

DAMPF UND KONDENSAT FÜR PAPIERMASCHINEN TEIL 1/2

In diesem Kapitel soll ganz speziell über die Besonderheiten von Dampf- und Kondensatsystemen zur Trocknung von Papier beschrieben werden. Papiermaschinen (PM) produzieren Papier. Abhängig von der Dicke des Papiers, von der Produktionsgeschwindigkeit und der Breite der Papierbahn werden teilweise weit über 100 t Dampf pro Stunde zur Trocknung des Papiers benötigt. Eine Tonne Dampf kostet im Durchschnitt 20-25 Euro. Bei ca. 8200 Betriebsstunden pro Jahr müssen für den Dampfbedarf von 100 t/h

ca. 16.400.000 Euro bis 20.500.000 Euro aufgewendet werden.

Die Einsparung von einer Tonne Dampf pro Stunde führt zu einer Einsparung von 164.000 bis 205.000 Euro im Jahr. Der Verfasser behauptet, dass es bei einem Dampfbedarf von ca. 100 t/h fast immer möglich ist, eine Tonne Dampf einzusparen. Vorausgesetzt man weiß wie es geht.

Für jede Dampf- und Kondensatanlage sollte es das Ziel sein, ein geschlossenes System aufzubauen. D.h., der Dampf, der der Papiermaschine zur Trocknung des Papiers zugeführt wird, sollte auch zu 100% für die Beheizung von Anlagenteilen der PM genutzt werden. Bei Dampf- und Kondensatanlagen, welche Dampf in die Atmosphäre abblasen, bzw. bei welchen das Kühlwasser für den Hilfskondensator zur Beheizung ganzer Stadteile verwendet werden könnte, besteht ein Problem.

Ursachen sind oftmals:

- verkehrte Betriebsweise durch mangelhafte Schulung
- geänderte Betriebsbedingungen hinsichtlich der ursprünglichen Auslegung
- falsche Auslegung des Planers
- Ideenarmut bzw. mangelndes Fachwissen des Planers (siehe Kapitel „Aus Schaden...zu viele Kondensatpumpen...“)

Ganz entscheidend ist aber auch, dass der Betreiber der Papiermaschine auch wirklich hinsichtlich einer Energieoptimierung umbauen möchte bzw. kann. Oftmals sind die Probleme bekannt, aber die Kosten für den Umbau scheinen zu hoch.

Wird nach dem Umbau tatsächlich eine Tonne Dampf eingespart, macht sich ein Umbau nach ein bis zwei Jahren aber bezahlt.

Der Verfasser hat durch mehr als zwanzig Jahre Planungs- und Montagetätigkeit an Papiermaschinen umfangreiches Detailwissen sammeln können.

Im Folgenden werden nur spezielle Themen beschrieben und Erfahrungen bei der Lösung von Problemen mit Dampf- und Kondensatsystemen einer PM geschildert, welche vom Leser ein Grundwissen über die Papiertrocknung an Papiermaschinen voraussetzt.

Inhaltsverzeichnis Teil 1/2

- Seite 3 bis 5 Aufbau eines Kaskadensystems mit Hilfe der Differenzdruckregelung
- Seite 6 bis 13 Sattdampf oder überhitzter Dampf - Das ist hier die Frage.
Aufbau und Verwendung einer Vakuumanlage. Wird eine Vakuumanlage immer benötigt?
- Seite 14 bis 31 Entwässerungssysteme in Trockenzylindern, Probleme
Der stehende, der rotierende Syphon und der Schöpfer,
Verschenkte Trockenfläche durch ein verkehrtes Entwässerungssystem
- Seite 31 bis 45 Dampfeinsparung: „ Man kann nur das sparen was man übrig hat...“
Aufteilung der Trockenzylinder in Trockengruppen
Sinnvolle Nutzung des Durchström- und Entspannungsdampfes,
Was ist ein Dampfblaskasten?
Einsatz eines Dampfblaskastens als „Reste“-Dampfverwerter

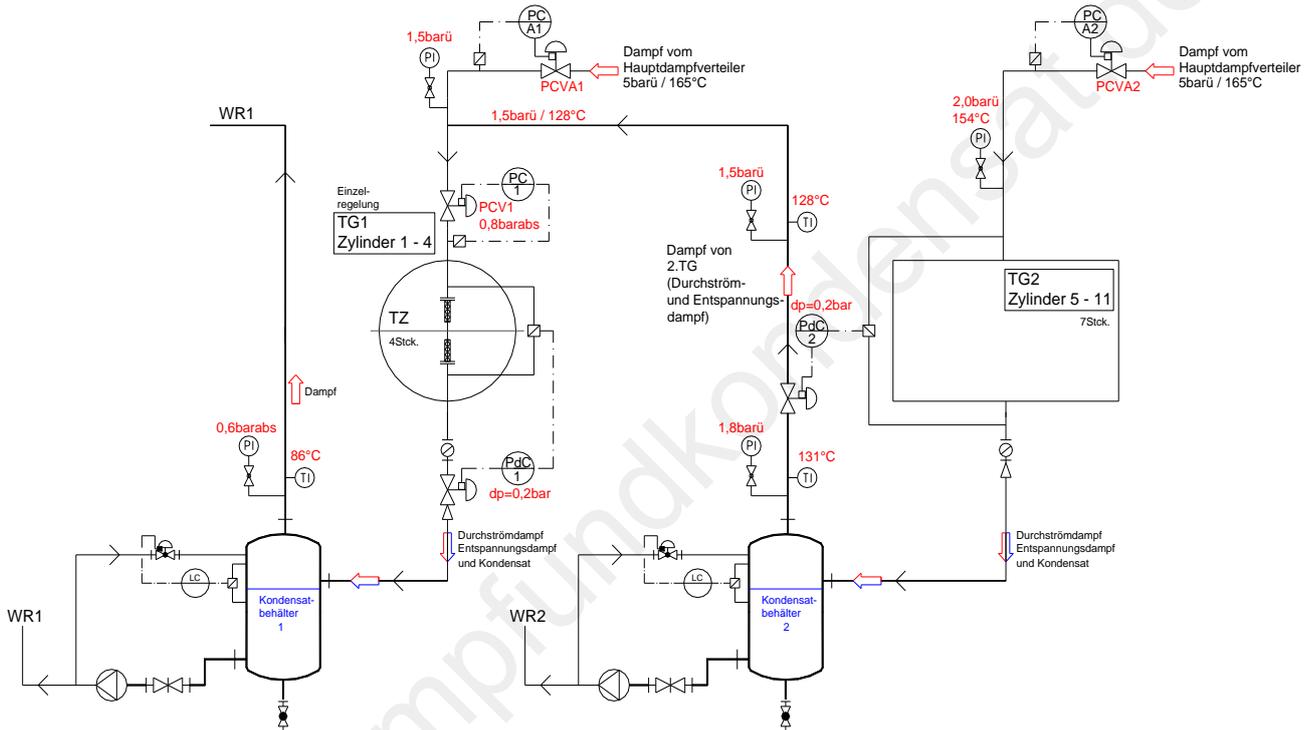
Inhaltsverzeichnis Teil 2/2

- Seite 3 Wie ermittelt man den Dampfbedarf einer Papiermaschine?
Was stören Störleisten in Trockenzylindern?
Wer kennt noch Stauringe?

1. Aufbau eines Kaskadensystems mit Hilfe der Differenzdruckregelung

Wie ein Kaskadensystem funktioniert, wurde schon kurz im Kapitel „Kaskadensystem“ beschrieben. Das Kaskadensystem ist vermutlich an allen Papiermaschinen (PM) installiert. Das Kaskadensystem ist eigentlich nichts anderes als eine Art Wärmerückgewinnung, weil der zwangsläufig anfallende Durchström- und Entspannungsdampf, welcher bei der Beheizung der Trockenzylinder (TZ) einer Trockengruppe (TG) entsteht, wieder zur Beheizung von Trockenzylindern verwendet wird. (Durchströmdampf: siehe auch unter Abschnitt zu Entwässerungssystemen ab Seite 14, Dampf einsparung durch Verwendung von Durchströmdampf: siehe auch weitere Informationen ab Seite 32)

Aufbau Kaskadenschaltung:



Die 1. TG besteht aus 4 Stck. einzeln geregelten TZ (*Einzelregelung siehe im Abschnitt Satttdampf, weiter unten...*). Die 2.TG besteht aus 7 Stck. TZ, welche zu einer Gruppe zusammengefasst wurden. Je nach Entwässerungssystem in den TZ (stehende oder rotierende Syphone, Schöpfer) wird für eine möglichst gute Entwässerung ein bestimmter Differenzdruck benötigt. D.h., vor dem TZ auf der Dampfseite muss der Druck je nach Entwässerungssystem höher sein als hinter dem TZ auf der Kondensatseite. Dieser Differenzdruck wird im PLS als Sollwert eingestellt und sollte bei laufender Produktion immer gleich bleiben (*dazu aber später mehr im Abschnitt zu den Entwässerungssystemen*).

Im oben skizzierten Beispiel sind als Entwässerungssystem stehende Syphone montiert. Bei stehenden Syphonen ist ein Differenzdruck von 0,1 bar bis 0,2 bar für eine einwandfreie Entwässerung notwendig. D.h., der Druck im Kondensatbehälter 2 wäre demnach immer 0,1 bar bis 0,2 bar niedriger, als hinter dem Dampfdruckreguliertventil PCVA2. Mit dem Kaskadensystem kann man nun den Durchströmdampf der Syphone aus der 2.TG zur Beheizung der TZ in der 1.TG verwenden. Dazu muss die 1.TG aber auch mit einem niedrigeren Dampfdruck beheizt werden. Genügt diese Dampfmenge nicht mehr, dann sinkt der Dampfdruck. Der Sollwert von PCA1 wird unterschritten. Es würde automatisch Dampf über das Regelventil PCVA1 zugeführt.

➤ Was aber, wenn der Druckunterschied zwischen den TG nicht mehr möglich ist?

Es gibt drei Produktionszustände, bei welchen es nicht oder nur schwierig möglich ist, den Druckunterschied zwischen den Trockengruppen aufrecht zu erhalten.

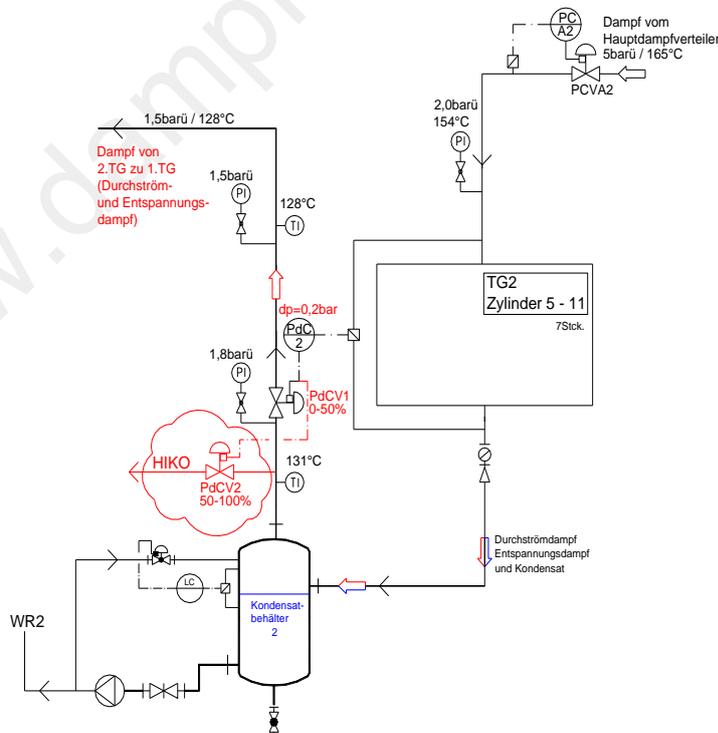
Diese sind:

1. Papierbahnabriss: Die Kondensation in den TZ nimmt sofort ab, weil die TZ nicht mehr durch die Papierbahn gekühlt werden. Wo nichts mehr (oder nur sehr wenig) kondensiert, strömt auch nichts nach. D.h., der Dampfverbrauch sinkt sofort nach Papierbahnabriss. Eigentlich sollten bei Papierbahnabriss die Beheizungsdrücke der TG sofort auf einen Ab-riss-sollwert abgesenkt werden (nach Möglichkeit automatisiert im PLS).

