläche) installiert und eingefahren. In diesem Rahmen wurden jeweils für eine repräsentative Anzahl von Produktgruppen die idealen Betriebspunkte ermittelt.

Mittelfristig beabsichtigt das Unternehmen alle großen Durchlauföfen mit der innovativen Anlagentechnik auszurüsten und diese Technologie in Zusammenarbeit mit dem Technologielieferanten auch anderen Betrieben anzubieten.

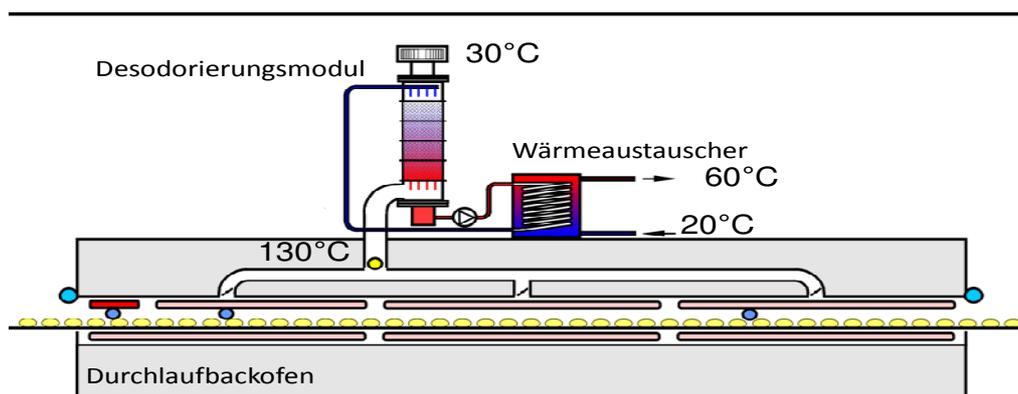
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die Umweltschutzwirkung des Vorhabens besteht in der Reduzierung der Geruchsemissionen der Kuchenproduktion und in der Rückgewinnung der in den Backschwaden enthaltenen Wärme durch ein innovatives und umweltfreundliches Verfahren.

Beim Backen entstehen in Abhängigkeit von der Ofengröße, der Backtemperatur, dem Backgut und der Verweildauer sehr unterschiedliche Ofenatmosphären (Temperatur, Feuchtigkeit, Geruchsstoffe etc.). Die Abwärmenutzung bzw. Abluftreinigung sind mit herkömmlichen Wärmetauschern und Filtersystemen unwirtschaftlich, da diese in kurzer Zeit durch Verschmutzungen und Kondensate unbrauchbar werden.

Es war geplant, die Backschwaden wie bisher mit den vorhandenen ofeninternen Einrichtungen wie Schwadenschieber und Hauben zu sammeln und mit den vorhandenen ofeninternen Rohrleitungen und Kanälen an die Ofenperipherie zu führen. Anstelle der Verbringung mittels Schwadenkaminen ins Freie wurden die Backschwaden den Desodorierungs-/Wärmerückgewinnungsanlagen zugeführt. Die Konzentration der Backschwaden wurde daraufhin mit den vorhandenen bzw. nachgerüsteten Backraum-Klimaregelungen, d.h. in Abhängigkeit von den Produkten und deren Backraumbelastung, maximiert um eine gute Abscheideleistung zu erzielen. Ein Drittel der firmeninternen Backöfen verfügte bereits über eine Backraum-Klimaregelung. Das Vorhaben knüpfte mit der Wärmerückgewinnung/Desodorierung der Backschwaden an diese Technologie an und hat diese komplettiert.

Die neue Technologie ist als Modulsystem ausgelegt, das es erlaubt, unterschiedlichen Leistungsklassen und Prozessparametern gleichermaßen gerecht zu werden. Das Grundprinzip stellt ein liegend angeordneter, mit Wasser gefluteter Rohrbehälter dar, der langsam von den Ofenschwaden durchströmt wird. Dabei werden Wärme und Geruchsstoffe vom Wasser aufgenommen. Die gereinigte, kalte Luft strömt über das Dach ab. Das erwärmte Wasser wird über einen Wärmetauscher geführt und so energetisch für die Warmwasserbereitung genutzt. Eine schematische Darstellung einer Einsäulenanlage zeigen die beiden folgenden Abbildungen, ergänzt um ein Foto der Anlage an der Linie 5 im realen Betrieb:



2

Abbildung 4: Schematische Darstellung der wesentlichen Anlagenteile des Verfahrens

Wärmerückgewinnung aus Backschwaden V08.1

2009-07-30 (nach RS mit Hr. Nasse, Hr. Bott)

Anordnung im Pilot-Masstab

- 1 Rohr DN 150, L = 1000 mm
- 2 Rohr DN 150, L = 200 mm
- 3 Flansch mit Schnellverschluss und Dichtung (Temp. Bis 150 °C)
- 4 Stutzen AußenD = 80 für Lufteintritt und Luftaustritt
- 5 Muffe mit Quetschverschraubung für 1/2" Innenrohr für Wassereintritt und Wasseraustritt
- 6 OPS-Scheiben, D = 143, H = 27 mm, 30 Stck. (GLT)
- 7 Lochblech zur Befestigung der Scheiben auf der Welle
- 8 Motor (GLT)
- 9 Welle
- 10 Blindflansch mit Wellenlager
- 11 Isolierung
- 12 Aufständerung für Anordnung, lichte Höhe = 200 mm (nicht abgebildet)
- 13 Einschraubthermometer PT100 für Luft Einlauf, L = 10 mm
- 14 Einschraubthermometer PT100 für Luft Auslauf, L = 10 mm
- 15 Einschraubthermometer PT100 für Wasser Einlauf, L = 10 mm
- 16 Einschraubthermometer PT100 für Wasser Auslauf, L = 10 mm

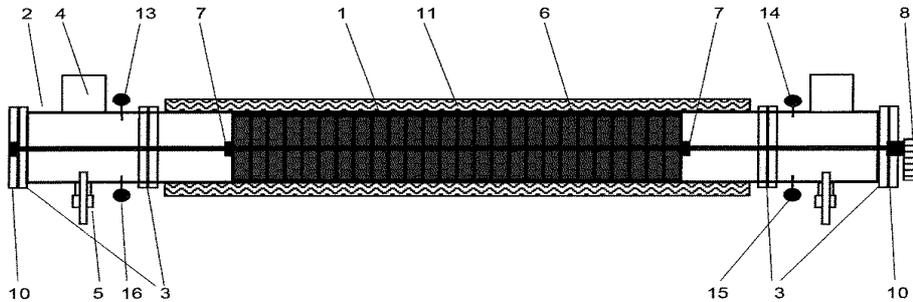


Abbildung 5: Verfahrenstechnisches Schaltbild WRG, Anordnung im Pilotmasstab



Abbildung 6: Gesamtansicht Wärmerückgewinnung Ofen Anlage 5, Aufnahme aus 2013

Die zwei Modulsysteme wurden an einer Einsäulenanlage bzw. Zweisäulenanlage installiert und eingefahren. Hiermit konnte die Funktionstüchtigkeit eines Einzelmoduls ebenso nachgewiesen werden, wie diejenige im kombinierten Betrieb. Grundsätzlich ist also auch eine Multimodulbauweise denkbar. Im Rahmen der Inbetriebnahme wurden jeweils für eine repräsentative Anzahl von Produktgruppen die idealen Betriebspunkte ermittelt und die Ergebnisse mittels eines Messprogramms erfasst. Insbesondere sollte die Wärmeleistung der Aggregate, Leitparameter für die Abluftbelastung und die organische Belastung des Wassers im Rückgewinnungssystem überwacht werden.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Insgesamt ist es gelungen das anspruchsvolle Innovationsvorhaben erfolgreich umzusetzen. Abweichend von der Antragstellung wurden nicht sechs, sondern zwei Anlagen installiert. Die

ausgelöst werden. Mit der Vormontage der Anlagen zur simultanen Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung, nachstehend abgekürzt WRG-Anlagen, wurde im Februar 2013 beim Hersteller begonnen. Zunächst wurde eine Einsäulenanlage bei Kuchenmeister an der Linie 5 installiert. In dieser Anlage (Ofengröße 72 m²) werden Folienkuchen, Rodon und Torino gefertigt.

Die Arbeiten an der Anlage Linie 5 begannen am 07.03.2013 mit der Montage im Betrieb. Dazu wurde die WRG-Anlage aufgestellt, montiert und die erforderliche Anbindung hergestellt (Anbindung elektrisch, an das betriebliche Wassernetz, an die Abluft des Backofens). Im Anschluss an den Testbetrieb begann ab dem 07.05.2013 der automatische Dauerbetrieb der Anlage mit kompletter Entnahme der Abluft des Backofens und der Optimierung von Wasser- und Abluftdurchsatz.

Während des Betriebs der Anlage zeigten sich rasch Probleme mit zwei wesentlichen Funktionsbestandteilen, nämlich der richtigen Einstellung der Wasserverteilung am Säulenkopf und der gleichmäßigen Wasserverteilung auf die Pads. Die Wasserverteilung ist entscheidend für die Wärme- und Geruchsaufnahme aus den Backofenschwaden, die Pads sind vor allem für die Durchmischung der Schwaden mit dem Wasser und Vergrößerung der Kontaktfläche wichtig. Zur Lösung der Probleme wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Testreihen mit unterschiedlichen Pad-Durchmessern

Zunächst wurden Pads mit 200 mm Durchmesser verwendet. Die Verwendung von 200 mm Pads wurde von September 2012 bis November 2012 getestet. Die gewünschte Geruchsreduzierung und Wärmeübertragung konnte mit Hilfe der 200 mm Pads erreicht werden, jedoch setzten sich die Pads zu, da das im Umlauf befindliche Wasservolumen zu gering war. Eine Reinigung bzw. ein erforderlicher Austausch der zugesetzten Pads führte zu erheblichen Wartungsarbeiten und Betriebsunterbrechungen an der Anlage. Da dies nicht unseren Zielvorgaben entsprach, haben wir weitere Tests mit 400 mm Pads durchgeführt.

