

Fachaufsatz

CO₂-neutrale Galvanik: Optimierte Wärmerückgewinnung aus der Abluft

Die Oberflächentechnik steht wie die gesamte Industrie vor der Herausforderung, künftig klimaneutral zu arbeiten. Aufgrund der komplexen Energienutzung in Galvanikanlagen – einschließlich Prozesswärme, Prozesskälte, elektrische Antriebe, Gleichrichter und Lüftungstechnik sowie der großen Bandbreite an Verfahren und Anlagen – gibt es keine Standardlösung für den Weg zur klimaneutralen Galvanik. Besonders die Lüftungstechnik, mit der Prozessabluft und der Zuluft, ist in den meisten Galvanikanlagen einer der Hauptenergieverbraucher und bietet großes Potenzial für die Wärmerückgewinnung.

Um das Potenzial zur Rückgewinnung von Wärme aus der Galvanik-abluft zu quantifizieren, ist es erforderlich, den Wärmeinhalt von Luft und den Wärmebedarf zur Änderung der Lufttemperatur zu verstehen.

Trockene Luft hat einen Wärmeinhalt von 0,22 Wh/m³ je K Temperaturänderung, die Abluft der betrachteten Galvanikanlage hat in der Regel eine Temperatur von 20 bis 25 °C je nach Witterung und Betriebsweise der Anlage.

Beispielsweise kann eine Temperaturänderung von 5 °C ein Wärmerückgewinnungspotenzial von etwa 58 kW pro Abluftanlage bieten, eine Temperaturänderung von 10 °C ein Wärmerückgewinnungspotenzial von etwa 116 kW.

Eckdaten einer Beispielgalvanik

Am Beispiel einer vollautomatischen, kombinierten Gestell- und Trommelanlage, die seit 2016 im Betrieb ist, wird die Wärmerückgewinnung stufenweise optimiert.

Die Anlage wird im Dreischichtbetrieb betrieben und weist einen Durchsatz von etwa 3.300 Wareenträgern und 330 Trommeln pro Monat auf. Ihr Energieprofil ist in Abbildung 2 dargestellt.

Es sind zwei Abluftanlagen mit je 35.000 m³/h für saure und alkalische sowie für zinkhaltige Abluft installiert, die abgesaugte Abluft wird durch eine Zuluftanlage mit einer Leistung von 60.000 m³/h ausgeglichen, damit wird die Anlage mit einem gewissen Unterdruck betrieben, um die Ausbreitung von Emissionen zu verhindern.

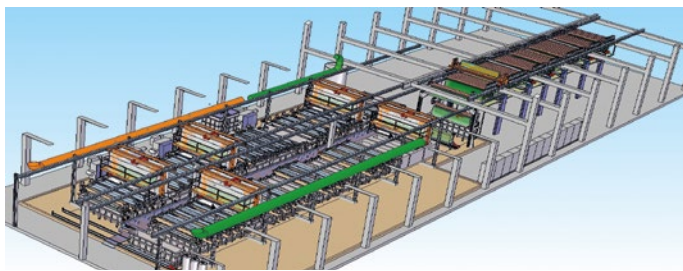


Abb. 1: Schematische Isometrie der Galvanikanlage

Istzustand der Wärmerückgewinnung aus der Abluft

Obwohl 2016, zur Zeit der Anlageninstallation, das Thema CO₂-Neutralität noch keine große Rolle gespielt hat, wurde die Anlage mit einer Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Die eine Abluftanlage „sauer/alkalisch“ wurde hierfür mit einem Wärmetauscher, der nach dem

Energieart	Erzeugung	Jahresverbrauch 2023 (kWh)
Prozesswärme	Heißwasser, 100 °C Gasbrenner	449.100
Zulufterwärmung	Heißwasser, 60 °C Gasbrenner	2.989.250
Kühlung	Kaltwasser, 13 °C Kältemaschine	357.000
Strom Anlage	Öffentliches Netz	660.000
Strom Gleichrichter	Öffentliches Netz	606.700
Summe		5.062.050

Abb 2: Energieprofil der Beispielgalvanik

Abluftwäscher platziert ist, ausgerüstet, weiterhin wurde die Zuluftanlage mit einem Vorheizregister versehen. Bei Außentemperaturen unter etwa 8 °C wird ein Wasser-Glykol-Kreislauf in Gang gesetzt, der Abwärme aus der Abluft aufnimmt und an die kalte Zuluft abgibt. Das zweite, zinkhaltige Abluftsystem wurde bei der Anlageninstallation 2016 nicht mit einem Kreislaufverbundsystem ausgerüstet, eine Nachrüstung bei der Aufstellungsplanung jedoch berücksichtigt.