2. Die TZ sind „abgesoffen“: Durch eine Fehleinstellung am PLS durch das Bedienpersonal, einer Fehlfunktion der Mess- und Regeltechnik, oder auch in Folge von Schäden an den Entwässerungselementen oder den Dampfköpfen sinkt der Differenzdruck. Das Kondensat im TZ steigt an und „überflutet“ die Syphonschuhe. Dies geschieht auch, wenn die Entwässerungssysteme nicht richtig ausgelegt sind oder die Dimensionierung nicht mehr dem tatsächlichen Dampfbedarf entspricht. Die Menge des anfallenden Kondensates im TZ kann dann auf Grund zu kleiner Querschnitte nicht mehr komplett abgeführt werden. Bei Produktionsgeschwindigkeiten unter Wasserringgeschwindigkeit werden Schöpfer als Entwässerungssystem eingesetzt. Diese Schöpfer können nicht überfluten. Vor allem für rotierende Syphone ist das Überfluten der Syphonschuhe ein Problem. (Entwässerungs-probleme: dazu mehr im Abschnitt zu Entwässerungssystemen)

3. Anheizen der PM: Beim Anheizen werden nur geringe Dampfmenen benötigt, und es gelten ähnliche Bedingungen wie bei Papierbahnabriss.

Was dann? Die Differenzdrücke werden zur Entwässerung der TZ benötigt, auch wenn die TZ abgesoffen sind. Damit bei jeder Betriebssituation die Differenzdrücke nicht zusammenbrechen, wird für jede TG ein zusätzliches Regelventil eingesetzt.



Das Regelventil PdCV1 ist mit einem weiteren Regelventil PdCV2 verknüpft.

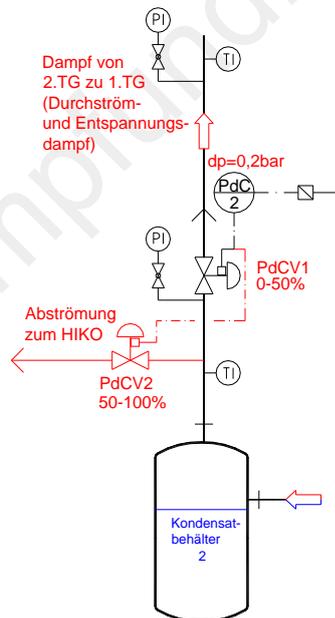
Regelventil PdCV1: Ist der Sollwert von 0,2 bar in Gefahr schließt oder öffnet zunächst das Regelventil PdCV1. Bei einem Reglerausgang von 50% ist das Regelventil PdCV1 zu 100% geöffnet.

Regelventil PdCV1: Reglerausgang 0% - Ventilöffnung 0%,
Reglerausgang 50% - Ventilöffnung 100%

Reicht diese Öffnung immer noch nicht aus, öffnet das Regelventil PdCV2.

Regelventil PdCV2: Reglerausgang 50% - Ventilöffnung 0%,
Reglerausgang 100% - Ventilöffnung 100%.

Die Rohrleitung hinter dem Regelventil PdCV2 führt zu der Stelle am Dampf- und Kondensatsystem, an welcher der niedrigste Druck zu finden ist. Diese Stelle ist der Hilfskondensator (HIKO). Der HIKO ist ein „Energievernichtungswärmetauscher“. Geht gar nichts mehr, zum HIKO kann der Dampf immer strömen. In diesem WT wird der Dampf durch Kühlwasser kondensiert. Ist der WT ausreichend dimensioniert, führt diese Kondensation zu einer Volumenverkleinerung und somit zur geringen Vakuumbildung. Deshalb kann man im HIKO den niedrigsten Druck messen. Über die Abströmung zum HIKO kann auch bei den oben genannten drei Betriebszuständen der für die Entwässerung der TZ notwendige Differenzdruck erreicht werden. Bei normaler Produktion sollten diese Regelventile aber **immer** geschlossen sein.



Anmerkung: Will man wissen, ob das Dampf- und Kondensatsystem richtig ausgelegt wurde und ob auch der anfallende Durchström- und Entspannungsdampf wieder z.B. zum Beheizen der Nebenverbraucher genutzt wird, dann braucht man sich nur den Kühlwasserverbrauch am HIKO anzusehen. Egal bei welcher Produktion sollte die Kühlwassermenge für die Kondensation des Dampfes immer möglichst gering sein. Logisch, eine große Kühlwassermenge bedeutet, dass auch eine große Menge an Dampf „vernichtet“ wird (z.B. Produktion: 1200m/min 80gm² bis 125gm² max. 10t/h Kühlwasser).

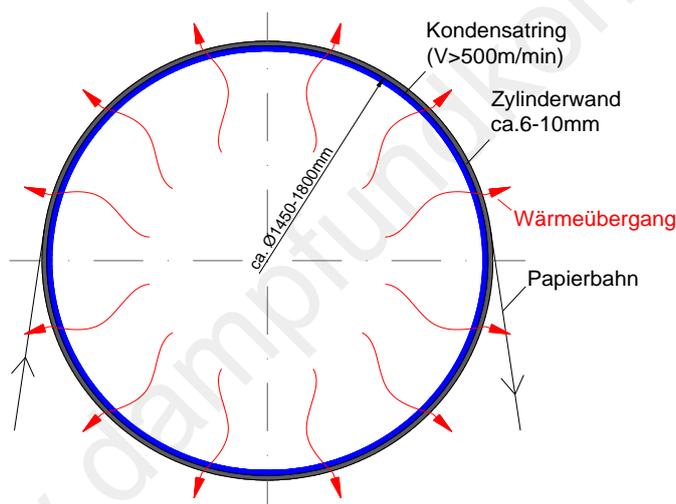
2. Sattdampf oder überhitzter Dampf - Das ist hier die Frage.

„Bei uns wird nur Sattdampf verwendet. ...Weiß doch jeder, daß Heißdampf zur Trocknung nicht geeignet ist...“ Das ist richtig, aber vermutlich werden 90% aller Papiermaschinen mit überhitztem Dampf betrieben, weil es auf Grund des Aufbaus des Dampf- und Kondensatsystems nicht anders möglich ist. Warum? Dazu später mehr. Zunächst eine kurze Beschreibung der Funktion des TZ als drehender Wärmetauscher zur Papier-trocknung.

2.1 Der Trockenzylinder als Wärmetauscher

Wie im Kapitel zu *Wärmetauschern/Dampfkühlungen* erklärt, ist Sattdampf für Wärmetauscher der bessere Dampf. Trockenzylinder (TZ) von PM sind nichts anderes als ein Rohr-Wärmetauscher. Vereinfacht beschrieben, strömt Dampf in die Trockenzylinder, gibt Wärmeenergie an die Zylinderinnenfläche ab, welche durch die Papierbahn von außen gekühlt wird und kondensiert. Das Kondensat sammelt sich bei einer Geschwindigkeit bis 350 m/min als Sumpf im TZ. Bei einer Maschinengeschwindigkeit ab ca. 350 m/min wird das Kondensat durch die Reibung am TZ mit beschleunigt. Bei Maschinengeschwindigkeiten über 500 m/min entsteht auf Grund der Fliehkräfte ein Wasserring im TZ. (siehe auch Seite 14 und weiter bei Entwässerungsproblemen / Störleisten)

Trockenzylinder als Wärmetauscher:



2.2 Die Dampfverteilung an der Papiermaschine

Meistens wird in einem Kesselhaus der Dampf für die Papiermaschine erzeugt. Vom Kesselhaus strömt der Dampf über eine Hauptdampfleitung zum Dampfverteiler direkt an der Papiermaschine. Weil der Dampf im Abhitzeessel vom Kraftwerk nicht in der „Qualität“ erzeugt wird wie er an der PM gebraucht wird, ist zwischen Kraftwerk und PM oftmals noch eine Druckreduzierung mit Dampfkühlung installiert. Eine Dampftemperatur von ca. 10°C über Sattdampftemperatur am Hauptdampfverteiler ist üblich (siehe auch Kapitel zu *Dampfkühlungen*). Am Hauptdampfverteiler sind dann die Rohrleitungen zur Versorgung der Vortrockenpartie (VTP) der Nachtrockenpartie (NTP) und den Nebenverbrauchern angeschlossen. Nebenverbraucher können z. B. die Heizung für das Verdünnungswasser der Stärkeanlage, die Erwärmung von Frischwasser für Reinigungssysteme und die Hallenheizung sein.

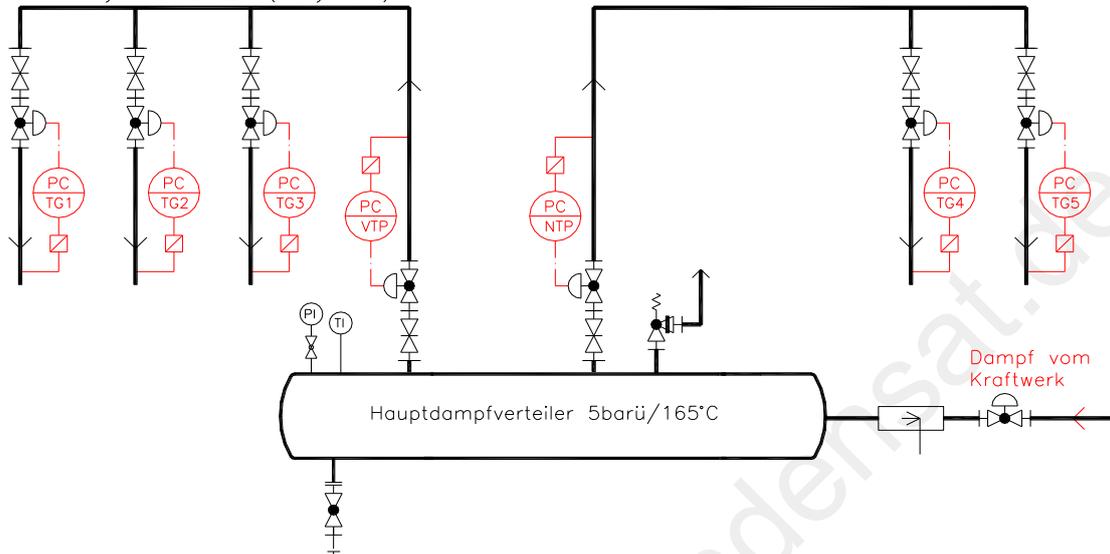
Dampfverteilung an der Papiermaschine:

VTP bestehend aus:

- 3 Trockengruppen
- 1.TG Zylinder 1-4 (Einzelregelung)
- 2.TG Zylinder 5-11 (7 Zylinder)
- 3.TG Zylinder 12-20 (9 Zylinder)

NTP bestehend aus:

- 2 Trockengruppen
- 4.TG Zylinder 21-24 (eventuell Einzelregelung)
- 5.TG Zylinder 25-35 (11 Zylinder)

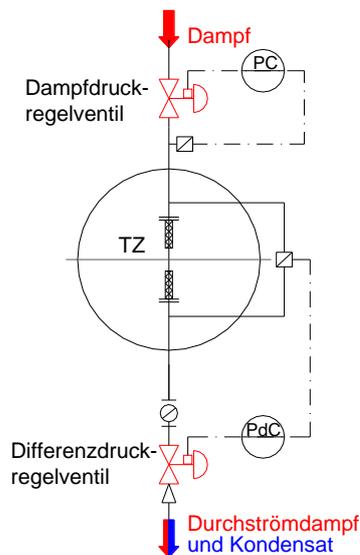


In dieser Dampfverteilung / Rohrführung, welche so oder ähnlich bei vermutlich 95% der PM zu finden ist, liegt die Ursache für die Verwendung von überhitztem Dampf.