Diese 400 mm Pads wurden von November 2012 bis Dezember 2012 in einem vierwöchigen Dauerbetrieb getestet. Anschließend wurden die Pads ausgebaut und eine Prüfung bezüglich der Zusetzung durch Inhaltsstoffe der Backofenschwaden vorgenommen. Die Pads hatten sich nicht zugesetzt, sondern nur leicht verfärbt.

- Testreihen zur Auftragung des Wassers

Zeitgleich zu den Testreihen mit den unterschiedlichen Pads wurden Tests zum Wasserauftrag auf die Pads geführt. Das Wasser darf keine zu hohe Vorlauftemperatur haben, da nur bei Temperaturen unter 30 Grad Celsius die Geruchsbildung wirksam verhindert werden kann. Aus diesem Grunde wurden diverse Tests mit der Wassertemperatur sowie unterschiedlichen Wasserverteilungsvarianten zur Aufgabe des Wassers gefahren. Der Wasserauftrag wurde in diversen Auftragsmengen als auch Konfigurationen (sternförmig, tropfenförmig) getestet, um die optimalen Bedingungen zu konfigurieren. Das Wasser wird optimal verteilt, wenn es sinuskurvenförmig über die frequenzgeregelte Pumpe dosiert wird. Dabei wurde auch der Sprühkopf mehrfach in Bezug auf Anzahl und Lage der Löcher am Sprühkopf modifiziert. Eine weitere Schwierigkeit stellte die Anpassung der Pumpen und des Plattenwärmetauschers dar. Bei den Pumpen wurden zunächst einfache Kreiselpumpen eingesetzt, die aber bezüglich der Regelbarkeit nicht den Anforderungen entsprachen und daher durch frequenzgeregelte Inlinepumpen ersetzt werden mussten. Bei den Wärmetauschern musste die Anzahl der Austauschplatten vergrößert werden. Nachfolgend zwei Abbildungen zur Visualisierung unserer Tests:



Abbildung 7: Wasserverteilung unterhalb des untersten Pads bei Pumpendrehzahl 30 Hz



Abbildung 8: Wasserverteilung unterhalb des untersten Pads bei Pumpendrehzahl 40 Hz

Aus diesen Anpassungsarbeiten konnte die Schwadenaustrittstemperatur als Leitparameter für die Produktionsanpassung der weiteren Anlage abgeleitet werden. Es gibt eine Grenztemperatur die nicht überschritten werden darf, um die Desodorierung im optimalen Bereich zu halten. Da diese produktabhängig ist, muss sie jeweils ermittelt werden.

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt den Schwadenanschluss Desodorierungsanlage an Linie 8.

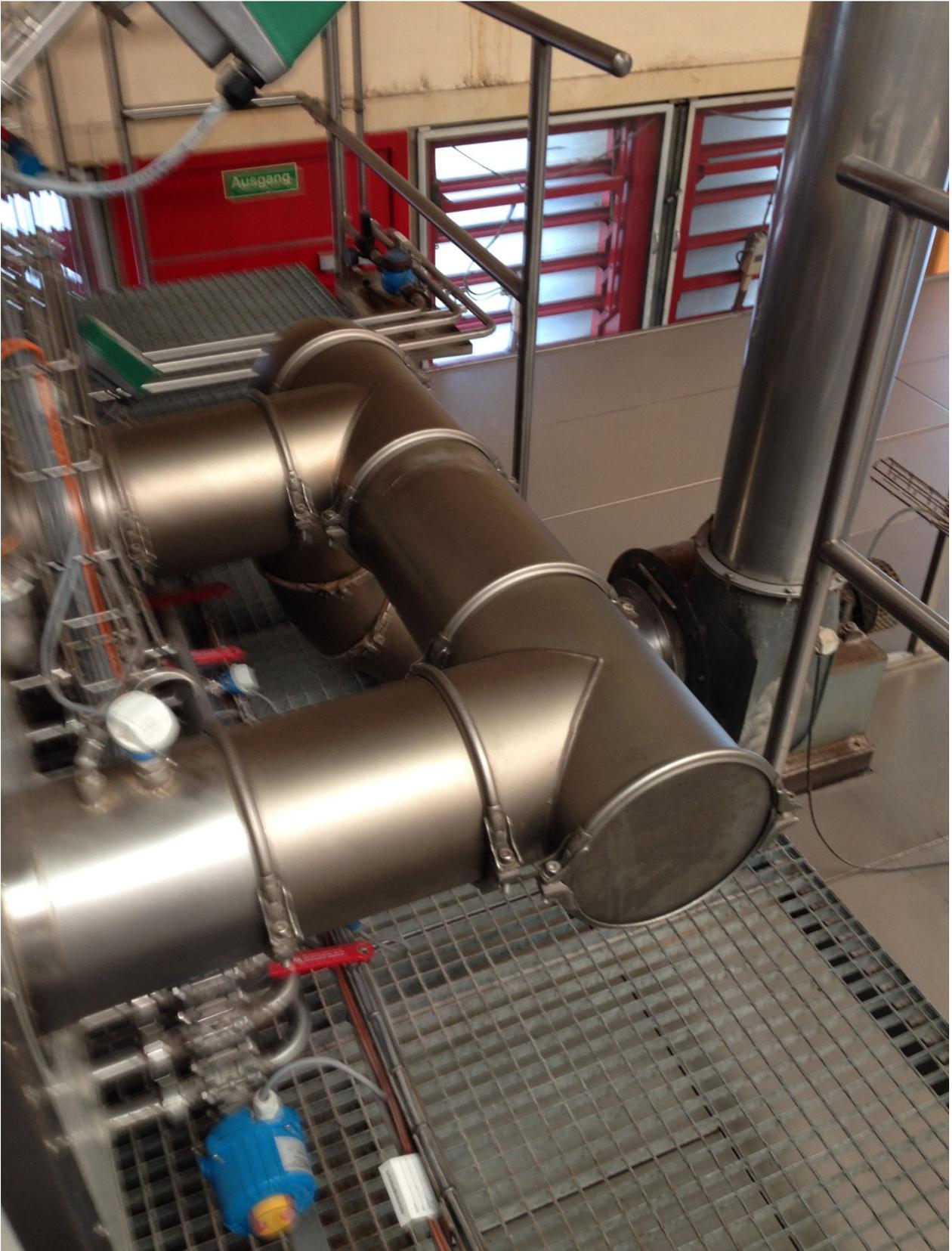


Abbildung 9: Schwadenanschluss Desodorierungsanlage an Linie 8, Aufnahme aus März 2014

Nach 2.000 Stunden Desodorierungsbetrieb und Wärmerückgewinnung wurde im Oktober 2013 an der Desodorierungsanlage am Ofen der Linie 5 eine Inspektion durchgeführt. Die Inspektion zeigte, dass keine nennenswerten Mängel an den Anlagenteilen erkennbar waren und sich die Anlage in einem guten äußeren Allgemeinzustand befand. Sensoren, Motoren und Stellglieder der Anlage arbeiteten einwandfrei. Nachfolgend beschriebene Anlagenteile wurden dabei detailliert geprüft, um Hinweise auf Materialverschleiß, Verschmutzung oder Materialermüdung zu erhalten:

- Anschlussrohre für Schwaden zwischen Schwadenkamin und der Kolonne: Hier wurde eine Leckage (vertrocknetes Kondensat) unten am Dichtring des Anschlussstutzens Kolonne und auf dem darunterliegenden Ablass-Ventil festgestellt
- Das waagerechte Verbindungsrohr wurde demontiert, gesäubert und neu eingedichtet
- Oberstes Pad in der WRG-Kolonne: Das Pad war leicht bräunlich eingefärbt. Segmente, die mit Kondensat beträufelt wurden sind erkennbar, die Poren waren frei
- Unterstes Pad in der WRG-Kolonne: Das Pad hatte an einigen Stellen dunkelbraune Kondensatanhaftungen, jedoch auch viele helle Stellen, die dem Ursprungszustand entsprechen
- Wärmetauscher, Pumpe und Ventile: Guter Zustand ohne Auffälligkeiten

Als Fazit der Inspektion lässt sich festhalten, dass die WRG zuverlässig und stabil arbeitete. Die eingestellten Parameter konnten beibehalten werden, um ein Leistungsoptimum zu erzielen. Es waren nach fünfmonatigem Testbetrieb keine kritischen Punkte erkennbar, die auf einen Verschleiß oder eine innere Verschmutzung der Kolonne oder der Kondensat-Leitungen schließen liessen. Die Schwaden-Zufuhrrohe zur WRG zwischen Schwadensammelrohr am Ofen und Anschlussstutzen an der WRG hatten innen einen beträchtlichen Kondensatbelag und mussten zur Vermeidung der Kondensatbildung isoliert werden.

Das Abführen der kompletten beim Backen entstehenden Schwaden über die WRG erwies sich trotz der Luftschleier am Ofeneinlauf und Auslauf als nicht optimal. Dies war am Ofen deutlich daran zu erkennen, dass an der Haube am Ofeneinlauf zeitweilig mehr oder weniger stark Backraumschwaden austraten. Ein Vortest mit der im Backofen integrierten Impulstechnik am 26.09.2013 hatte gezeigt, dass dem entgegengesteuert werden kann. Um dies zu automatisieren wurde eine geeignete Regelstrecke entworfen und ein Reglermodul in die Steuerung integriert. Diese Maßnahmen konnten das Problem lösen, so dass seit Dezember 2013 ein störungsfreier Dauerbetrieb erfolgt.