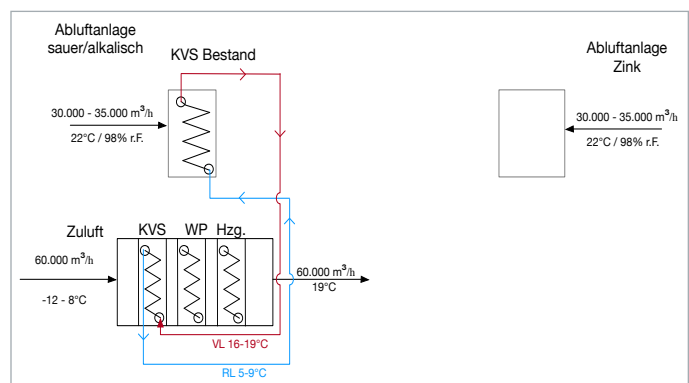


Abb. 3: Schema Istzustand Wärmerückgewinnung

Stufe 1: Integration eines KVS-Wärmetauschers

Durch die Nachrüstung eines Wärmetauschers in der zweiten Abluftanlage (zinkhaltige Abluft) und Integration in das vorhandene

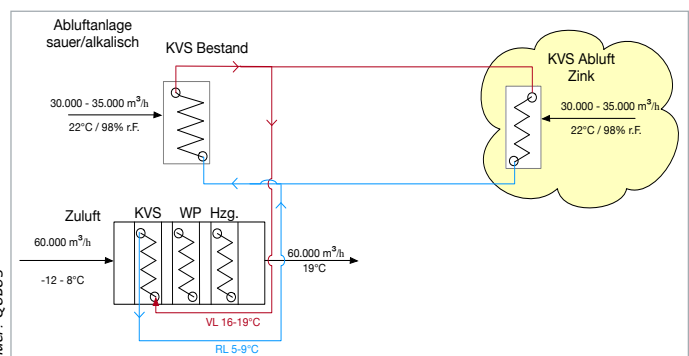


Abb. 4: Stufe 1: Optimierung KVS-System

■ ■ ■ Wasser-Glykol-Zirkulationssystem wird eine jährliche Heizenergieeinsparung von etwa 235.630 kWh erwartet (8 Prozent), was bei den derzeitigen Kosten etwa 41.000 Euro jährlich entspricht.

Stufe 2: Einsatz einer Wärmepumpe

Nach der Optimierung des Kreislaufverbundsystems bleibt zu beachten, dass das System erst ab einer Außentemperatur von unter 8 °C wirksam wird, damit ist die Funktion dieser Wärmerückgewinnung überwiegend auf die Winterzeit/Übergangszeit und auf die Nachtstunden begrenzt.

In einer zweiten Stufe ist nun die Einbindung einer Wärmepumpe in die Wärmerückgewinnung aus der Abluft sowie zur Kühlung von relevanten Prozessen und zur Kühlung der Gleichrichter vorgesehen. In den zinkhaltigen Abluftstrom sowie in die Zuluftanlage werden hierfür zusätzliche Wärmetauscher eingebaut, weiterhin wird ein Kältepuffer installiert, aus dem die Wärmepumpe ebenfalls Wärme entnimmt.

Durch den Einsatz einer Wärmepumpe für die Zuluftbeheizung werden in acht Monaten (3.840 h) jeweils etwa 85 kW Heizleistung eingespart und durch die Leistung der Wärmepumpe ersetzt, dies entspricht etwa 326.000 kWh bzw. 56.724 Euro pro Jahr.

Die Wärmepumpe weist ein COP (Coefficient of Performance) von 4 auf, verbraucht also für diese Wärmeleistung etwa 81.500 kWh Strom und generiert damit Kosten von etwa 20.375 Euro.