2.3 Erklärung, warum an der PM überhitzter Dampf verwendet wird

Ist die VTP der PM in drei Trockengruppen (TG) aufgeteilt, so wird die erste TG je nach Flächengewicht meist im Beheizungsdruck sehr viel niedriger beheizt als die dritte TG. In der ersten TG wird die Papierbahn auf die eigentliche Trocknung in der zweiten und dritten TG „vorbereitet“. Die Feuchtigkeit in der Papierbahn wird erwärmt und so in der zweiten und hauptsächlich in der dritten TG zum Verdampfen gebracht. Damit diese „Vorbereitung“ schonend für die Papierbahn abläuft, sind die Zylinder in der ersten TG meistens mit einer sog. Einzelregelung ausgerüstet.

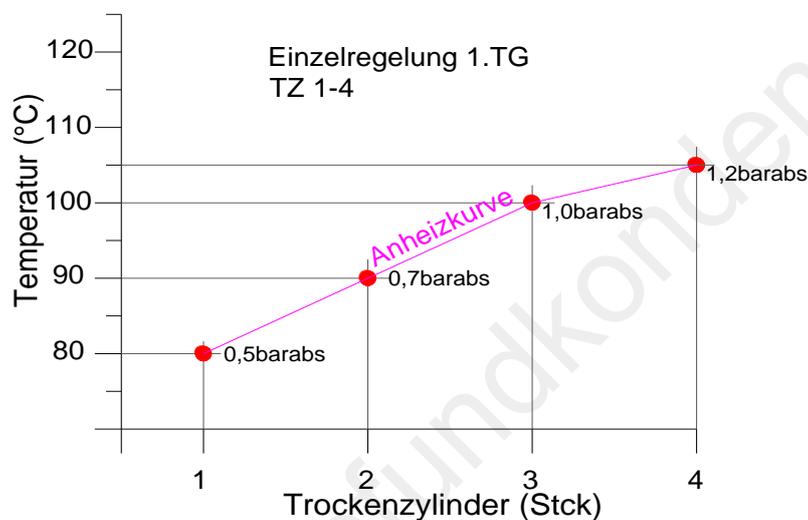
Aufbau der Einzelregelung:



D.h., jeder TZ ist mit einem Dampfdruckregelventil und einem Differenzdruckregelventil auf der Kondensatseite ausgerüstet. Mit diesen Regelventilen lässt sich eine sog. Anheizkurve einstellen.

➤ Was ist mit Anheizkurve durch Einzelregelung gemeint?

Mit der Einzelregelung möchte man erreichen, dass der Papiermacher vom ersten TZ beginnend eine andere Temperatur einstellen kann. D.h., am TZ1 ist der Sollwert des Dampfdruckes am niedrigsten (*Sollwert, siehe Kapitel zu Regelventil*). Am TZ2 ist der Sollwert des Dampfdruckes um 0,2 - 0.3 barü höher usw. Gewünschte Dampftemperaturen von 50°C bis 65°C am ersten TZ sind bei niedrigen Flächengewichten z.B. bei Zeitungspapier keine Seltenheit. Auf Grund dieser Einstellung der Sollwerte würde sich z.B. die unten aufgeführte ideale Anheizkurve, gemessen an der Zylinderoberfläche, einstellen (ohne Berücksichtigung der Verluste durch Material TZ und Wasserring im TZ).



Die Anheizkurve auf Grund der unterschiedlichen Sollwerte der Einzelregelung und den daraus resultierenden unterschiedlichen Dampftemperaturen im TZ bzw. unterschiedlichen Zylinderoberflächentemperaturen existiert aber nur als Wunschdenken des Papiermachers.

Und nun nach langem Vorwort die Erklärung warum dies nicht funktionieren kann, warum fast alle Papiermaschinen die ersten TZ mit weit überhitztem Dampf betreiben:

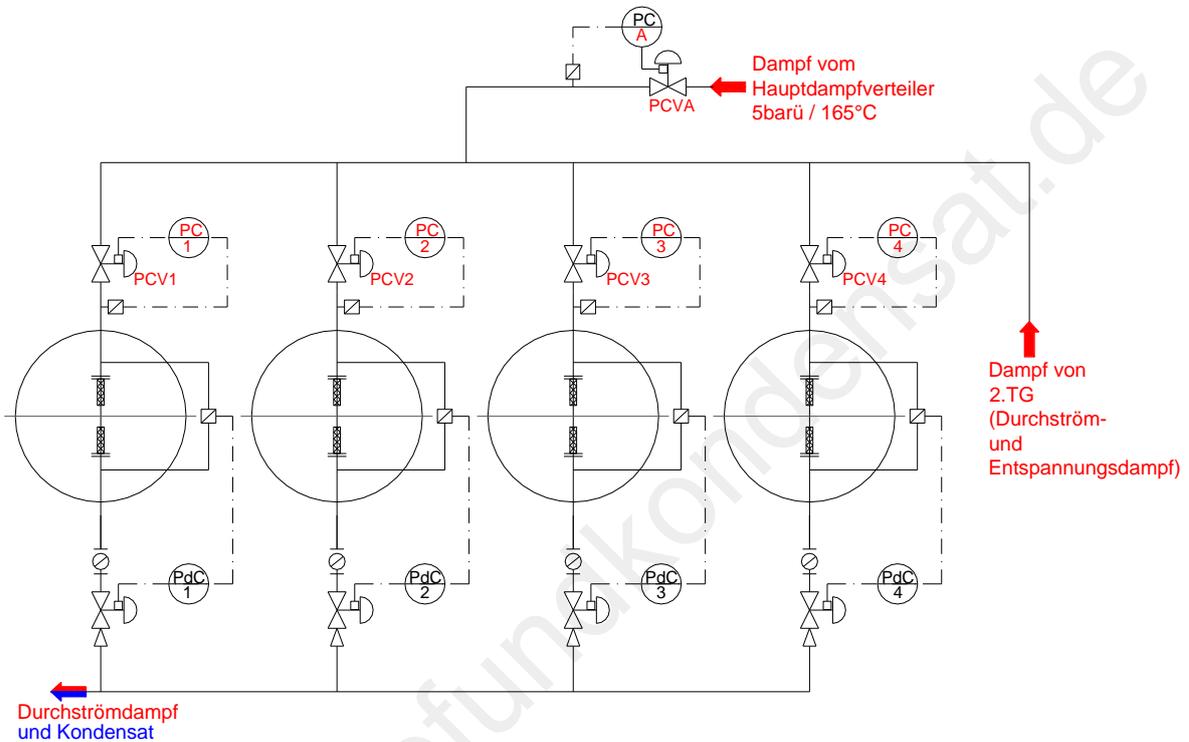
Es ist thermodynamisch nicht möglich über zwei oder drei Druckreduzierungen die Dampftemperatur von 165°C am Hauptdampfverteiler auf 100°C oder gar 90°C am TZ zu reduzieren. Dies ist nur möglich durch den Einsatz einer Dampfkühlung.

Eine vermeintliche Anheizkurve gibt es tatsächlich, wenn man die Zylinderoberflächentemperaturen der ersten TZ überprüft. Diese ist aber mehr auf die von TZ zu TZ immer schlechter werdende kühlende Wirkung der Papierbahn begründet, als auf die durch den Dampfdruck erzeugten niedrigen Temperaturen im TZ (weil die Papierbahn von TZ zu TZ trockner wird).

➤ Was sind Druckreduzierungen?

Mit Druckreduzierungen ist die Anzahl der Dampfdruckregelventile gemeint, welche der Dampf auf dem Weg vom Hauptdampfverteiler bis zum TZ durchströmt. Durch eine Druckreduzierung erfolgt selbstverständlich auch eine Temperaturreduzierung. Die Temperaturreduzierung fällt aber sehr viel geringer aus (siehe Kapitel zur Dampfkühlung).

Hier ein Beispiel, damit das Erklärte besser verstanden wird.



VORHER	Dampfdruck P1	5barü	5barü	5barü	5barü
	Dampftemperatur T1	165°C	165°C	165°C	165°C
	Druckreduzierungen	PC1	PC2	PC3	PC4
NACHHER	Dampfdruck P2 (Sollwert)	0,1barü	0,2barü	0,4barü	0,7barü
	Dampftemperatur Sattdampf gewünscht	102°C	105°C	109°C	115°C
	Dampftemperatur tatsächlich	147°C	147°C	148°C	149°C
	Überhitzung	45°C	42°C	39°C	34°C

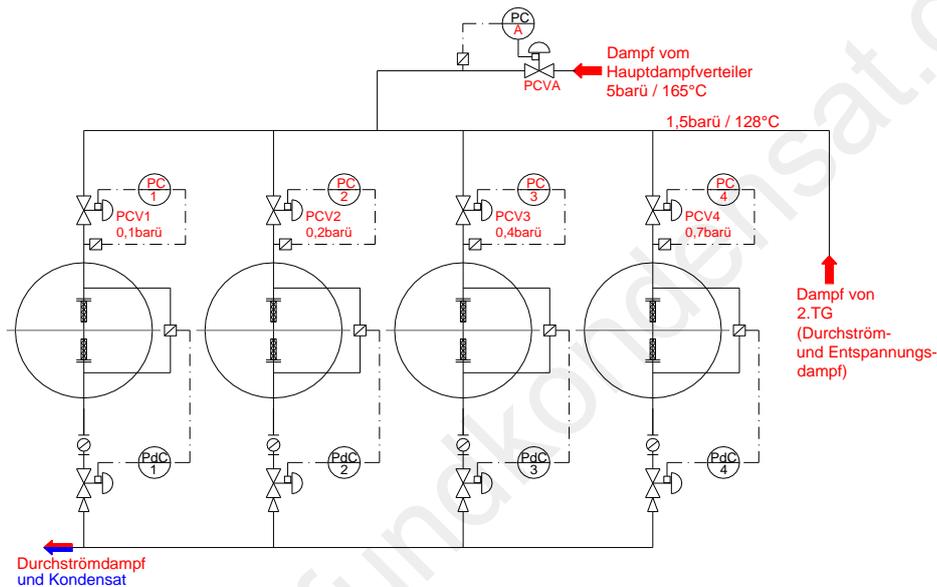
Wie im Beispiel oben aufgezeigt, ist die Temperatur des Dampfes trotz anderer Sollwerte annähernd gleich groß oder besser gesagt annähernd gleich hoch. Von einer niedrigen Dampftemperatur am ersten Trockenzylinder wäre man bei Bedingungen wie oben aufgeführt sehr weit entfernt.

Der niedrige Dampfdruck ist eben nicht mehr gleich der entsprechend niedrigen, gewünschten Sattdampftemperatur (*thermodynamischer Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Dampftemperatur siehe Kapitel Dampf und Druck*).