Nachfolgend möchten wir die WRG durch einige Fotos anschaulicher darstellen:



Abbildung 10: Wärmerückgewinnung an Desodorierungs-Anlage II (Linie 5), Aufnahme aus März 2014



Abbildung 11: Wärmerückgewinnung an Desodorierungs-Anlage II (Linie 5), Aufnahme aus März 2014



Abbildung 12: Wärmetauscher an Anlage Linie 5, Aufnahme aus März 2014



Abbildung 13: Ofen Linie 5 in Gesamtansicht, Aufnahme aus 2013

Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Modifikation der Anlage an Linie 5 begannen im April 2013 vor Ort die Umbauarbeiten an der Anlage Linie 8, eine Zweisäulenanlage. Aufgrund der gemachten Erfahrungen konnte hier die Testphase verkürzt werden und zum 27.05.2013 der automatische Dauerbetrieb anlaufen. Als Leitparameter hatten wir dabei die Schwadenaustrittstemperatur berücksichtigt. Es gibt eine Grenztemperatur die nicht überschritten werden darf, um die Desodorierung im optimalen Bereich zu halten. Diese Temperatur ist produktabhängig und jeweils zu ermitteln.

Bei der Anlage an Linie 8 konnte wegen der Schwankungen in der Produktionsleistung und der schnelleren Produktfolge mit voneinander abweichenden Backparametern zunächst keine

optimale Grundeinstellung für die WRG ermittelt werden. Tests mit montiertem Trennblech und abgeschaltetem Schwadenventilator ergaben, dass das Wärmeleistungspotential für Milchbrötchen zwischen 24 bis 30 kW liegt. Dies lag unter der aus den Backdaten ermittelten rechnerischen Prognose von ca. 50 kW. Die Prognose bezog sich auf eine konstante optimale Produktionsleistung und eine 100%-Abführung der entstehenden Backschwaden.

Die Abführung der Backschwaden war zunächst nicht 100%ig zu gewährleisten, weil bauliche Gegebenheiten des Ofens dies nicht zuließen. Es gab im vorderen Bereich des Ofens noch einen zweiten Schwadenabzug, der nicht an die Anlage angebunden war. Dieser wurde noch zum Abtrocknen der Produkte genutzt. Nach Durchführung von Testreihen gelang es, den zweiten Abzug in die WRG einzubinden, ohne Qualitätseinbußen an den empfindlichen Backprodukten zu verursachen.

Nach umfangreichen Erhebungen der Prozessparameter Luftdurchsatz und Wasserdurchfluss konnte die Anlage ab Mai 2013 in den Dauerbetrieb übernommen werden.

Auch hier erfolgte am 25.09.2013, nach viermonatigem Dauerbetrieb, eine Inspektion der Anlage. Die Inspektion ergab, dass die eingestellten Parameter nach zu justieren waren, um ein Leistungsoptimum zu erzielen und erfolgte am 26.09.2013 an den Parametern Ventilatorendrehzahl und Kondensatdurchfluß. Der Nachjustierungsvorgang kann nach bisherigen Kenntnissen nicht als ein Anzeichen dafür gewertet werden, dass der viermonatige Dauerbetrieb zu einem Abfall der Leistung der WRG geführt hat. Seither ist die Anlage ebenfalls im störungsfreien Dauerbetrieb.

Nach erfolgreicher Modifikation der Einsäulenanlage (Linie 5) sowie der Zweisäulenanlage (Linie 8) wurden folgende Leitparameter bzw. Maßnahmen für den erfolgreichen Anlagenbetrieb erkannt:

Optimierung der WRG-Reglerparameter und der WRG-Routinefunktionen, insbesondere:

- Ablauftemperatur des Spritzwassers muss unter 30 °C liegen
- Freischaltung der Dauerabnahme von Warmwasser durch das nachgeschaltete Warmwasser-Puffersystem
- Einweisung des Servicepersonals Kuchenmeister zur Bedienung und Handhabung von Störungen

Die Entschwadung von Ofen Linie 5 erfolgt seit dem 07.05.2013 ausschließlich durch die Wärmerückgewinnungs- und Desodorierungsanlage. Der Schwadenventilator des Ofens ist deaktiviert.

Die Entschwadung von Ofen Linie 8 erfolgte seit dem 07.05.2013 nicht ausschließlich durch die Wärmerückgewinnungs- und Desodorierungsanlage, sondern zu einem Teil über den Ofen-Schwadenventilator. Es handelte sich hierbei um eine vorübergehende Vorsichtsmaßnahme, bis geklärt war, ob das Umschalten auf die WRG die Produktqualität beeinflusst. Seit Ende Mai 2013 ist der Übergangstatus beendet. Es wurde kein nachteiliger Einfluss auf das Produkt erkannt.

Bisherige Beobachtungen an Linie 5 ergeben, dass nach Ermittlung einer gemeinsamen Grundeinstellung der WRG-Parameter für die Produkte Folienkuchen und Rodon keine weiteren Feinabstimmungen erforderlich sind. Die Wärmeleistung der Anlage bewegt sich bei diesen Produkten zwischen 22 kW (Rodon) und 28 kW (Folienkuchen). Für das Produkt „Torinos“ mit einer im Vortest ermittelten Wärmeleistung von über 30 kW wären Korrekturanpassungen nötig gewesen, dieses Produkt wurde jedoch ausgelistet.

Insgesamt zeigt sich, dass der produktspezifische Anpassungsbedarf der Anlagensteuerung als eher niedrig einzustufen ist. Bei Produkten mit hohem Wärmeleistungseintrag muss dies aber für den betrieblichen Alltag berücksichtigt werden und die Steuerung entsprechend erfolgen. Für die beiden Anlagen bei Kuchenmeister ist dies heute erfolgreicher Betriebsalltag.

Für den Alltagsbetrieb wurden folgende wesentlichen Hinweise und Einstellparameter ermittelt:

Betriebsstatus	Parameter	Ziel / Zweck
Automatisches Abschlämmen	Zeitintervall und Dauer	Entfernen von Sediment im Kondensattopf in ausreichenden Zeitabständen.
Automatischer Kolonnenreset	Bedingung, Zeitintervall und Dauer	Verhindern der Flutung der Säule. Kurzzeitiges Abtrocknen in ausreichenden Zeitabständen begünstigt sicheren Dauerbetrieb.
Automatisches Anfahrprogramm	Zeitlicher Ablauf und Selbsttest	Anlage wird nach Produktionsstart mit Stadtwasser neubefüllt und durchläuft ein Testprogramm.
Spülroutine	Zeitlicher Ablauf und Effektivität	Anlage durchläuft bei Produktionsende ein Spülprogramm und wird dann komplett entleert. Optimierung Dauer und Bedingungen des Spülprogramms.
Desodorierbetrieb	Luftdurchsatz, Kondensatdurchsatz, Stadtwasserdurchsatz	Luftdurchsatz wird automatisch angepasst an Produkt. Kondensatdurchsatz wird automatisch angepasst an Zieltemperatur Desodorierung. Stadtwasserdurchsatz wird automatisch angepasst an Produktionsleistung.