Für die Kühlung der Zinkbäder und der Gleichrichter werden bisher etwa 357.000 kWh Kaltwasser über eine Kältemaschine erzeugt und verbraucht, dies entspricht einer durchschnittlichen Kühlleistung von ungefähr 56 kW (maximal 85 kW). Bei einem COP der Kältemaschine von 3 entspricht dies einem Stromverbrauch von etwa 119.000 kWh und somit Kosten von ungefähr 29.750 Euro pro Jahr für die Prozess- und Gleichrichterkühlung.

Im „Winterbetrieb“, wenn also Wärme für die Zulufttemperierung benötigt wird, gibt die Wärmepumpe ihre Wärmeleistung an das Zusatz-Heizregister in der Zuluftanlage ab, im „Sommerbetrieb“, wenn keine Zulufttemperierung erforderlich ist, gibt die Wärmepumpe ihre

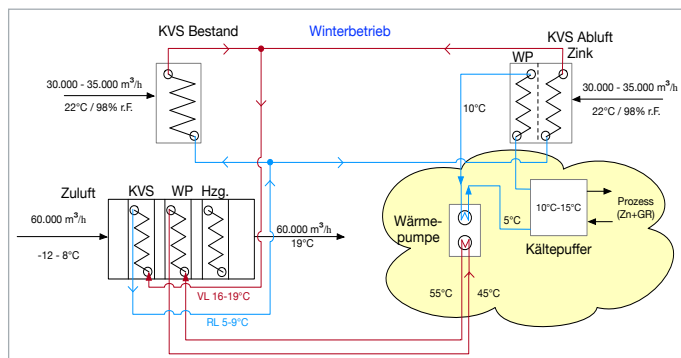


Abb. 5: Stufe 2: Optimierung KVS-System im Winterbetrieb

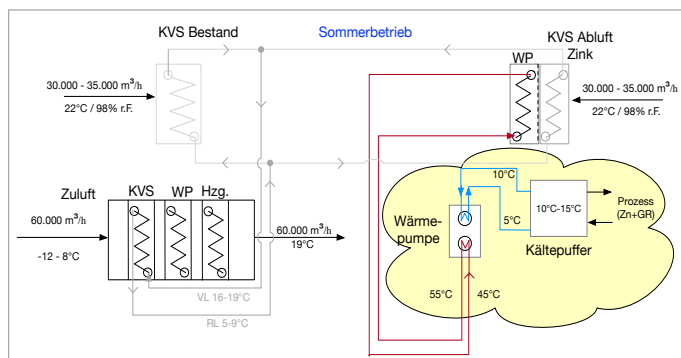


Abb. 6: Stufe 2: Optimierung KVS-System im Sommerbetrieb

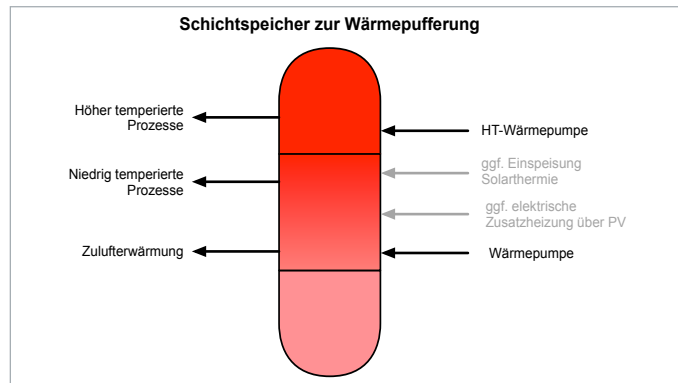


Abb. 7: Schichtspeicher zur Wärmepufferung

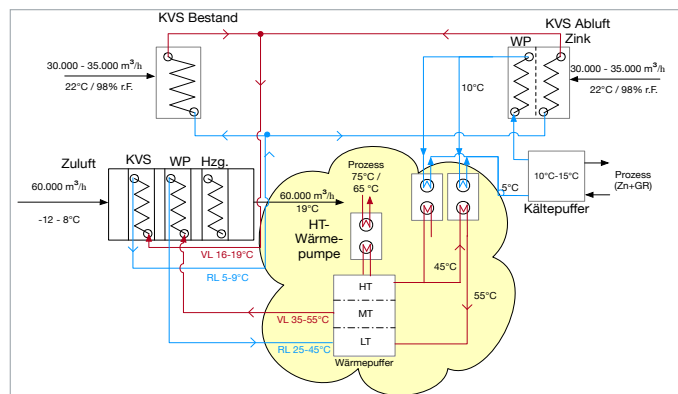


Abb. 8: Stufe 3: Einbindung einer 2-stufigen Wärmepumpe

Wärmeleistung an den zusätzlichen Wärmetauscher in der zinkhaltigen Abluftanlage ab.