Die in der Tabelle aufgeführten Werte für die Dampftemperaturen hinter der Druckreduzierung sind rechnerisch ermittelte Werte. Temperaturverluste z.B. durch Wärmeübergang wurden nicht beachtet. Aber auch wenn diese Verluste in komplizierten Berechnungen berücksichtigt würden, ändern sich die Temperaturen nur geringfügig. Die Tendenz ist klar. Man kann gar nicht soweit den Dampfdruck reduzieren, um die gewünschten, niedrigen Temperaturen für die ersten TZ zu erreichen (*auch nicht mit einer Vakuumanlage, dazu später mehr*).

Und dann wurde auch nicht berücksichtigt, dass sich der Dampf vom Hauptdampfverteiler hinter der Druckreduzierung PCVA mit dem Dampf aus der zweiten TG mischt. Je nach Dampfdruck in der zweiten TG führt dies zu einer Temperaturreduzierung hinter der Druckreduzierung PCVA

Beispiel:



Dampfdruck 2.TG 1,5barü
 Dampftemperatur 128°C
 Durchströmdampf Zyl. 5-11 700kg/h (pro Zyl. 100kg/h bei stehenden Syphonen)
 Dampfbedarf Zyl 1-4 2000kg/h (Ø500kg/h pro Zylinder)
 deshalb Dampf über PCVA 1300kg/h
 Dampftemperatur nach Druckred. 149°C (ohne mischen)

VORHER	Dampfdruck P1	1,5barü	1,5barü	1,5barü	1,5barü
	Dampftemperatur TM (Mischtemperatur)	141°C	141°C	141°C	141°C
NACHHER	Druckreduzierung	PC1	PC2	PC3	PC4
	Dampfdruck P2 (Sollwert)	0,1barü	0,2barü	0,4barü	0,7barü
	Dampftemperatur Sattdampf gewünscht	102°C	105°C	109°C	115°C
	Dampftemperatur tatsächlich	134°C	134°C	135°C	136°C
	Überhitzung	32°C	29°C	26°C	21°C

$$TM = \frac{(m1 * T1) + (m2 * T2)}{(m1 + m2)}$$

Auch durch das zwangsläufige Mischen der beiden Dampfmenen werden die auf Grund der eingestellten Sollwerte gewünschten Dampftemperaturen nicht erreicht. Entsprechend der Temperaturen hätte man eigentlich einen Dampfdruck um die 2 barü in den ersten TZ.

➤ Probleme mit überhitztem Dampf an der PM?

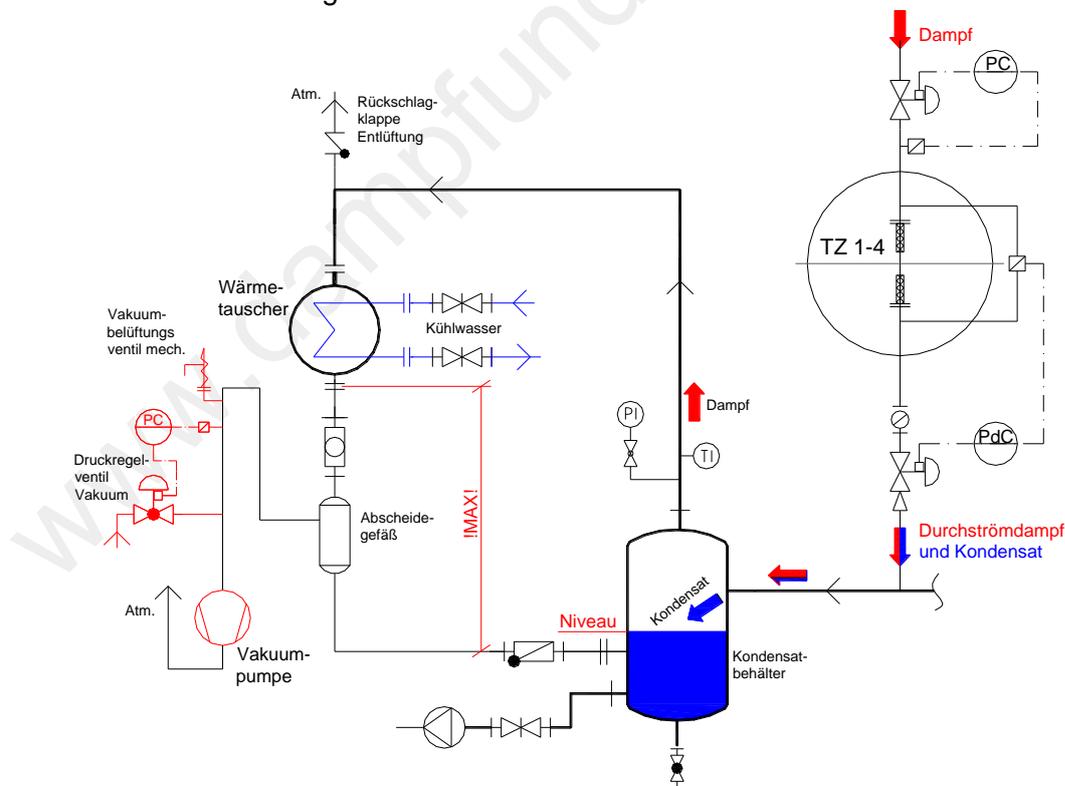
Die Verwendung von überhitztem Dampf hat nach den Erfahrungen des Verfassers Einfluss auf das Abrissverhalten der Papierbahn und eines möglichst energieeffizienten Einsatzes des Dampfes zur Beheizung der Trockenzylinder. Die Lösung des Problems wird noch im weiteren Kapitel diskutiert.

2.4 Die Verwendung einer Vakuumanlage zur Erzeugung niedriger Drücke

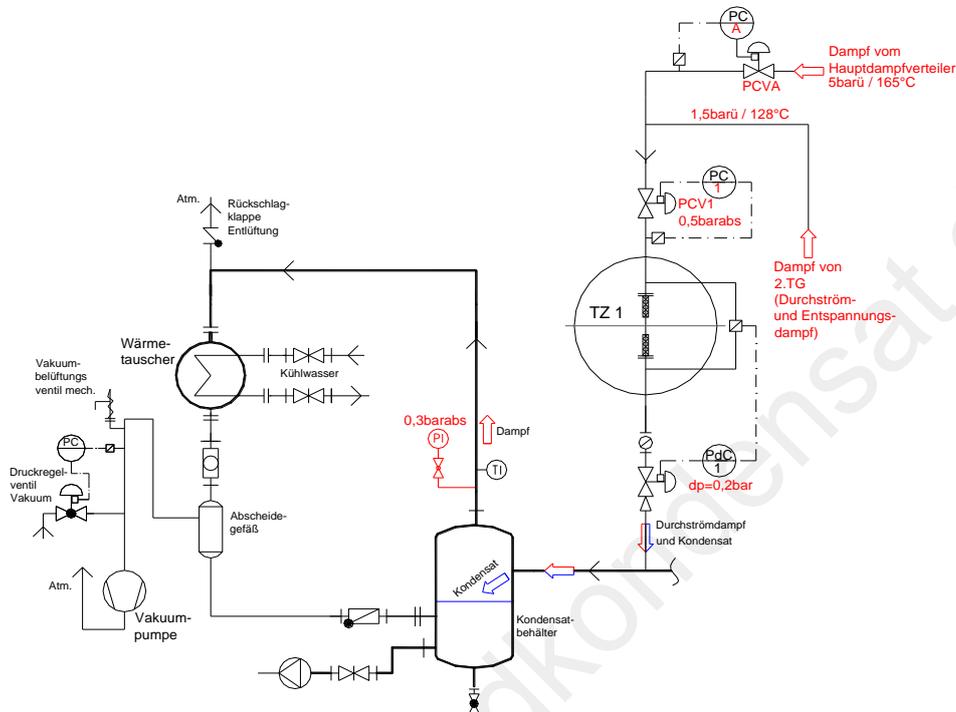
Wozu benötigt man an einer Dampf- und Kondensatanlage einer PM eine Vakuumanlage? Das Beheizen von Trockenzylindern im Vakuumbereich wird dann notwendig, wenn bei kleinen Flächengewichten, Dampftemperaturen von unter 100°C erforderlich sind. Meistens werden die ersten TZ bzw. die TZ nach der Leimpresse mit Dampfdrücken von unter 1,0 barabs beheizt.

Vakuumanlagen für das Dampf- und Kondensatsystem sind an vielen PM installiert. Nicht überall wo diese Anlagen montiert wurden, sind diese aber auch erforderlich. Zumindest ist das Absenken der Dampfdrücke auf minimalste Werte bei vielen PM unnötig. Wie oben aufgeführt, ist es einfach nicht möglich, die Dampftemperatur von 165°C am Hauptdampfverteiler über zwei oder drei Druckreduzierungen so abzusenken, dass die Dampftemperatur dem niedrigen Dampfdruck entspricht. Besser wäre es, die Trockenzylinder, an welchen niedrige Dampftemperaturen benötigt werden, auch mit entsprechendem Dampf zu versorgen (*thermodynamischer Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Dampftemperatur siehe Kapitel Dampf und Druck*).

Aufbau einer Vakuumanlage:



Oben wurden zwei Beispiele aufgeführt, mit dessen Hilfe erläutert werden sollte, dass man durch Druckreduzierungen die Dampftemperatur nicht auf Sattedampftemperatur reduzieren kann. Das gleiche soll nun unter Berücksichtigung der Vakuumanlage auch durchgeführt werden.



Dampfdruck 2.TG 1,5barü (2,5barabs)
 Dampftemperatur 128°C
 Durchströmdampf Zyl. 5-11 700kg/h (pro Zyl. 100kg/h bei stehenden Syphonen)
 Dampfbedarf Zyl. 1-4 2000kg/h (Ø500kg/h pro Zylinder)
 deshalb Dampf über PCVA 1300kg/h
 Dampftemperatur nach Druckred. 149°C (ohne mischen)

VORHER	Dampfdruck P1	1,5barü	1,5barü	1,5barü	1,5barü
	Dampftemperatur TM (Mischtemperatur)	141°C	141°C	141°C	141°C
NACHHER	Druckreduzierung	PC1	PC2	PC3	PC4
	Dampfdruck P2 (Sollwert)	0,5bara	0,6bara	0,8bara	0,9bara
	Dampftemperatur Sattedampf gewünscht	82°C	86°C	94°C	97°C
	Dampftemperatur tatsächlich	132°C	132°C	133°C	134°C
	Überhitzung	50°C	46°C	39°C	21°C

Auch durch den Einsatz einer Vakuumanlage und der dadurch erst möglichen Druckreduzierung auf 0,5 barabs (Druckreduzierung in den Vakuumbereich) ist eine deutliche Absenkung der Dampftemperatur im TZ nicht feststellbar. Die erreichten Temperaturen würden einem Dampfdruck von ca. 2 barü entsprechen (*Unterschied barü und barabs siehe Kapitel „Dampf und Druck“*).

➤ Wird eine Vakuumanlage überhaupt benötigt?

Die oben aufgeführten Dampftemperaturen hinter den Druckreduzierungen sind rechnerisch ermittelte Werte. Selbst wenn die Dampftemperaturen durch Wärmeübergang usw. ein paar Grad niedriger liegen, werden die gewünschten Temperaturen entsprechend der eingestellten Sollwerte vermutlich bei den meisten PM nicht erreicht. Wie oben schon beschrieben, ist die Ursache im Aufbau der Dampf- und Kondensatanlage zu suchen und nicht am zu schwachen Vakuum.

Der Einsatz einer Vakuumanlage ist immer dann notwendig, wenn TZ mit Dampf unter 100°C, d.h. mit einem Dampfdruck unter 1,0 barabs beheizt werden sollen.