Tabelle 16: Hinweise und Einstellparameter für den Alltagsbetrieb

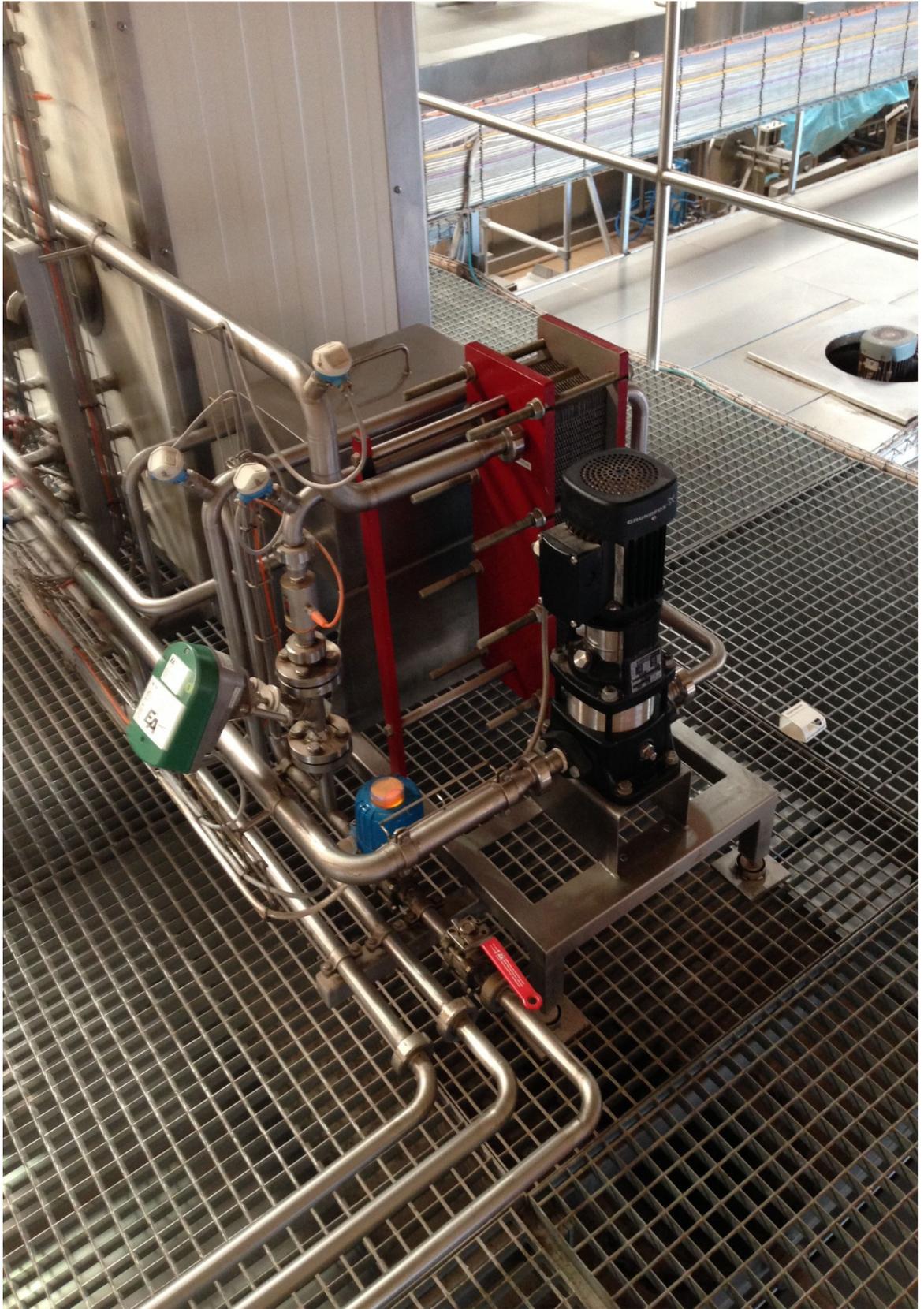


Abbildung 14: Wärmetauscher an Anlage Linie 8, Aufnahme aus März 2014



Abbildung 15: Gesamtansicht Anlage Linie 8, Aufnahme aus 2013



Abbildung 16: Desodorierung Anlage Linie 8, Aufnahme aus März 2014

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlagen waren keine behördlichen Genehmigungen erforderlich - es bestanden auch keinerlei Auflagen.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Einzelheiten und Umfang des Mess- und Untersuchungsprogrammes wurden vor Durchführung mit dem Umweltbundesamt (UBA) abgestimmt.

Bei der Durchführung des Messprogramms wurden folgende energetische Parameter gemäss Zuwendungsbescheid gemessen und ermittelt:

- Wärmeleistung der Aggregate
- Energiebedarf des Reinigungsmoduls (inkl. der Schwadenabsaugung)
- Mehrenergiebedarf der Backöfen auf Grund der Schwadenabsaugung
- Energiebilanz des Reinigungsmoduls
- Olfaktorische Messung sowie Benennung des Geruchsminderungsgrades der Anlage

Für das Emissionsprogramm (Abluft) wurden die folgenden Parameter gemessen und ermittelt:

- Wasser (Kühlmittel): Wasserbedarf
- Abwasser (Kondensat): Anfallende Menge, Leitparameter BSB5, CSB, N, P

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die Erreichung der Projektziele

- Energienutzung der Ofenschwaden
- Desodorierung der Abluft

mit dauerhaft betriebssicheren, in die Prozesslandschaft integrierten Lösungen zu garantieren, erwies sich im Laufe der Umsetzung als erheblich komplexer als zunächst erwartet.

Dabei führten insbesondere folgende, nicht vorhersehbare technischen Probleme bzw. notwendige Maßnahmen zu erheblichem Mehraufwand (Arbeitszeit, Messaufwand, technische Ausrüstung) bei der Errichtung und Inbetriebnahme:

- Kurze Standzeiten der Inneneinbauten (Pads) durch ungünstige Strömungsverhältnisse in der Säule
- Schwierige Ermittlung der richtigen Sprühkopfkongfiguration (Bauform, Sprühdruck)
- Austausch von Sprühkopfeinbauten
- Langwierige Ermittlung der relevanten Prozessparameter (Ablauftemperatur des Sprühwassers, Pumpenleistung für richtiges Sprühkopfverhalten)
- Ersatz der einfachen Kreiselpumpen durch geeignete frequenzgeregelte Pumpensysteme (Inline-Pumpen)
- Ergänzung der Wärmeaustauscher um zusätzliche Plattenmodule

Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass unsere neuartigen WRG-Anlagen - bei geeigneter Integration in das Backofensystem - die Umweltziele an den Backlinien 5 und 8 zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten erreichen. Im Betrieb konnte nachgewiesen werden, dass diese Anlagen geeignet sind, das gesamte Spektrum der in den unterschiedlichen Backöfen des Unternehmens, bei der Herstellung verschiedenster Produkte, anfallenden Backschwaden zu desodorieren und deren enthaltene Wärmeenergie effektiv zu nutzen. Künftige Installationen werden deutlich kostengünstiger zu errichten sein, da nun die Betriebsparameter und dauerhaft funktionssicheren Komponenten bekannt sind. Aufgrund des Projekterfolges wurden mittlerweile zwei weitere Anlagen umgerüstet. Kuchenmeister hat im Werk Soest eine Anlage Einsäulenanlage mit einer realen Wärmeleistung von 32 kW im Januar 2014 in Betrieb genommen. Eine weitere Dreisäulenanlage wurde im Werk Chrzanow mit einer Nennwärmeleistung von 100 kW im September 2014 in Betrieb genommen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass alle Schwierigkeiten in enger Zusammenarbeit mit unserem Anlagenbauer, German Lebensmitteltechnologie GmbH, gelöst werden konnten. Es bestehen keine Probleme, die eine grundsätzliche Infragestellung der Funktionstüchtigkeit der Anlagen oder der Projektumsetzung andeuten würden.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

An den beiden Anlagen wurden ab der Inbetriebnahme kontinuierlich die wesentlichen Leistungsparameter überwacht und aufgezeichnet. Die nachfolgenden Tabellen zeigen exemplarisch am Beispiel zweier Produkte die erfassten Messgrößen.

Grundeinstellung und Messprotokoll WRG A1-1 Ofen 5

Datum			07.05.2013
Produkt			FK Marmor
Schwadenventilator aus und Trennblech komplett abdichtend montiert, Saugzug 2 Pa			
Ventilator Frequenz	n L2	Hz	32
Differenzdruck	P2-P1	Pa	306
Kondensat Durchfluss 1	m K max	l/h	800
Haltezeit 1		s	6
Kondensat Durchfluss 2	m K min	l/h	450
Haltezeit 2		s	15
Mittlerer Durchfluss Kondensat	m K	l/h	558
Temperatur Lufteintritt	T L1	°C	133
Temperatur Luftaustritt	T L2	°C	30
Temperatur Kondensat 1	T K1	°C	25...26
Temperatur Kondensat 2	T K2	°C	66...68
Temperatur Stadtwasser 1	T W1	°C	14
Temperatur Stadtwasser 2	T W2	°C	56...58
Durchfluss Stadtwasser	m W	l/h	520...560
Leistung		kW	26...28

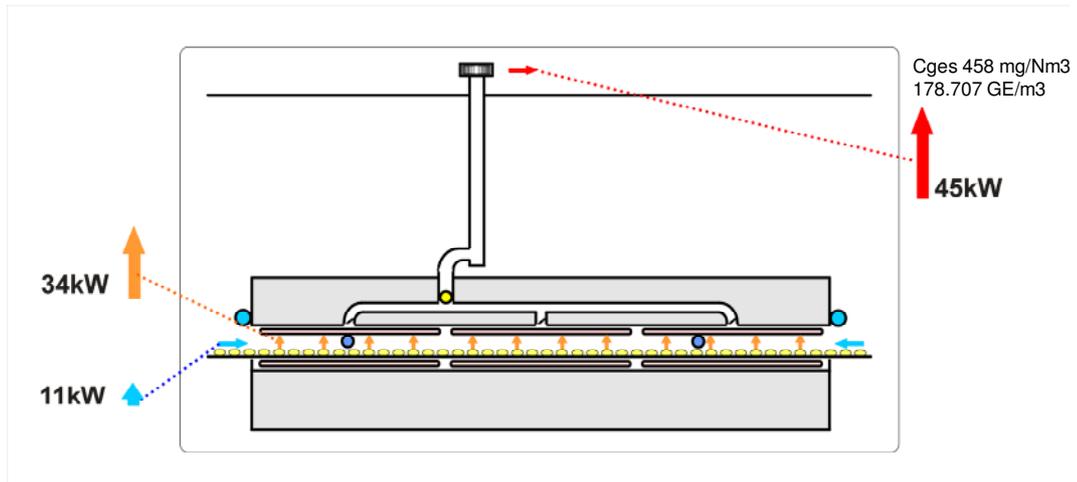
Grundeinstellung und Messprotokoll WRG A2-1 Ofen 8

Datum			27.05.2013
Produkt			Milchbrötchen 110
Schwadenventilator aus und Trennblech mit Restöffnung montiert, Saugzug 8 Pa			
Ventilator Säule 1 Frequenz	n L2-1	Hz	44
Ventilator Säule 2 Frequenz	n L2-2	Hz	47
Differenzdruck Säule 1	P2-P1-1	Pa	490
Differenzdruck Säule 2	P2-P1-2	Pa	560
Kondensat Durchfluss 1	m K max	l/h	800
Haltezeit 1		s	7
Kondensat Durchfluss 2	m K min	l/h	500
Haltezeit 2		s	40
Mittlerer Durchfluss Kondensat	m K	l/h	1100
Temperatur Lufteintritt Säule 1	T L1-1	°C	153
Temperatur Lufteintritt Säule 2	T L1-2	°C	150
Temperatur Luftaustritt Säule 1	T L2-1	°C	30
Temperatur Luftaustritt Säule 2	T L2-2	°C	29
Temperatur Kondensat 1	T K1	°C	27
Temperatur Kondensat 2-1	T K2-1	°C	49...50
Temperatur Kondensat 2-2	T K2-2	°C	49...50
Temperatur Stadtwasser 1	T W1	°C	15
Temperatur Stadtwasser 2	T W2	°C	48...49
Durchfluss Stadtwasser	m W	l/h	700...740
Leistung		kW	28...29

Tabelle 17: Wesentliche Leistungsparameter WRG

Nachfolgende Verfahrensfliessbilder visualisieren die Messpunkte. Abbildung 17 zeigt zunächst den Backofen ohne Wärmerückgewinnung, Abbildung 18 mit Wärmerückgewinnung.