Stufe 3: Ganzjährige Nutzung der Abwärme

Wie eingangs ausgeführt, kann der Galvanikabluft eine große Wärmemenge entzogen und zur Zulufterwärmung genutzt werden. Diese Maßnahmen greifen aber nur in der Heizperiode, in den Sommermonaten ist die Wärmerückgewinnung nicht in Betrieb und es wird keine Wärme zurückgewonnen.

Als dritte Stufe der Optimierung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft muss daher ein Weg gefunden werden, die zurückgewonnene Wärme wieder in den temperierten Prozessen einzusetzen. Da hier ganzjährig im Betrieb der Galvanikanlage Prozesswärme benötigt wird, ist diese Form der Abwärmenutzung am effizientesten und energetisch am sinnvollsten.

Da jedoch die Temperatur der Abluft mit 20 bis 25 °C sehr viel niedriger liegt als die erforderliche Vorlauftemperatur zur Prozesserwärmung, die derzeit bei 100 °C liegt, ist eine mehrstufige Wärmepumpe erforderlich (Abbildung 8).

Maßgeblich für die erforderliche und mit 100 °C recht hohe Vorlauftemperatur in der Prozesswärmeversorgung sind die in der Anlage eingesetzten Warmlufttrockner, die eine Objekttemperatur von 80 °C zur Vernetzung eines aufgetragenen Topcoats sicherstellen. Eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Optimierung der Wärmerückgewinnung ist die Umstellung auf ein anderes Topcoat-Produkt oder der Einsatz anderer Energiearten wie Infrarotstrahlung zur Vernetzung, um die Trocknertemperatur signifikant zu senken.

Neben dem Trockner werden in der Galvanikanlage noch weitere Prozesse beheizt, deren Prozesstemperaturen liegen jedoch bei maximal 65 °C, für deren Beheizung ist eine Vorlauftemperatur von etwa 75 °C ausreichend.

Maßnahme	ca. Investitionskosten	ca. Investitionskosten (mit Förderung)	Einsparung thermische Energie	Einsparung elektrische Energie	Zusatzverbrauch elektrische Energie	Gesamtenergieeinsparung	Amortisationszeit ca. Jahre	Amortisationszeit (mit Förderung) ca. Jahre
Phase 1: Einbindung eines WRG-Wärmetauschers in den zweiten Abluftstrang	120.000,00 €	90.000,00 €	-41.000,00 €	-	-	-41.000,00 €	2,9	2,2
Phase 2: Installation einer Wärmepumpe zur Optimierung des WRG-Systems und zur Prozesskühlung	250.000,00 €	187.500,00 €	-56.724,00 €	-29.750,00 €	20.375,00 €	-66.099,00 €	3,8	2,8
Phase 3: Installation einer weiteren, 2-stufigen Wärmepumpe zur Nutzung der Abwärme für die Beheizung der Prozesse	350.000,00 €	262.500,00 €	-78.150,00 €	-	18.756,00 €	-59.394,00 €	5,9	4,4

Abb. 9: Amortisationszeiten der Maßnahmen

Um eine ausreichende Trägheit des Systems zu erzielen und um verschiedene Wärmequellen einspeisen zu können, wird zusätzlich zur zweistufigen Wärmepumpe ein Schichtspeicher benötigt. In den Schichtspeicher können künftig auch weitere Wärmequellen und Verbraucher eingebunden werden. Insbesondere Überschussenergie aus einer Photovoltaik-Anlage oder Wärme aus einer Solarthermieranlage können in der Zukunft in den Schichtspeicher eingespeist werden (Abbildung 7).

Für die Beheizung der Galvanikprozesse wurden 2023 insgesamt 449.100 kWh Prozesswärme aufgewendet, bei Kosten von 0,174 €/kWh entspricht dies Gesamtkosten von etwa 78.150 Euro pro Jahr. Dieser Betrag stellt auch das mögliche Einsparpotenzial im Bereich der Prozesswärme dar.

Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zur Optimierung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der skizzierten Maßnahmen zur Optimierung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Beispielgalvanik weist naturgemäß eine hohe Komplexität und Individualität auf. Viele Unternehmen nutzen eigene Kalkulationsmodelle zur Amortisationsrechnung und zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Maßnahmen.

In Abbildung 9 werden die Maßnahmen zur Optimierung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft mit einem simplen Vergleich der Investitionskosten mit der potenziellen Energieeinsparung verglichen, diese Übersicht erlaubt eine grobe Abschätzung, ob sich eine Maßnahme zur Verbesserung der Energieeffizienz kurzfristig (1 bis 3 Jahre), mittelfristig (3 bis 6 Jahre) oder aber langfristig (> 6 Jahre) amortisieren kann.

Für eine valide wirtschaftliche Bewertung identifizierter Maßnahmen bedarf es einer einheitlichen Systematik. Während bisherige Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unterschiedlichen Ansätzen folgten und wesentliche Aspekte unberücksichtigt ließen, soll mit DIN EN 17463 (Valerie – Valuation of Energy Related Investments) eine transparente und nachvollziehbare Energiewirtschaftlichkeitsberechnung sichergestellt werden.

Es empfiehlt sich daher, Energieeffizienzmaßnahmen mit diesem Werkzeug zu bewerten.

Fördermöglichkeiten

Grundsätzlich bieten die Institutionen BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) und KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) Förderprogramme für Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz an.

Vonseiten der BAFA ist hier das Modul 4 „Energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen – Basisförderung“

relevant. Über die Basisförderung können sich kleine und mittlere Unternehmen (KMU) Anlagen fördern lassen, die zu bestimmten Anlagenkategorien gehören, ohne hierfür ein umfangreiches Einsparkonzept erstellen zu müssen.

Anlagen bzw. Komponenten, für die eine Förderung beantragt wird, müssen im Unternehmen vorhandene ineffiziente Bestandsanlagen ersetzen. Für die Antragstellung ist ein Nachweis erforderlich, dass der Bedarf an Endenergie infolge des Anlagenaustauschs um mindestens 15 Prozent reduziert wird.

Dieses Modul und die hier genannten technischen Mindestanforderungen sind identisch mit den technischen Mindestanforderungen des gleichnamigen Programms zur Beantragung eines zinsgünstigen Kredits mit Tilgungszuschuss bei der KfW.

Bei Eigenfinanzierung kann die Förderung durch die BAFA in der „Zuschussvariante EEW Modul 4 – energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen“ beantragt werden. Die Förderung wird dann dem Unternehmen direkt ausbezahlt.

Bei Fremdfinanzierung kann der Kredit über die KfW im Programm „KfW 295 Modul 4 – energie- und ressourcenbezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen“ bezogen werden. Hier wird die Fördersumme dann mit dem Kredit verrechnet, das heißt, die Kreditsumme wird um die Fördersumme verringert.

In beiden Fällen ist für Nicht-KMU eine Förderung von 1.500 Euro pro eingesparter Tonne CO₂ bis zu einem Maximum von 25 Prozent der Projektsumme zu erwarten.

Bei mittelständischen Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitern erhöht sich der Betrag auf 2.100 Euro pro eingesparter Tonne CO₂ bis zu einem Maximum von 35 Prozent der Projektsumme.

Rechtliche Anforderungen

Gemäß Energieeffizienzgesetz EnEfG sind Betriebe mit einem durchschnittlichen Gesamtenergieverbrauch der letzten drei Jahre von mehr als 2,5 GWh/Jahr verpflichtet, Abwärmequellen zu identifizieren und deren Nutzung nach DIN EN 17463 zu bewerten. Maßnahmen mit positivem Kapitalwert müssen innerhalb der halben Nutzungsdauer umgesetzt werden. Ein KfW- und BAFA-zertifizierter Energieberater ist für die Antragstellung erforderlich.

Der ZVO arbeitet hier mit branchenerfahrenen Partnern zusammen und stellt auf Anfrage auch Kontakte her.

Christian Deyhle,

QUBUS Planung und Beratung Oberflächentechnik GmbH