Das kann auch funktionieren, wenn die Bedingungen für das Erreichen der niedrigen Temperaturen vorhanden sind. Wie oben beschrieben, entspricht der niedrige Dampfdruck nicht der gewünschten niedrigen Sattdampftemperatur. Die Dampftemperatur ist in den meisten Anwendungen sehr viel höher als die Sattdampftemperatur. Deshalb wäre es beim Beheizen im Vakuumbereich besser, nicht die Dampfdrücke als Sollwert im Prozessleitsystem (PLS) einzugeben, sondern die gewünschten Dampftemperaturen. Dazu müsste man aber entsprechende Messeinrichtungen montieren um die Dampftemperatur mit Hilfe einer Dampfkühlung beeinflussen zu können. Das macht aber fast keine PM.

Mit steigenden Energiepreisen wird es zukünftig sicherlich sehr viel wichtiger, den Beheizungsampf entsprechend der Anwendung richtig zu konditionieren. (*thermodynamischer Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Dampftemperatur siehe Kapitel Dampf und Druck*).

➤ Vakuumanlage und Entlüftung

Wird die PM abgestellt, kondensiert der Dampf in den Rohrleitungen, Behältern und TZ. Das führt zu einer Volumenverkleinerung. Nach Stillständen beginnt deshalb das große Saugen. Überall wo eine Öffnung ist (z.B. die Entleerungen der Kond.Behälter) strömt Luft in das Dampf- und Kondensatsystem. Nach kurzer Zeit sind die Rohrleitungen und die Trockenzylinder mit Luft gefüllt.

Hinweis: Flanschverbindungen, welche bei Innendruck nichts raus lassen sind auch bei Vakuum dicht... Das kann stimmen. Aber aus den Erfahrungen des Verfassers kann ein Druck von 0,9 barabs (1m Vakuum) eine Undichtigkeit verursachen und bei 5barü Überdruck ist alles dicht.

Vor dem Anheizen muss eine Papiermaschine entlüftet werden. Eine vorhandene Vakuumanlage kann den Prozess des Entlüftens beschleunigen. Aber eigentlich wird zum Entlüften keine Vakuumanlage benötigt. Die Papiermaschine kann das allein. (*siehe auch Kapitel „Entlüftung“*)

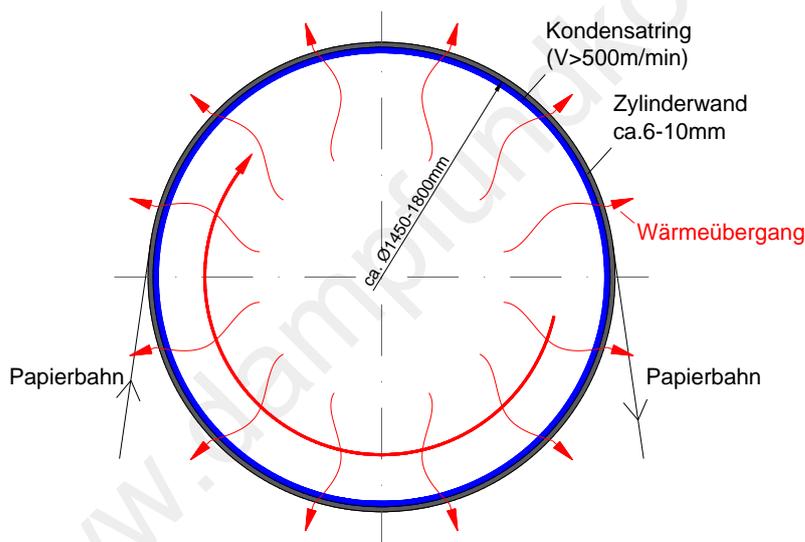
Das Entlüften einer PM funktioniert auch ohne Vakuumanlage. Voraussetzung ist eine oder mehrere genügend große Rohrleitung/Rohrleitungen mit Hilfe derer die Luft aus dem Rohrleitungssystem strömen kann. Die Luft wird dann nur durch das Einströmen des Dampfes aus der Anlage gedrückt. Bei einer PM mit 35 TZ kann das eine halbe Stunde dauern. Mit einer Vakuumanlage ginge dies sicherlich schneller, weil die Luft durch die Vakuumpumpe abgesaugt wird. Aber, die Trockenzylinder sind aus Stahlguss gefertigt. Um Werkstoff schädigende Spannungen innerhalb des metallurgischen Gefüges zu vermeiden, müssen diese Stahlgusszylinder eigentlich langsam aufgewärmt werden. Langsam bedeutet, dass die TZ einer PM nach komplettem Erkalten ca. 2-3 Stunden aufgewärmt werden sollten. Nach kurzen Stillständen würde die Zeit des Entlüftens zum Aufwärmen genügen. D.h., die Notwendigkeit des schnelleren Entlüftens mit Hilfe einer Vakuumanlage ist eigentlich nicht gegeben.

3. Die Fliehkraft als Ursache von Entwässerungsproblemen bei Trockenzylindern

Der Dampf strömt in die Trockenzylinder einer Papiermaschine, gibt Wärmeenergie an die Zylinderinnenwand ab und wird zu Kondensat. Eigentlich will der Dampf gar nicht in so einen engen Trockenzylinder, um dort ein paar Runden zu drehen. Viel lieber würde er in Richtung Atmosphäre oder zum Vakuum strömen, weil der Dampf sich dort ganz entspannt ausdehnen kann (*Zusammenhang zwischen Druck und Volumen / Entspannungsdampf siehe Kapitel Rohrleitungen oder Nachverdampfung*).

Im Gegensatz zum Kondensat benötigt der Dampf auf Grund seiner geringen Dichte keine Pumpe, um durch Rohrleitungen zu strömen und so auch Höhenunterschiede zu überwinden. Der Dampf reagiert nur auf Druckunterschiede. Schon wenige 0,... barü genügen, um große Mengen Dampf zum Strömen zu animieren.

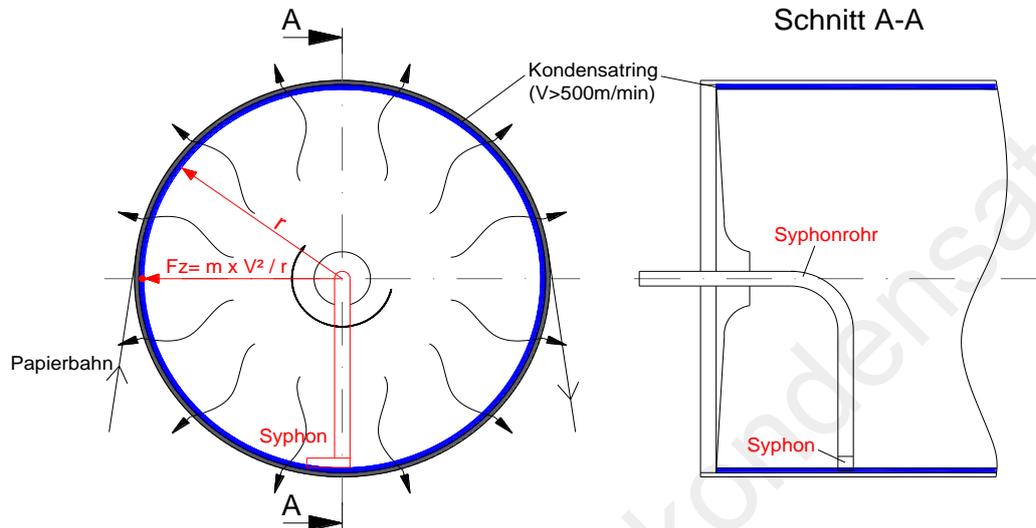
Warum strömt nun aber der Dampf in die TZ? In Folge der Kondensation des Dampfes im TZ kommt es zu einer Volumenverkleinerung. Aus z.B. 2 t/h Dampf mit einem Druck von 0,1 barü und einem spezifischen Volumen von 3000 m³/h werden ca. 3 t Kondensat mit einem Volumen von 3 m³. Durch diese Volumenverkleinerung entsteht im TZ ein niedrigerer Druck als in der Dampfleitung. Dieser Druckunterschied ist es, welcher den Dampf dazu antreibt, den nach der Kondensation „frei werdenden Raum“ im Trockenzylinder wieder auszufüllen, um nach der Berührung mit der kühlen TZ-Innenseite sofort wieder zu kondensieren und sich zu verkleinern. *Wie dies funktioniert, wurde in den anderen Kapiteln dieser Homepage ausreichend erklärt (siehe z.B. Kapitel zu Wärmetauscher).*



Entscheidend für die Kondensation ist die feuchte und somit kühlere Papierbahn. Ist die Papierbahn nicht mehr vorhanden, so geht auch schlagartig die Kondensation und somit der Dampfverbrauch zurück. Dies kennt jeder Papiermacher bei Papierbahnabriss. Der Trockenzylinder ist also ein sich drehender Rohr-Wärmetauscher. Der (die) TZ dreht (drehen) sich nur deshalb, weil die kühlere, feuchte Papierbahn mit Hilfe dieser Drehbewegung durch die Trockenpartie der PM transportiert wird. Die Trockenzylinder drehen sich von ganz langsam (z.B. 40 m/min) bis ganz schnell (z.B. 1300 m/min). In Folge dieser Transport-Drehbewegung entsteht eine Fliehkraft, welche das Kondensat dazu bringt, abhängig von der Geschwindigkeit, sich an die Innenseite des TZ anzulegen. Je schneller die Geschwindigkeit der Drehbewegung desto größer ist die Fliehkraft. Ab einer Geschwindigkeit von ca. 500 m/min bildet sich ein Wasserring. Das Kondensat wird durch die Fliehkraft gleichmäßig an die Zylinderinnenwand gepresst.

3.1 Drehbewegung kontra Entwässerung

Ohne die Drehbewegung könnte man an der Unterseite des TZ einen Kugelhahn montieren und das Kondensat würde von alleine abfließen. Nur durch die Drehbewegung und der dadurch entstehenden Fliehkraft werden spezielle Entwässerungseinrichtungen notwendig. Die sogenannten Dampfköpfe mit Syphonsystem (oder auch Schöpfer) ermöglichen es, dass der Dampf leakagefrei in den drehenden TZ strömen kann und das Kondensat genauso leakagefrei wieder aus dem drehenden TZ fließt.



Irgendwie muss man aber das Kondensat aus dem TZ heraus bringen. Ansonsten würde die „Schichtdicke“, besser der Kondensatfilm im TZ immer weiter ansteigen. Da Kondensat ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, würde sich die Trocknung des Papierses in der Trockenpartie mit dem Ansteigen des Kondensatfilms drastisch verschlechtern. Falls vorhanden, würde das Qualitätsleitsystem die nicht erreichte Trocknung bemerken und würde den Dampfdruck in allen Trockengruppen anheben wollen. Falls das nicht mehr genügt, müsste die Geschwindigkeit der PM reduziert werden, damit die Verweilzeit der Papierbahn auf den mit Kondensat gefüllten TZ verlängert wird. Kurz, der Produktionsleiter erreicht die Tagesproduktion nicht mehr und alle Mitarbeiter des Werkes müssten um Ihr Weihnachtsgeld fürchten.

Beliebte Frage in der Prüfung zum Papiermachermeister: Wie weit kann das Kondensat im TZ ansteigen?