Backofen ohne Wärmerückgewinnung

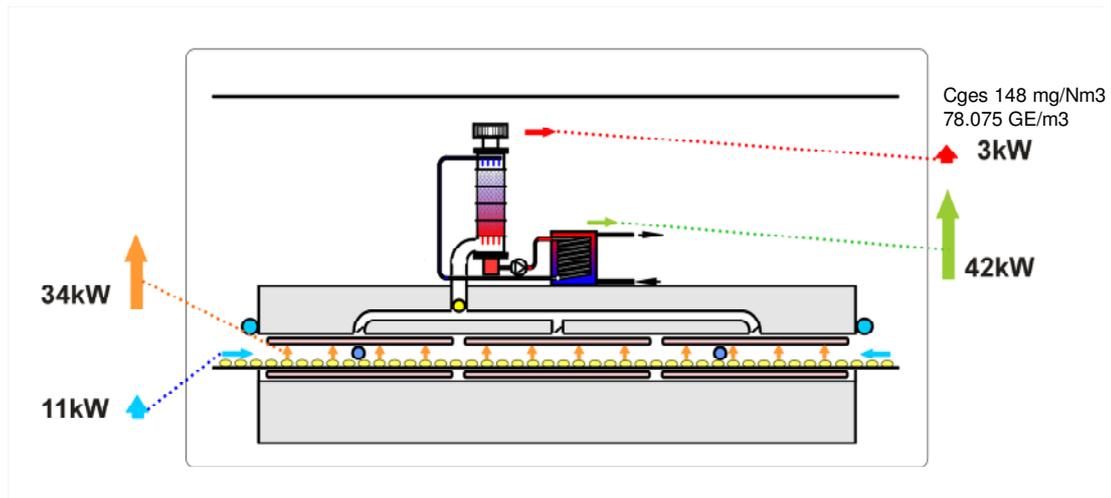


Backofen optimiert mit Backraum-Klimaregelung und mit flankierenden Maßnahmen.
 Energiewerte = Nennleistung Ofen 5 Soest, bei vollständiger Erfassung der Backschwaden
 blau: Erwärmung von Fremdluft gelb: Verdampfung Teigwasser rot: Abluft/Backschwaden ungereinigt

1

Abbildung 17: Backofen ohne Wärmerückgewinnung

Backofen mit Wärmerückgewinnung/Desodorierung



Backofen optimiert mit Backraum-Klimaregelung, mit flankierenden Maßnahmen, mit WRG
 Energiewerte = Nennleistung Ofen 5 Soest, bei vollständiger Erfassung der Backschwaden
 blau: Erwärmung von Fremdluft gelb: Verdampfung Teigwasser rot: Abluft/Backschwaden gereinigt
 grün: Nutzbare Wärme als Warmwasser (Maximalleistung)

2

Abbildung 18: Backofen mit Wärmerückgewinnung/Desodorierung

Die Erfassung und Messung der Parameter erfolgte über die in die Reinigungsmodule eingebaute Prozessleittechnik durch den Anlagenbauer und durch Kuchenmeister. Die Auswertung wurde gemeinsam vorgenommen.

- Wärmeleistung der Aggregate

Die Wärmeleistung der Aggregate wurde durch Temperaturmessungen in Verbindung mit den Durchflussmessungen kontinuierlich überwacht (siehe Tabelle 17). Die Auswertung der Messergebnisse zeigt, dass die Maximalleistung der Einsäulenanlage bei ca. 25 kW, die der Zweisäulenanlage bei ca. 30 kW liegt. Schwankungen sind produktspezifisch unvermeidlich. Im Dauerbetrieb werden nur selten durchschnittliche Wärmeleistung unter 20 kW (Linie 5) bzw. unter 25 kW (Linie 8) gemessen. Für die Bewertung der Umwelteffekte und der Wirtschaftlichkeit gehen wir daher konservativ von einer Dauerwärmeleistung der Linie 5 (Einsäulenanlage) von 20 kW und der Linie 8 (Zweisäulenanlage) von 25 kW aus.

- Energiebedarf des Reinigungsmoduls (inkl. der Schwadenabsaugung)

Das Reinigungsmodul benötigt ausschließlich elektrische Energie zum Betrieb von Schwadenabsaugung und Umwälzpumpe - die maximale Leistungsaufnahme beträgt 2 kW. In der Praxis wird - wegen geregelter Antriebe - dieser Wert fast nie erreicht. Vielmehr sind elektrische Leistungsaufnahmen von 1 kW als durchschnittlicher Bedarf anzusehen. Die Schwadenabsaugung erzeugt gegenüber dem Vorzustand keinen Mehrverbrauch, da die Öfen auch ohne Reinigungsmodul abgesaugt werden müssen. Vielmehr wurden die einfachen, unregelmäßig betriebenen Schwadenventilatoren der Backöfen durch die effizienten, geregelten Ventilatoren der Reinigungsmodule ersetzt. Wir gehen davon

aus, dass die Energiebilanz des Reinigungsmoduls auch bezüglich der Elektroenergie positiv ist, da die Stilllegung der alten Schwadenventilatoren an den Backöfen erheblich mehr einspart, als die neuen Ventilatoren und die Umwälzpumpen zusammen verbrauchen. Da aber für die alten Ventilatoren keine Verbrauchsmessungen vorliegen, gehen wir für die Ermittlung der Umwelteffekte und Wirtschaftlichkeit von einem energieverbrauchsneutralen Betrieb der Reinigungsmodule bzgl. des elektrischen Stroms aus.

- Mehrenergiebedarf der Backöfen auf Grund der Schwadenabsaugung

Ein Mehrenergiebedarf der Backöfen entsteht nicht, da die Backöfen auch vor Installation der Reinigungsmodule über eine Schwadenabsaugung verfügten. Diese ist notwendig für den ordnungsgemäßen Ofenbetrieb. Auch hier tritt aufgrund der sinkenden Volumenströme, durch den geregelten Betrieb der neuen Ventilatoren der Reinigungsmodule, eine Energieeinsparung im Backofen ein, die aber aufgrund fehlender Messergebnisse des Altzustandes nicht quantifiziert werden kann. Wir gehen hier für die wirtschaftliche und umweltbezogene Bewertung ebenfalls von einem energieneutralen Betrieb aus.

- Energiebilanz der Reinigungsmodule

Die Energiebilanz der Module ist daher einfach zu ermitteln, da nur der positive Effekt der Wärmerückgewinnung beachtet werden muss. Auf der Grundlage von 4.000 Betriebsstunden p.a. bei Nettowärmeleistungen von 20 bzw. 25 kW ergibt sich daher eine Energieproduktion von 180.000 kWh/a Wärmeleistung für die Reinigungsmodule.

Olfaktorische Messung sowie Benennung des Geruchsminderungsgrades der Anlage

Am 18.03.2014 wurden im Roh- und Reingas der Abluftanlage (Wäscher) an Backofen 5 olfaktometrische Messungen von der Zech Ingenieurgesellschaft durchgeführt. Die Auslastung des Backofens 5 lag während des Messzeitraums zwischen 94 % und 97 % (entsprechend 3.800 bis 4.000 Marmorkuchen/Stunde). Also deutlich höher als in der Projektbeschreibung zum Förderantrag angenommen (dort 2.300 Kuchen/h). Desweiteren wurden die Abgasparameter (Volumenstrom, Temperatur, Abgasfeuchte) der Anlage bestimmt. Im Unterschied zum Rohgas war in allen Reingasproben neben dem anlagentypischen Geruch („Kuchen“) ein fettiger Geruch wahrnehmbar.

Messwertquelle	UCL	UCL	UCL	Zech	Geruchsart
Messewert	Luftfeuchte	Luftfeuchte	C _{ges}	GE	
Einheit	m ³	Vol %	mg/Nm ³	GE/m ³	
Rohgas	0,180	18,3	428	178.707*	„Kuchen“
Reingas	0,026	3,1	148	78.075*	„Kuchen, fettig“
Minderungsgrad (%)	85,6	83,1	65,4	67,8	

Tabelle 18: Ergebnisse der olfaktorischen Messungen im Roh- und Reingas des installierten Wäschers mit Wärmerückgewinnung am Backofen 5 der Kuchenmeister GmbH in Soest, Kurzdokumentaion LG9773.1/03 vom 21.03.2014

*geometrischer Mittelwert von 3 Einzelmessungen

Die Kurzdokumentation Nr. LG9773.1/03 ist als Anlage dem Bericht beigefügt (Anlage 1).

Zur Erläuterung der Berechnung Geruchsminderungsgrad C_{ges} :

Die Messwerte sind auf Normvolumen trockene Luft bezogen. Die Luftfeuchte ist berücksichtigt, darum ist ein direkter Vergleich von Reingas und Rohgas möglich. Der Geruchsminderungsgrad, bestimmt über den Gesamt Kohlenstoffs C_{ges} , beträgt 65,4%.

Berechnung Geruchsminderungsgrad GE:

Die Messwerte sind auf das Betriebsvolumen bezogen, die Luftfeuchte ist dabei nicht berücksichtigt. Der direkte Vergleich von Reingas und Rohgas ist nicht möglich, da das Volumen des Reingases, bedingt durch die Kondensation in der WRG, nur 83,1 % des Rohgases beträgt. Der Geruchsminderungsgrad errechnet sich dadurch aus dem Verhältnis von GE_{Rein}/GE_{Roh} dividiert durch 83,1%. Der Geruchsminderungsgrad, bestimmt über den Vergleich der Geruchseinheiten, beträgt 67,8 %.