*Ganz einfach, bei „abgesoffenen“ TZ kann das Kondensat nur maximal bis zur Hälfte des TZ ansteigen. Danach läuft das Kondensat durch den Zylinderzapfen entweder über den Dampfkopf in die Kondensatleitung oder in die Dampfleitung. Das Kondensat verursacht in der Dampfleitung keine „Dampfschläge“. Das Kondensat kann trotz der Drehbewegung deshalb von alleine abfließen, weil je dicker der Kondensatfilm wird desto kleiner wird die Fliehkraft. Direkt am Zylinderzapfen ist der Radius sehr klein und somit ist die Fliehkraft sehr klein bzw. Null. (**Absaufen**, bezeichnet den Zustand im TZ, das das Kondensat den Syphonschuh überflutet hat. Siehe dazu auch weiter unten im Kapitel)*

Einen abgesoffenen TZ zu finden, ist nicht schwierig. Auf Grund des sich im TZ angesammelten Kondensats, ist die TZ-Oberflächentemperatur niedriger als bei TZ, welche mit dem gleichen Dampfdruck beheizt werden. Außerdem ist ein mit Kondensat gefüllter TZ schwerer und verursacht eventuell Probleme mit den Antrieben. Dies macht sich in der Lastaufnahme am PLS bemerkbar.

Dem Dampf ist die Geschwindigkeit des TZ egal. Auf Grund der sehr geringeren Dichte des Dampfes im Vergleich zum Kondensat hat die sich bildende Fliehkraft nur einen geringen Einfluss auf dessen Strömungsverhalten, zumal der Dampf auch erst kurz vor der Kondensation die sich drehende, kühlere Zylinderinnenwand berührt (Dichte von Dampf bei einem Druck von 1 barabs = $0,59 \text{ kg/m}^3$).

3.2 Drehbewegung pro Entwässerung bei einem stehenden Syphon

Die Drehbewegung hat eine wie oben beschriebene schlechte Eigenschaft und eine noch nicht erwähnte gute Eigenschaft. Die schlechte Eigenschaft ist die in Abhängigkeit der PM-Geschwindigkeit entstehende Fliehkraft, welche das Kondensat an die Innenseite des TZ presst. Die gute Eigenschaft betrifft nur TZ, welche mit stehenden Syphonen ausgerüstet sind. Im gleichen Maße nämlich wie die Fliehkraft mit der PM-Geschwindigkeit ansteigt, entsteht eine zweite Kraft, welche dem Kondensat hilft, aus dem TZ zu strömen.

Stehender Syphon

Differenz Pos 1 - 2 =
Höhenunterschied
Kondensatfilm bis Mitte
Zyl. Zapfen

Energiebilanz: $\rho g h + p + \frac{\rho}{2} V^2 = \text{konst}$

$$\rho g h_1 + p_1 + \frac{\rho}{2} V_1^2 = \rho g h_2 + p_2 + \frac{\rho}{2} V_2^2$$

$$\rho g h_1 + \frac{\rho}{2} V_1^2 = \rho g h_2 \quad | - \rho g h_1$$

$$\frac{\rho}{2} V_1^2 = \rho g (h_2 - h_1) \quad (h_2 - h_1 \rightarrow 600)$$

Ausdruck verändert sich je nach V_1
 $\rho = 1000 \text{ kg/h}$

Ausdruck bleibt gleich
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Frage bei welcher Geschwindigkeit V_1 ist $\Delta h = 600 \text{ mm}$?

$$\frac{\rho}{2} V_1^2 = \rho g h \quad | : \rho g$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = h$$

$$\left[\frac{\text{m}^2}{\text{min}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{60} \right]$$

$$V_1 = 350 \text{ m/min} \hat{=} h = 1,7 \text{ m}$$

Differenz Pos 1 - 2 =
Höhenunterschied Kondensatfilm
bis Mitte Zyl. Zapfen

$$V_1 = 200 \text{ m/min} \hat{=} h = 0,55 \text{ m}$$

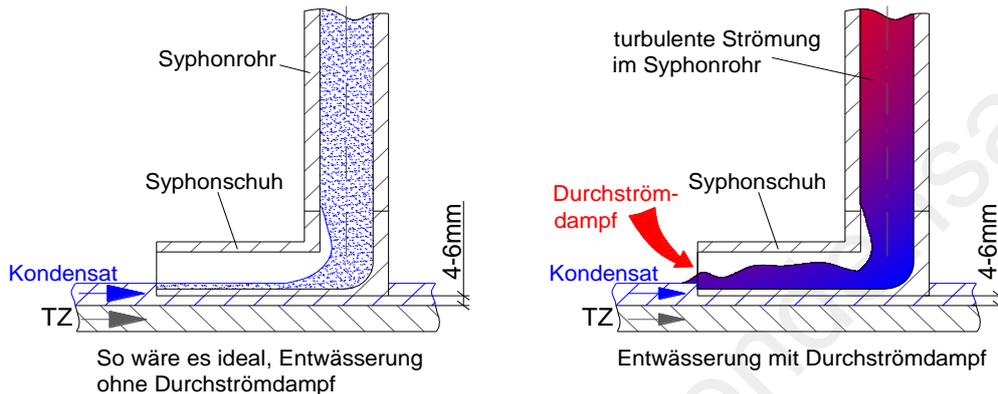
Physikalisch nicht ganz richtig, soll diese Kraft hier als Anströmkraft bezeichnet werden. D.h., das mit dem TZ und gegen den stehenden Syphon anströmende Kondensat drückt sich ab einer bestimmten TZ-Geschwindigkeit in das Syphonrohr und überwindet den Höhenunterschied bis zum Zylinderzapfen - und dies ganz ohne Druckunterschied.

Im Kapitel Theorie wird mit der Bernoulli-Gleichung erklärt, wie man mit Hilfe der Energiebilanz errechnen kann, ab welcher Geschwindigkeit das Kondensat einen Höhenunterschied, wie oben skizziert, überwindet.

3.3 Der stehende Syphon

Der stehende Syphon dreht sich nicht wie der rotierende Syphon mit dem TZ mit. Er steht und der TZ dreht sich um den Syphon. Wie oben beschrieben, wird dadurch die Anström- kraft, welche durch die Drehbewegung des TZ entsteht, ausgenutzt. In Deutschland gibt es drei namhafte Hersteller von stehenden Syphonen. Die Physik der Strömungsverhältnisse ist gleich und so sehen die Syphone dieser Hersteller auch fast gleich aus.

Vereinfachte Darstellung eines stehenden Syphon



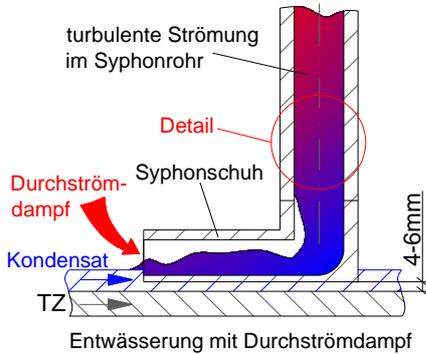
Das Kondensat wird vom Syphonschuh nicht abgesaugt. Zum Absaugen wäre ein sehr viel größerer Druckverlust notwendig, als die vom Hersteller geforderten 0,1 bar bis 0,2 bar. Der Syphonschuh eines stehenden Syphon funktioniert eher wie ein Schneeschieber. Steigt der Kondensatfilm im TZ an, so „schabt“ der Syphonschuh das Kondensat von der Zylinderinnenwand. Je nachdem ob der TZ mit Störleisten ausgerüstet ist, beträgt der Abstand zwischen der Unterseite des Syphonschuhes und der Innenwand 4 bis 6mm.

Auch wenn die Hersteller einen Differenzdruck am TZ von mindestens 0,1 bar für eine gute Entwässerung vorschreiben, so wäre es bei einer PM-Geschwindigkeit ab ca. 1000 m/min auch möglich, eine einwandfreie Entwässerung längere Zeit ohne Differenzdruck zu erreichen. Voraussetzung ist die richtige Auslegung des Syphonrohres. Mit richtiger Auslegung ist gemeint, dass die Menge an Kondensat, welche im TZ bei minimaler und maximaler Produktion anfällt auch durch den Syphon und dem Syphonrohr abfließen kann.

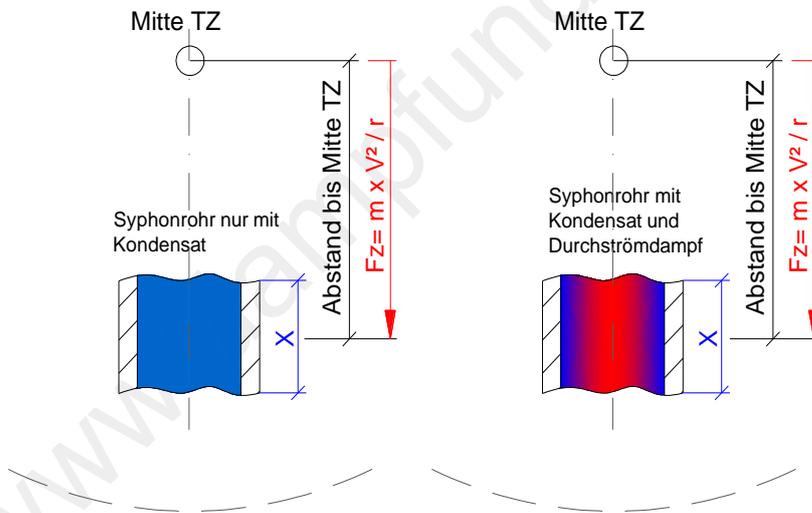
Im Syphonschuh und im Syphonrohr entsteht noch ein zweiter für die Entwässerung positiver Effekt. Auf Grund der Geometrie strömt immer auch ein geringer Teil an Dampf durch den Syphonschuh und dann auch durch das Syphonrohr. Für die Auslegung der Dampfleitung bzw. auch für die Kondensatleitung kann man eine Dampfmenge von 10% annehmen, welche für die Beheizung ungenutzt vom Dampfkopf in den TZ und dann durch den Syphonschuh und Syphonrohr wieder durch den Dampfkopf aus dem TZ strömt. Dieser Durchströmdampf verwirbelt das Kondensat im Syphonrohr. Auf Grund der Vermengung zwischen Dampf und Kondensat wird das spezifische Gewicht des Kondensates dadurch deutlich reduziert.

Warum wird im Syphonrohr das spezifische Gewicht des Kondensates reduziert und warum hilft dies bei der Entwässerung? Um dies besser erklären zu können, wird ein Stück aus dem Syphonrohr herausgeschnitten.

Verwirbelung von Kondensat durch Dampf



Werden beide Rohrabschnitte miteinander verglichen, so kann man feststellen, dass sich in dem einen Rohr nur Kondensat befindet und im anderen Rohr ein Gemisch aus Kondensat und Dampf. Der Dampf hat ein größeres Volumen und eine sehr viel geringere Dichte als das Kondensat. Angetrieben durch den Differenzdruck zwischen Dampfeintritt und Kondensataustritt strömt der Dampf aus dem TZ in den Dampfkopf und von dort in die Kondensatleitung des TZ. Vergleicht man das Gewicht der Strömung im Abschnitt X so ist das Gemisch aus Kondensat und Dampf leichter. D.h. das spezifische Gewicht des Kondensates wird durch die Verwirbelung mit dem Dampf deutlich verringert. Das hat natürlich auch Auswirkungen auf die Fliehkraft.