Zusammenfassung:

Durch die Wärmerückgewinnung/Desodorierung werden 85,6 % des Wasserdampfs mittels Kondensation aus den Backschwaden entfernt. Dabei werden je nach Bestimmungsmethode zwischen 65 % (C_{ges}) und 68 % (GE) der Gerüche aus den Backschwaden entfernt. 32 % (C_{ges}) bis 35 % (GE) der Gerüche finden sich noch in den gereinigten Backschwaden. Die Backschwaden werden nach der Desodorierung nicht mehr als augenreizend wahrgenommen.

Durchführung von Emissionsmessungen und zur Analytik des Kondensats Emissionsprogramm (Abluft und Abwasser): Anfallende Mengen, Leitparameter BSB₅, CSB, N, P

Am 25.02.2014 wurde eine Emissionsmessung auf Gesamtkohlenstoff (FID) im Rohgas und Reingas vor bzw. nach dem Reinigungsmodul von Ofen 5 zur Analyse des Kondensats vorgenommen. Die Messungen erfolgen durch das Umwelt Control Labor GmbH (UCL) aus Lünen. Die Messergebnisse sind unter der Berichtsnummer 14-00394-E als Anlage beigefügt (Anlage 2).

Bei der Messung wurde die Umweltrelevanz in Bezug auf die Geruchsminderung und den Gehalt des Abwassers (Backschwadenkondensat) auf pH-Wert, Leitfähigkeit, Leitparameter BSB₅, CSB, TOC, TNb, P_{ges} und lipophile Stoffe messtechnisch untersucht.

Dabei wurden folgende Messergebnisse ermittelt:

Messdarstellung C_{ges} im Reingas

Messdatum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	C _{ges} (mg/m ³)	Luftdruck (hPa)
25.02.2014	10:10	10:40	150	997
25.02.2014	10:40	11:10	152	997
25.02.2014	11:10	11:40	145	997
25.02.2014	10:10	11:40	149	997

Tabelle 19: Messergebnisse C_{ges} im Reingas, Messergebnisse vom 25.02.2014 (Bezüge: Einheit mg/m³: 0°C; 1013 hPa trocken)

Messdarstellung C_{ges} im Rohgas

Messdatum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	C _{ges} (mg/m ³)	Luftdruck (hPa)
25.02.2014	10:10	10:40	411	997
25.02.2014	10:40	11:10	436	997
25.02.2014	11:10	11:40	436	997
25.02.2014	10:10	11:40	428	997

Tabelle 20: Messergebnisse C_{ges} im Rohgas, Messergebnisse vom 25.02.2014 (Bezüge: Einheit mg/m³: 0°C; 1013 hPa trocken)

Die Reduktion des C_{ges} harmoniert gut mit den Geruchsreduktionsmesswerten der olfaktorischen Messung.

Kondensat (Abwasserprobe)

Proben-Nr.	Parameter	Einheit	Gehalt
KUS 01	Ph-Wert	-	3,2
	Leitfähigkeit bei 25 C°	µS/cm	513
	Temperatur (ph-Wert)	°C	19
KUS 02	BSB ₅	mg/l	4.700
	CSB	mg/l	6.030
KUS 04	TOC, I	mg/l	1.600
KUS 05	CSB	mg/l	6.090
	TNb	mg/l	20
KUS 06	Phosphor ges	mg/l	3,5
KUS 07	Lipophile Stoffe	mg/l	< 10*

Tabelle 21: Messergebnisse Kondensat (Abwasserprobe), Messergebnisse vom 25.02.2014 (* < Bestimmungsgrenze)

Abwasser (das Kondensat der vorgenannten Messung) fällt kontinuierlich an, und zwar abhängig von der rückgewonnenen Wärmeleistung. Bei der Einsäulenanlage mit durchschnittlich 20 kW fallen 32 l Kondensat pro Stunde und bei der Zweisäulenanlage mit durchschnittlich 25 kW fallen 40 l Kondensat pro Stunde als Abwasser an. Das Kondensat wird in dem ansonsten geschlossenen Kreislauf am Überlaufgefäß (vergl. Abb. 1, Seite 7) ausgetragen. Je Säule zirkulieren rund 15 l Kondensat zur simultanen Schwaden-Reinigung und -Kühlung. Durch den kontinuierlichen Austrag wird das Kondensat in den Säulen mindestens einmal stündlich gewechselt. Bei 4.000 Betriebsstunden fallen somit an der Einsäulenanlage 128 m³ und an der Zweisäulenanlage 160 m³ jährlich an mit der Qualität der Messwerte gemäß vorstehender Kondensatanalytik.

Das Wärmeübertragungsmedium in den Wärmetauschern (Wasser) wird im geschlossenen System geführt und hat keinen Rohgas- oder Reingaskontakt. Es fällt hier kein Abwasser an.

3.3 Umweltbilanz

Die vorgenommenen Messungen zeigen, dass die Reinigungsmodule eine erhebliche Geruchsreduktion bei einer positiven Energiebilanz erreichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die neuartigen WRG-Anlagen die Umweltziele an den Backlinien 5 und 8 erreichen. Im Betrieb konnte nachgewiesen werden, dass diese Anlagen geeignet sind, das gesamte Spektrum der in den unterschiedlichen Backöfen des Unternehmens, bei der Herstellung verschiedenster Produkte, anfallenden Backschwaden zu desodorieren und deren enthaltene Wärmeenergie effektiv zu nutzen.

Anders als herkömmliche Anlagen zur Geruchsreduzierung wird eine positive Energiebilanz erreicht und der Wert der zurückgewonnenen Energie übersteigt die Betriebskosten der

Aggregate. Dies ist aus Sicht der Reduktion von Geruchsbelastungen in der Lebensmittelindustrie ein erheblicher Fortschritt. Die bisher ausgezeichneten Betriebserfahrungen mit der Handhabung der Anlagen im Dauerbetrieb tragen zum positiven Gesamtbild bei.

Tatsächlich erreichen die neuartigen Desodorierungsanlagen eine Wärmeleistung von 20 bzw. 25 kW im Dauerbetrieb. Bei 4.000 Betriebsstunden resultiert daraus folgender Effekt:

Wärmerückgewinnung	CO ₂ -Reduktion
180.000 kWh/a	52.200 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 22: Erreichte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Projektende

Hochgerechnet auf die ca. 30 Öfen der Kuchenmeister GmbH - unter Annahme gleicher Betriebsbedingungen, bei 4.000 Betriebsstunden p.a. - ergibt sich gegenüber Antragstellung die folgende Situation bei den Umwelteffekten:

Wärmerückgewinnung lt. Antrag	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag	Wärmerückgewinnung tatsächlich erreichte Wärmeleistung der Aggregate	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag
2.500.000 kWh/a	742.500 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)	2.700.000 kWh/a	783.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 23: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung bei Antragstellung und tatsächlich erreichbare Umwelteffekte

Bei einem deutschlandweiten Einsatz in nur 25% der vergleichbaren Durchlaufbacköfen (Deutschlandweit ca. 1200) wären folgende Umwelteffekteeffekte möglich:

Wärmerückgewinnung lt. Antrag	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag	Wärmerückgewinnung tatsächlich erreichte Wärmeleistung der Aggregate	CO ₂ -Reduktion lt. Antrag
25.000.000 kWh/a	7.425.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)	27.000.000 kWh/a	7.830.000 kg/a (bei Wärmeerzeugung aus Erdgas)

Tabelle 24: Geschätzte Umwelteffekte der Wärmerückgewinnung durch die Übertragbarkeit bei einem deutschlandweiten Einsatz in 25 % der vergleichbaren Durchlaufbacköfen

Bezüglich der Klimaeffekte des Vorhabens konnten die Ziele je Aggregat und damit auch das bundesweite Potenzial also leicht übertroffen werden.

Bei der Geruchsreduktion konnten die, ohne vorherige Messung, abgeschätzten Reduktionseffekte nicht vollständig erreicht werden. Statt erwartete 90 % Geruchreduktion werden nahezu

70 % erreicht. Dies ist aber vor dem Hintergrund der hohen Energieeffizienz und der guten Einbindung in den Backprozess dennoch ein ausgezeichnetes Resultat.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird nachstehend von durchschnittlich 4.000 Betriebsstunden p.a. bei einem Preis von 0,06 €/kWh für Erdgas ausgegangen. Dies weicht leicht von der Vorhabensbeschreibung im Antrag ab (3.900 Betriebsstunden, 0,05 €/kWh Erdgas).

Nach Durchführung des Projektes haben sich tatsächlich folgende Jahreseinsparungen bei der Wärmeerzeugung, bezogen auf die jeweilige Desodorierungseinheit, ergeben. Im Antrag wurden je Einheit 1.000 € Betriebskosten pro Jahr angesetzt. In der Praxis zeigen die bisherigen Erfahrungen, dass dieser Ansatz deutlich zu hoch ist, da die Anlagen störungsfrei im Dauerbetrieb laufen. Daher werden für die Amortisation nur 500 € Betriebskosten je Einheit angesetzt:

	Leistung kW	Betrieb h/a	Arbeit kWh/a	Einsparung €/kWh	Einsparung €/a	Einsparung abzüglich Betrieb €/a
Wärmeleistung pro Einheit lt. Antrag	21,33	4.000	85.333	0,06	5.120	4.120
Erreichte Werte						
Wärmeleistung Linie 5	20,00	4.000	80.000	0,06	4.800	4.300
Wärmeleistung Linie 8	25,00	4.000	100.000	0,06	6.000	5.500
Summe	45,00	4.000	180.000	0,06	10.800	9.800
Durchschnitt je Einheit	22,50	4.000	90.000	0,06	5.400	4.900

Tabelle 25: Wärmeleistung und Einsparungen der Desodorierungsaggregate

Es wird deutlich, dass die Desodorierungsanlagen im laufenden Betrieb wirtschaftlicher sind, als im Antrag erwartet, bezogen auf eine Anlagen (Durchschnittswert) sind dies 780 € p.a.

Ursprünglich war die Realisierung des Vorhabens an 6 Öfen mit Gesamtkosten von 310.000 € geplant. Im Zuge der Verfahrensumsetzung wurde deutlich, dass die Vorkalkulation nicht einzuhalten war. Die Kosten für zwei Anlagen haben – bedingt durch erhebliche, nicht vorhersehbare Aufwendungen zur dauerhaften Sicherstellung der angestrebten Anlagenfunktionalität - das geplante Kostenbudget für den Umbau der Anlagen weitgehend ausgeschöpft und ließen weitere Investitionen im Projektrahmen nicht zu. An diesen zwei Anlagen wird heute bei Kuchenmeister erfolgreich die simultane Abscheidung von Gerüchen in Verbindung mit der Wärmerückgewinnung betrieben. Die Gesamtkosten zur Umsetzung des Vorhabens an diesen zwei Öfen betragen insgesamt 233.122,88 €.

Aus den genannten Daten und Rahmenbedingung ergibt sich für das realisierte Vorhaben die nachstehende statische Amortisationszeit - ohne Berücksichtigung einer Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals. Die Tabelle weist auch die Zahlen des beantragten Projektes aus und vergleicht jeweils gefördertes und nicht gefördertes Vorhaben.

(*Hinweis: Investition & Einsparung lt. Antrag für 6 Einheiten, real für 2 Einheiten)

	Investition	Eigenanteil	Förderanteil	Einsparung durch Anlagenbetrieb	jährliche Betriebskosten	Amortisation in Jahren
Vorhaben ohne Förderung, lt. Antrag*	310.000 €	310.000 €	- €	30.000 €	6.000 €	12,92
Vorhaben mit 20% Förderung, lt. Antrag*	310.000 €	248.000 €	62.000,00 €	30.000 €	6.000 €	10,33
Vorhaben ohne Förderung, real*	233.122 €	233.122 €	- €	10.800 €	1.000 €	23,79
Vorhaben mit 20% Förderung, real*	233.122 €	186.497,60 €	46.624,40 €	10.800 €	1.000 €	19,03

Tabelle 26: Amortisationsrechnung

Es wird deutlich, dass die Kostensteigerung auf der Investitionsseite dazu geführt hat, dass die Amortisationsdauer sich nahezu verdoppelt (ohne Förderung 23,79 Jahre, mit Förderung 19,03 Jahre). In der Praxis bedeutet dies, dass die Lebensdauer der Anlagen etwa der Amortisationszeit entspricht. Die Desodorierungsanlagen können also über die Lebensdauer hinweg betrachtet, kostenneutral betrieben werden - dies ist gegenüber konventionellen Geruchsabhebungsanlagen ein erheblicher ökonomischer Vorteil („herkömmliche“ Anlagen erzeugen nur Kosten, z.B. durch hohe Brennstoffverbräuche, und erwirtschaften keinen Kapitalrückfluss).

Außerhalb des Projektrahmens hat Kuchenmeister auch deshalb zwei weitere Anlagen errichtet. Hierbei war zu erkennen, dass die Investitionskosten für die neuartigen Anlagen aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse des geförderten Vorhabens nur noch bei ca. 1.000 € je kW Nennleistung liegen. Ausgehend von der konservativen Annahme, dass analog zu den geförderten Anlagen ca. 50 % der Nennleistung bei 4.000 Stunden p.a. als tatsächliche Wärmeleistung erreicht werden, ergeben sich Investitionen von 2.000 €/kW Wärmeleistung. Im Werk Soest wurde eine Einsäulenanlage mit einer tatsächlichen Wärmeleistung von 32 kW (Nennleistung 40 kW) im Januar 2014 in Betrieb genommen. Eine weitere Dreisäulenanlage wurde im Werk Chrzanow (Polen) mit einer Nenn-Wärmeleistung von 100 kW im September 2014 in Betrieb genommen - Leistungsmessungen laufen. Die Investitionskosten in Soest betragen 41.000 €, in Chrzanow steht die Abschlusskalkulation noch aus. Die durchschnittlichen Investitionskosten je kW Wärmeleistung sinken damit auf unter 1.500 €/kW gegenüber den Kosten von 5.180 €/kW im geförderten Vorhaben, also um ca. 75 %. Dies führt in der Praxis sowohl zu einem kostenneutralen Betrieb über den Lebenszyklus der Anlage hinweg, als auch zu ökonomisch vertretbareren Amortisationszeiten.

	Investitions- kosten zukünftig	Eigenanteil	Föderanteil	Einsparung durch Anlagen- betrieb	jährliche Betriebs- kosten	Amorti- sation in Jahren
Vorhaben ohne Förderung, real	41.000 €	41.000 €	- €	6.400€	500 €	7

Tabelle 27: Amortisationsrechnung ohne Förderung bei erwarteter künftiger Investitionskostenentwicklung

Bei herkömmlichen Wärmerückgewinnungsanlagen ohne Desodorierungswirkung sind die Investitionskosten wesentlich geringer, da bei diesen Systemen nur ein Wärmetauscher in dem Schwadenkamin eingebaut wird. Dieser Wärmetauscher setzt sich mit der Zeit durch Rückstände mit Schwaden zu und führt so zu einem höheren Wartungsaufwand als bei der Desodorierungsanlage. Die Desodorierungsanlage hat höhere Investitionskosten, aber sehr geringe Wartungskosten durch die Selbstreinigung des Systems. Die Amortisationszeiten für beide Systeme sind annähernd gleich - die Funktionalität aber nicht vergleichbar.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Abwärmenutzung bzw. Abluftreinigung mit herkömmlichen Wärmetauschern und Filtersystemen sind unwirtschaftlich, da sie in kurzer Zeit durch Verschmutzungen und Kondensate unbrauchbar werden.

Entwicklungen zur Behandlung von Backschwaden hatten in den 1970er Jahren den Schwerpunkt auf der Rückgewinnung der Wärme. Die technischen Ausführungen scheiterten zunächst an der mangelnden Beständigkeit der eingesetzten Werkstoffe gegen die Inhaltstoffe der Backschwaden. Diese Teilproblematik konnte jedoch inzwischen gelöst werden. Die technischen Ausführungen scheitern an den festen Inhaltstoffen der Backschwaden, insbesondere an den fetthaltigen und staubhaltigen Anteilen, welche die Wärmetauscher verstopfen und den erforderlichen Wärmeübergang bis zur Ineffizienz behindern. Entwicklungen zur Entfernung der Geruchsemissionen aus Backschwaden sind unter anderem aus den USA bekannt. Dabei werden die Backschwaden durch Oxidation in einer Verbrennungsanlage oder durch Kondensation in einer Kühlanlage von geruchsaktiven Inhaltsstoffen befreit. Beide Verfahren sind jedoch mit erheblichem Zusatz-Energieaufwand verbunden und waren für die Firma Kuchenmeister unter den Aspekten Ressourcenschonung, Umweltschutz und Kosteneinsparung für die Lösung der Gesamtproblematik nicht zielführend.

Darüberhinaus wurden die bisher ausgeführten Anlagen zur Wärmerückgewinnung isoliert, d.h. nicht integriert in den eigentlichen Backprozess, betrieben. Es wurde nicht berücksichtigt, dass zwischen dem Backvorgang und der Wärmerückgewinnung durch das Absaugen der Backschwaden eine Wechselwirkung besteht, die den Backprozess sowohl in energetischer Hinsicht als auch im Hinblick auf die Konstanz der Gebäckqualität beeinflusst. Unser Ansatz beruht auf der dynamischen Prozessintegration, weshalb die Zusammenarbeit mit einem Fachunternehmen der Backtechnologie für dieses Vorhaben unentbehrlich war.

Es ist gelungen die Backschwaden wie bisher mit den vorhandenen ofeninternen Einrichtungen wie Schwadenschieber und Hauben zu sammeln und mit den vorhandenen ofeninternen Rohrleitungen und Kanälen an die Ofenperipherie zu führen. Anstelle der Verbringung mittels Schwadenkaminen ins Freie wurden die Backschwaden dann den Desodorierungs-/Wärmerückgewinnungsanlagen zugeführt. Die Konzentration der Backschwaden wurde daraufhin mit den vorhandenen bzw. nachzurüstenden Backraum-Klimaregelungen, d.h. in Abhängigkeit von den Produkten und deren Backraumbelegung, maximiert um eine gute Abscheideleistung zu erzielen. Ein Drittel der firmeninternen Backöfen verfügte bereits über

eine Backraum-Klimaregelung. Das Vorhaben knüpfte mit der Wärmerückgewinnung/Desodorierung der Backschwaden an dieser Technologie an und hat diese komplettiert.