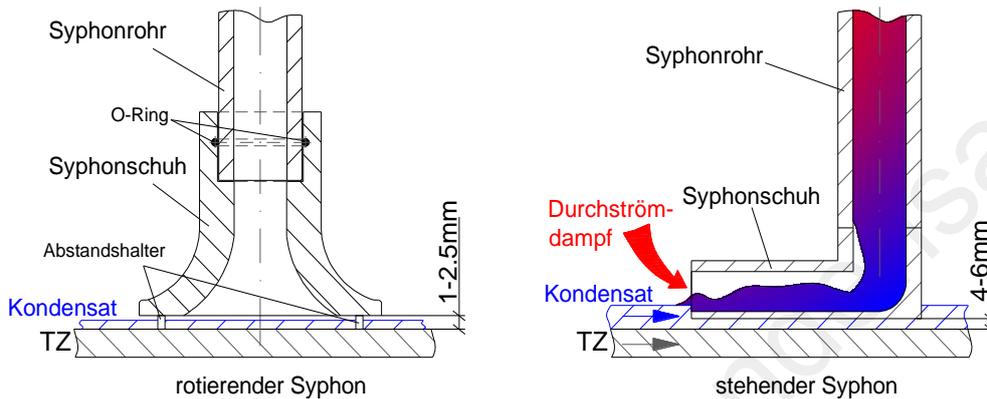


Reduziert sich die Masse (m) in der Formel zur Ermittlung der Fliehkraft so reduziert sich im gleichen Maße auch die Fliehkraft. Durch das reduzierte spezifische Gewicht des Kondensates kann das Kondensat leichter den Weg vom Syphonschuh bis zum Syphonrohr zurücklegen. Die Kraft, welche das Kondensat davon abhalten will, ist geringer. Bei stehenden Syphonen ist dieser Effekt für die Entwässerung notwendig aber nicht bestimmend. Bei den rotierenden Syphonen dagegen ist die Fliehkraftreduzierung durch „Gewichtsreduzierung“ unbedingt erforderlich.

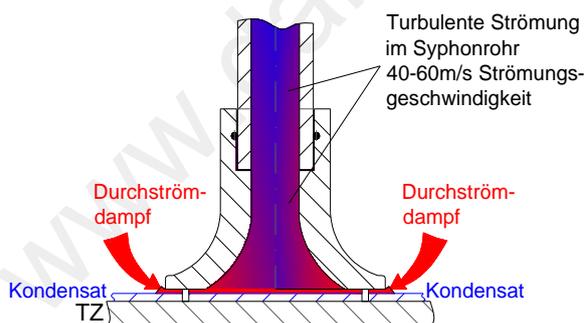
3.4 Der rotierende Syphon

Der rotierende Syphon ist im Trockenzylinder fest montiert. Bei den meisten Typen von rotierenden Syphonen sind diese durch starke Federn im TZ verspannt. Über den detaillierten Aufbau eines stehenden Syphon inkl. Horizontalrohrsystem soll hier aber nicht weiter berichtet werden.

Vereinfachte Darstellung rotierender und stehender Syphon



Ähnlich wie beim stehenden Syphon gibt es in Deutschland drei namhafte Anbieter. Auch hier ist die Physik bei allen gleich und so haben die Syphonschuhe auch eine fast ähnliche Form. Wie beim stehenden Syphon muss beim „Abtransport“ des Kondensates aus dem TZ die Fliehkraft in Folge der Zylinderrotation überwunden werden. Weil sich der rotierende Syphon mit dem Kondensatfilm mitbewegt, entsteht aber keine Anströmkraft. Wir erinnern uns, dass diese Anströmkraft beim stehenden Syphon das Kondensat ganz ohne Differenzdruck den Höhenunterschied bis zum Dampfkopf überwinden lässt. Beim rotierenden Syphon funktioniert dies nicht. Für die Entwässerung des Kondensates aus dem TZ kann einzig und allein der Effekt der Fliehkraftreduzierung durch „Gewichtsreduzierung“ genutzt werden. Dem entsprechend wurde die Form des rotierenden Syphon konstruiert.



Generell fällt auf, dass der rotierende Syphonschuh die Form eines Trichters besitzt. Dieser Trichter hat einen Abstand von ca. 1-2,5 mm bis zum TZ. Anders als beim stehenden Syphon ist hier der Durchströmdampf erwünscht bzw. unbedingt notwendig. Ohne diesen durchströmenden Dampf entsteht keine Verwirbelung unter dem Syphonschuh.

Ohne Verwirbelung kommt es zu keiner Durchmischung und ohne Durchmischung kommt es zu keiner Reduzierung des spezifischen Gewichtes des Kondensates. Kurz:

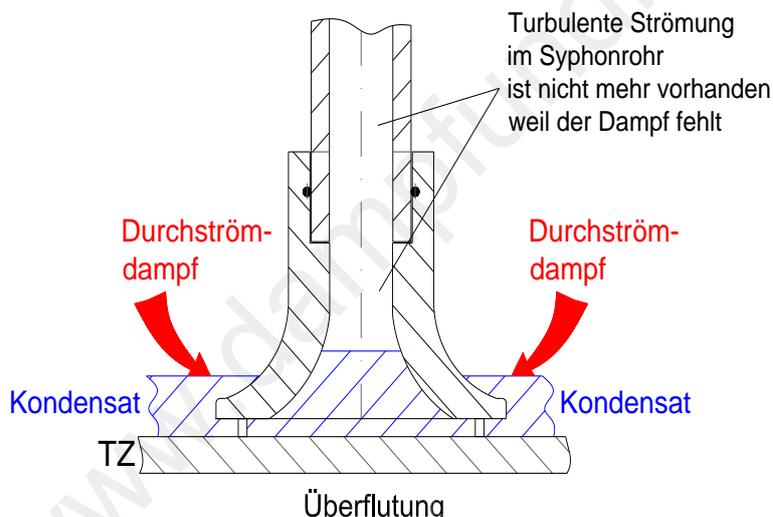
ohne Durchströmdampf - keine Entwässerung

Bei rotierenden Syphonen werden ca. 15% bis 25% der in den TZ einströmenden Dampfmenge als Durchströmdampfmenge genutzt. D.h., werden 1000 kg/h Dampf für die Papier-trocknung benötigt, so muss eine Dampfmenge von ca. 1250 kg/h in den TZ einströmen. Dieser Umstand muss bei der Auslegung der Dampfversorgung sowie auch bei den Kondensatrohrleitungen beachtet werden.

Auf Grund des sehr viel größeren Volumens des Dampfes ist im Syphonrohr eine sehr hohe Strömungsgeschwindigkeit. Angetrieben durch den Differenzdruck zwischen Dampfeintritt und Kondensataustritt am Dampfkopf, quetscht sich der Dampf mit dem Kondensat durch die dünne Rohrleitung. Wie oben beschrieben, ist dies gewollt. Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 40 m/s des Dampf-Kondensatgemisches im Syphonrohr sind normal.

Bei Verringerung des Differenzdruckes in Folge von Problemen mit der Mess- und Regel-technik, durch Fehleinstellung des Bedienpersonals oder auch in Folge Schäden an den Syphonen säuft der TZ ab. Der Syphonschuh überflutet und der Durchströmdampf kann nun nicht mehr durch den Kondensatfilm hindurch unter den Syphonschuh strömen, um dort für die Entwässerung notwendige turbulente Verwirbelung zu sorgen.

3.5 Entwässerungsprobleme



Das sogenannte Absaufen, d.h. das Überfluten der Syphonschuhe auf Grund schlechter Entwässerung der TZ kann bei stehenden als auch bei rotierenden Syphonen gleichermaßen auftreten. Rotierende Syphone sind aber sehr viel häufiger davon betroffen. Bei PM, bei welchen sich die TZ unter Wasserringgeschwindigkeit von ca. 450 m/min drehen, sind die TZ meist mit Schöpfer ausgerüstet. Diese Schöpfer überfluten nicht und benötigen auch keinen Durchströmdampf zur Entwässerung. Über Schöpfer wird noch später berichtet.

Ohne Erfahrungen wird ein Absaufen einzelner TZ nicht bemerkt. Einzelne TZ innerhalb einer größeren TG bzw. Antriebsgruppe werden „mitgeschleift“. Wenn der Dampfkopf dicht ist und kein Kondensat austritt, fällt dieser einzelne überfüllte TZ überhaupt nicht auf.

Entwässern mehrere TZ nicht mehr, so könnte ein erstes Anzeichen für mit Kondensat gefüllte TZ vermehrte Papierbahnabrisse sein. Die gefüllten TZ fangen an zu schwingen und dadurch reißt die Papierbahn immer an ungefähr der gleichen Stelle in der TG. Natürlich geht die Trocknung zurück, weil sich auf Grund des dicken Kondensatfilms im TZ die Trockenfläche verringert. Das Qualitätsleitsystem bemerkt den ansteigenden Feuchtigkeitsgehalt im Papier und würde durch das automatische Anheben der Dampfdrücke darauf reagieren. Dies könnte dem aufmerksamen Werkführer auffallen. Es hat eine Ursache, warum beim gleichen Flächengewicht und der gleichen Produktionsgeschwindigkeit der Dampfdruck plötzlich höher eingestellt werden muss.

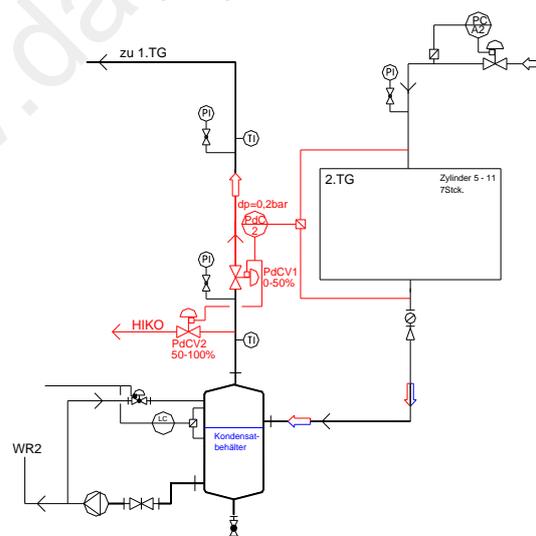
Ursachen für eine schlechte Entwässerung sind:

- Fehler durch das Bedienpersonal

Bei jeder Änderung der Papiermaschinengeschwindigkeit muss bei rotierenden Syphonen auch sofort der Differenzdruck angepasst werden. In Abhängigkeit der einströmenden Dampfmenge ist z.B. bei 500 m/min ein Differenzdruck von ca. 0,5 bar notwendig. Bei 1000m/min sogar ca.1 bar! Bei Verringerung der PM-Geschwindigkeit muss dann natürlich auch wieder der Differenzdruck abgesenkt werden, um den Durchströmdampf zu verringern. Das gleiche gilt auch bei sich ändernden Flächengewichten. Bei kleinem Flächengewicht wird ein niedrigerer Differenzdruck benötigt als bei einem größeren Flächengewicht. Wichtig bei der Einstellung der Drücke am PLS sind die Erfahrungen des Bedienpersonals. Ein zu hoher Differenzdruck kann genauso zu Problemen mit der Entwässerung führen wie ein zu kleiner Druck. Da man die Entwässerung nur im Schauglas der Kondensatleitung beobachten kann, muss der Werkführer ein Gefühl dafür bekommen wie gut oder schlecht die Entwässerung ist. Dazu sollte mindestens einmal täglich das Entwässerungsverhalten der TZ im Schauglas in der Kondensatleitung beobachtet werden. Bei stehenden Syphonen ist ein Anpassen der Differenzdrücke an die Produktion eigentlich nicht notwendig.

- Fehler durch Mess- und Regeltechnik

Sind die Differenzdrücke richtig eingestellt und auch tatsächlich vorhanden?



Wie oben beschrieben, müssen bei rotierenden Syphonen die Differenzdrücke der Papiermaschinengeschwindigkeit angepasst werden. Bei stehenden und rotierenden Syphonen sollte der am PLS eingestellte Differenzdruck zwischen der Dampfseite und der Kondensatseite tatsächlich auch vorhanden sein und das am besten bei jeder Produktion und bei jedem noch so schwierigem Betriebszustand. Kurzzeitige Schwankungen können aber vorkommen. Bei Problemen und deren Ursachenforschung müsste ein Mitarbeiter der MSR-Werkstatt die Messung, d.h. den Drucktransmitter und die Druckabnahmen sowie die Ventilstellung der Differenzdruckregelventile überprüfen. Oftmals stimmt die Messung - aber der Stellungsregler hat auf Grund von Überhitzung und Feuchtigkeit oder auch von Öl und Dreck in der Steuerluft ein Problem. Bei schlechtem Wartungszustand können auch die Rohrleitungen zwischen Druckabnahme bis zum Drucktransmitter durch Rostpartikel verstopft sein. Stimmt die Ventilstellung vor Ort mit der Anzeige im PLS überein?