Die neue Technologie ist als Modulsystem ausgelegt, dass es erlaubt, unterschiedlichen Leistungsklassen und Prozessparametern gleichermaßen gerecht zu werden. Das Grundprinzip stellt ein stehend angeordneter, teils mit Wasser gefluteter Rohrbehälter dar, der langsam von den Ofenschwaden durchströmt wird. Dabei werden Wärme und Geruchsstoffe vom Wasser aufgenommen. Die gereinigte, kalte Luft strömt über das Dach ab. Das erwärmte Wasser wird über einen Wärmetauscher geführt und so energetisch für die Warmwasserbereitung genutzt. Der Neuheitswert des Vorhabens besteht in der Kombination der Verfahrensziele, deren Umsetzung in einer kompakten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungseinheit als modularem Lösungskonzept und der dynamischen Integration in den Ofenprozess. Es handelte sich bei diesem Vorhaben um einen erstmaligen, innovativen Ansatz zur industriellen Verfahrenseinführung. Es konnte erstmals über den Lebenszyklus der Anlage betrachtet, eine kostenneutrale Elimination von Geruchsemissionen demonstriert werden. Die Wärmeleistung der Anlage "bezahlt" die Desodorierung.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Wie bereits vorstehend berichtet, hatten sind die Kosten für die ersten Anlagen deutlich gegenüber den Planungen verteuert. An den realisierten zwei Anlagen wird heute bei Kuchenmeister erfolgreich die simultane Abscheidung von Gerüchen in Verbindung mit der Wärmerückgewinnung betrieben. Aufgrund der erfolgreichen Projektumsetzung und der jetzt bekannten Parameter wurden nachfolgend bereits zwei weitere Durchlauföfen mit der innovativen Desodorierungstechnik umgerüstet. Dabei konnten wir beweisen, dass nachfolgende Installationen deutlich kostengünstiger ausfallen, da die Betriebsparameter bekannt sind. Für eine abgeschlossene Installation liegt die Amortisationsdauer bei ca. 7 Jahren.

Das Vorhaben hat erneut gezeigt, dass trotz vorheriger Technikumsversuche und der intensiven Zusammenarbeit von ausgewiesenen Experten und erfahrenen Praktikern, die Einführung innovativer Verfahren mit nicht vorhersehbaren Risiken behaftet ist. Zur letztlich erfolgreichen Praxiseinführung hat in diesem Rahmen maßgeblich beigetragen:

- Die gute mess- und regeltechnische Ausrüstung der Anlagen, welche die Erkennung von Problemen und deren Ursachen erheblich erleichtert hat
- Die dauerhaft gute Kooperation zwischen Auftraggeber und Anlagenlieferant mit dem Ziel, dass gemeinsame Projekt zum Erfolg zu führen
- Saubere, geduldige empirische Arbeit vor Ort zur Ermittlung der richtigen Regelungsparameter
- Die dauerhafte Unterstützung der "Betriebsmannschaft" für die Optimierung der Anlagen im laufenden Backbetrieb
- Die Förderung durch das BMUB wirkte sich als zusätzliche Motivation aus, auch ein schwieriges Projekt weiterzuführen

4.2 Modellcharakter

Der Neuheitswert des Vorhabens besteht in der Kombination der Verfahrensziele, deren Umsetzung in einer kompakten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungseinheit als modularem Lösungskonzept und der dynamischen Integration in den Ofenprozess. Es handelt

sich bei diesem Vorhaben um einen erstmaligen, innovativen Ansatz zur industriellen Verfahrenseinführung. Es konnte erstmals die über den Lebenszyklus der Anlage betrachtete, kostenneutrale Elimination von Geruchsemissionen demonstriert werden. Die Wärmeleistung der Anlage "bezahlt" die Desodorierung. Zudem sorgt der Modulcharakter der Desodorierungsanlagen dafür, dass Module auf die jeweilige Ofengröße abgestimmt eingesetzt werden können. Bei kleinen Öfen kann ein einzelnes Modul genutzt werden, bei größeren Öfen werden weitere Module dazu geschaltet. Aufgrund der Modulgeometrie inklusive der Steuerung ist die Erweiterung der Module problemlos möglich. Da die Bauteile der Module gleich sind, werden die Herstellungskosten im Rahmen einer Serienproduktion weiter stark sinken können.

Die Übertragbarkeit auf die industrielle Produktion von Lebensmitteln mit thermischer Bearbeitung ist naheliegend und im Ansatz gegeben. Wir gehen davon aus, dass allein in Deutschland ca. 1.200 Durchlauföfen betrieben werden, auf die das neue Verfahren übertragbar ist. Außerhalb des Projektrahmens hat Kuchenmeister aufgrund des Projekterfolges bereits zwei weitere Anlagen errichtet von denen die erste im Januar 2014 in Betrieb ging die zweite Anlage im September 2014.

Die dynamische Integration der Desodorierung in den thermischen Herstellprozess (hier Backofen) ist aber auch über die Backbranche hinaus von grundsätzlichem Interesse, da Abluftreinigungsanlagen in aller Regel noch immer als nachgeschalteter, isolierte Umweltschutzmaßnahmen realisiert werden und dadurch oft ökologisch wie ökonomisch suboptimal bleiben.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens soll in 2014 zum einen über die Kunden der Kuchenmeister GmbH erfolgen. Darüber hinaus ist eine Veröffentlichung der Ergebnisse in den Fachzeitschriften „brot und backwaren“ sowie „baking and bisquit“ geplant. Zugleich wird diese Verfahrensumsetzung auch zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung im 2. Halbjahr 2014 veröffentlicht. Gerade die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist geeignet, die Standards innerhalb der Branche zugunsten eines energieeffizienten Verfahrens zu verbessern.

4.3 Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens "Prozessintegrierte, simultane Abwärmenutzung und Geruchsreduzierung – ein innovatives Verfahren für Durchlaufbacköfen" konnte die erstmalige industrielle Anwendung eines neuartigen Verfahrens zur simultanen Entfernung der Geruchsbelastung und zur Rückgewinnung der Wärme aus der Prozessabluft (Schwaden) von Durchlaufbacköfen erfolgreich demonstriert werden. Der Neuheitswert des Vorhabens besteht in der Kombination der Verfahrensziele, deren Umsetzung in einer kompakten Desodorierungs- und Wärmerückgewinnungseinheit als modularem Lösungskonzept und der dynamischen Integration in den Ofenprozess.

Die Realisierung einer dauerhaft betriebssicheren, in die Prozesslandschaft integrierten Lösung, erwies sich im Laufe der Umsetzung als erheblich komplexer als zunächst erwartet. Dies führte zu Terminverzögerung und einer Reduktion der Anzahl installierter Einheiten. Die Gesamtkosten zur Umsetzung des Vorhabens an 2 Öfen betragen insgesamt 233.122,88 €.

Die Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms zeigen, dass die neuartigen WRG-Anlagen - bei geeigneter Integration in das Backofensystem - die Umweltziele an den Backlinien 5 und 8 zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten erreichen. Im Betrieb konnte nachgewiesen werden, dass diese Anlagen geeignet sind, das gesamte Spektrum der in den unterschiedlichen Backöfen des Unternehmens, bei der Herstellung verschiedenster Produkte, anfallenden Backschwaden zu desodorieren und deren enthaltene Wärmeenergie effektiv zu nutzen. Tatsächlich erreichen die neuartigen Desodorierungsanlagen eine Wärmeleistung von 20 bzw. 25 kW im Dauerbetrieb. Für die ersten beiden realisierten Anlagen ergibt sich bei 4.000 Betriebsstunden eine Energieeinsparung von 180.000 kWh/a entsprechend bei dem Energieträger Erdgas eine CO₂-Emissionsvermeidung von 52,2 t/a. Hochgerechnet auf die ca. 30 Öfen der Kuchenmeister GmbH - unter Annahme gleicher Betriebsbedingungen, bei 4.000 Betriebsstunden p.a. - ergibt sich durch die Wärmerückgewinnung eine Einsparung von 2.700.000 kWh/a, entsprechend einer CO₂-Reduktion von 785 t/a. Durch die Wärmerückgewinnung / Desodorierung werden 85,6 % des Wasserdampfs mittels Kondensation aus den Backschwaden entfernt. Dabei werden je nach Bestimmungsmethode zwischen 65 % (C_{ges}) und 68 % (GE) der Gerüche aus den Backschwaden entfernt. 32 % (C_{ges}) bis 35 % (GE) der Gerüche finden sich noch in den gereinigten Backschwaden.

Die Kostensteigerung auf der Investitionsseite hat dazu geführt, dass sich die Amortisationsdauer im Rahmen der Projektumsetzung nahezu verdoppelt (ohne Förderung 23,79 Jahre, mit Förderung 19,03 Jahre) hat. In der Praxis bedeutet dies, dass die Lebensdauer der Anlagen etwa der Amortisationszeit entspricht. Es konnte die über Lebenszyklus der Anlage betrachtete, kostenneutrale Elimination von Geruchsemissionen demonstriert werden. Die Wärmeleistung der Anlage "bezahlt" die Desodorierung. Aufgrund des erfolgreichen Projektes wurden bei Kuchenmeister im Nachgang zu diesem Projekt zwei weiteren Anlagen installiert und im Januar und September 2014 in Betrieb genommen. Dabei konnten wir zeigen, dass künftige Installationen deutlich kostengünstiger zu realisieren sind, da Betriebsparameter und Komponenten bekannt sind. Die Amortisationsdauer verringert sich ohne Förderung auf ca. 7 Jahre.

Die Übertragbarkeit auf die industrielle Produktion von Lebensmitteln mit thermischer Bearbeitung ist naheliegend. Wir gehen davon aus, dass allein in Deutschland ca. 1.200 Durchlauföfen betrieben werden, auf die das neue Verfahren übertragbar ist.

Die dynamische Integration der Desodorierung in den thermischen Herstellprozess (hier Backofen) ist aber auch über die Backbranche hinaus von grundsätzlichem Interesse, da Abluftreinigungsanlagen in aller Regel noch immer als nachgeschalteter, isolierte Umweltschutzmaßnahmen realisiert werden und dadurch oft ökologisch wie ökonomisch suboptimal bleiben.

Anlagen