- Probleme durch schlechte Instandhaltung

Schlechte Instandhaltung der Dampfköpfe, Syphonschuhe und des Horizontalrohrsystem sind sehr häufig die Ursache für Probleme mit der Entwässerung. Dabei sind die Dampfköpfe für stehende Syphone sowie die stehenden Syphone mit Horizontalrohrsystem am wenigsten wartungsintensiv.

3.6 Instandhaltung von stehenden und rotierenden Syphonen

Stehende Syphone:

Die Dampfköpfe von stehenden Syphonen sind eigentlich unverwüstlich. Wenn man nicht mit dem Gabelstapler dagegen fährt, sind diese Dichtköpfe nicht kaputt zu bekommen. Nach den Erfahrungen des Verfassers genügt es, bei neuen Dampfköpfen erstmals nach 5 Jahren den Verschleiß zu überprüfen. Anders als bei rotierenden Syphonen muss der Dampfkopf dazu nicht zerlegt werden. Den Verschleiß der Dichtungskohlen kann man auch von außen erkennen. Was überprüft werden muss ist in den Betriebs- und Wartungsanleitungen zu lesen.

Alle zwei Jahre sollten die Syphonschuhe einer Sichtkontrolle unterzogen werden. Dies kann man auch mit der TZ-Innenkontrolle durch den TÜV verbinden, welche alle 5 Jahre durchgeführt wird. Kontrolliert wird dabei, ob der Syphonschuh an der Unterseite abgeschliffen ist, weil dieser auf Grund von Schwingungen den TZ berührt. Mannloch öffnen, Kopf hineinstecken und Syphonschuh ableuchten, fertig.

Syphonschuhe aus Metall oder Teflon?

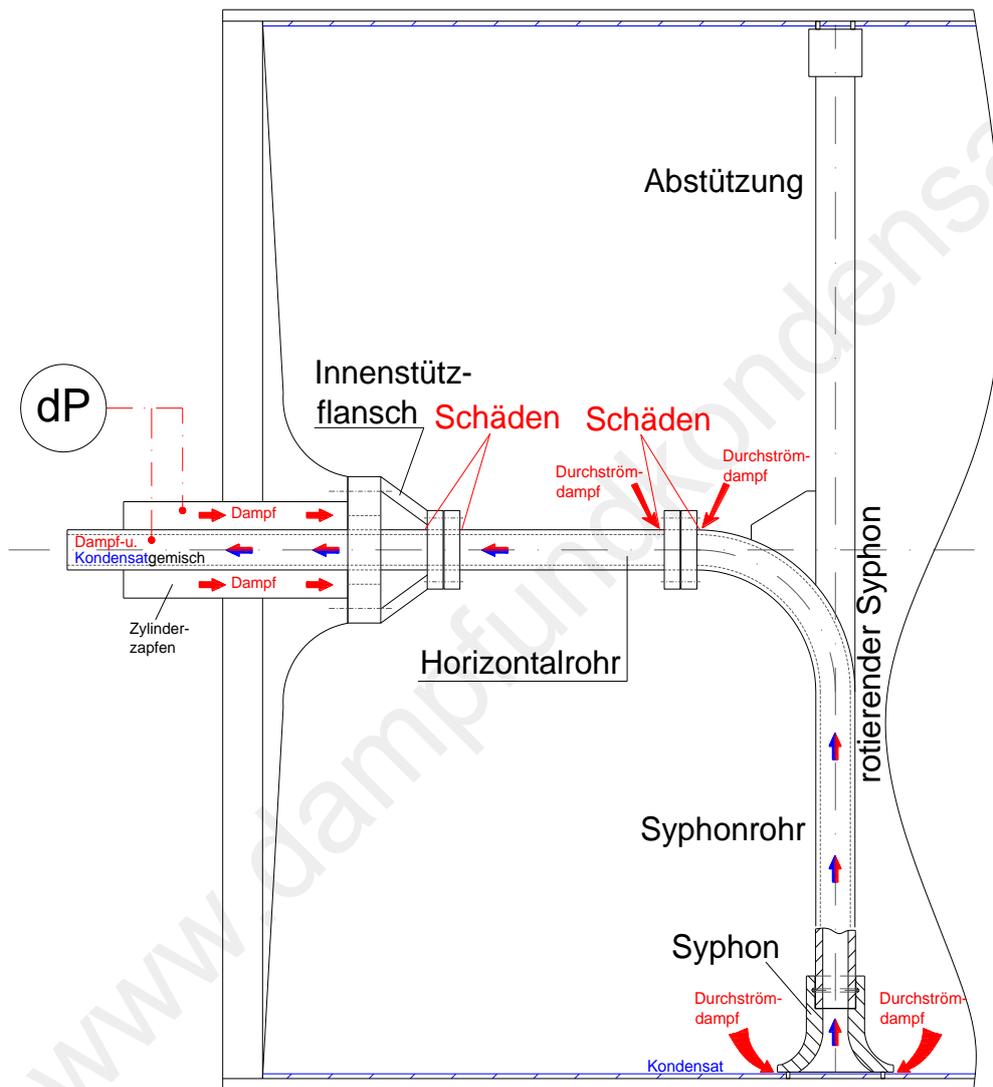
Das Entwässern des TZ erfolgt durch einen Syphonschuh aus Metall genauso gut wie durch einen Syphonschuh aus Teflon. Problematisch ist aber das Berühren der Syphonschuhe mit der Innenseite des TZ in Folge von Schwingungen. Obwohl der Syphonschuh auf Grund des eingestellten Abstandes eigentlich nicht den TZ berühren kann und das ganze Gebilde doch recht steif und fest erscheint, kommt es doch zu diesem Phänomen. Syphonschuhe aus Teflon sind nach den Erfahrungen des Verfassers deshalb generell besser. Diese lassen sich auch preisgünstig, dem Original vom Lieferanten entsprechend, von jeder CNC-Werkstatt nachbauen.

Ein Verkäufer, welcher seinen Syphonschuh als unberührbar anpreist, kann dies im Voraus nicht wissen. Wie auch, durch „Handauflegen“ sind die Schwingungen, welche zur Eigenerregung führen, nicht messbar. Erst nach einer längeren Laufzeit kann dies tatsächlich festgestellt werden.

Bei Teflonschuhen entstehen nur geringe Abriebspuren im TZ. Verloren gegangene Schrauben von im TZ montierten Störleisten verursachen aber größere Schäden am Syphonschuh.

Rotierende Syphone:

Rotierende Syphone und von Stangen getragene Dampfköpfe bedürfen einer regelmäßigen Wartung. Bei jedem routinemäßigen Stillstand sollten einige Dampfköpfe hinsichtlich gebrochener oder abgeriebener Dichtungskohlen kontrolliert werden. Der zeitliche Aufwand hierfür ist gering. Wie oben beschrieben, benötigen rotierende Syphone eine größere Menge an Durchströmdampf. Das Dampf- und Kondensatgemisch strömt mit hoher Geschwindigkeit durch das Syphonrohr und gelangt durch das Horizontalrohr zum Dampfkopf. Auf Grund der hohen Strömungsgeschwindigkeit des Dampf- und Kondensatgemisches entstehen im Horizontalrohr Auswaschungen.

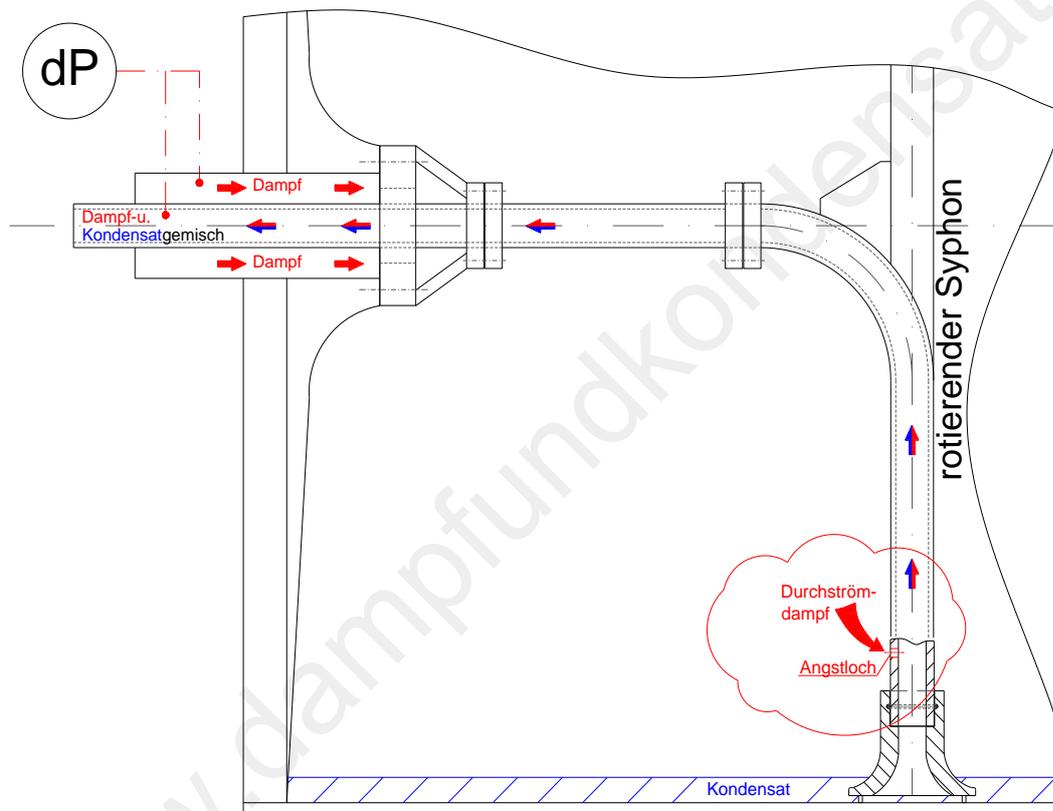


Die Rohrleitung wird von innen ausgewaschen. Besonders in Strömungsrichtung hinter den Schweißnähten der Rohrleitungsflansche entstehen diese Auswaschungen. Durch diese Auswaschungen verringert sich die Wandstärke der Rohrleitung. Von außen wird dies erst bemerkt, wenn sich winzige Löcher bilden. Nur mit Erfahrungen kann man in diesem Stadium die Materialschwächung bei einer Sichtkontrolle überhaupt feststellen. Die Löcher werden immer größer und irgendwann kann dann auch das Horizontalrohr durchbrechen und der Syphon fällt in den TZ. Sobald diese Löcher entstehen, entstehen auch Probleme mit

dem Differenzdruck. Der Dampf strömt dann auf Grund des Differenzdruckes nicht mehr als Durchströmdampf durch den Syphonschuh, sondern nimmt den direkten Weg durch die Löcher im Horizontalrohr. Aber, wie oben beschrieben: ohne Durchströmdampf kein Kondensattransport. Sind die Schäden groß genug, kann man den Differenzdruck erhöhen wie man will, das Kondensat fließt erst wieder aus dem TZ wenn dieser halb voll ist.

3.7 Das „Angstloch“ bei rotierenden Syphonen:

Die stehenden Syphone sind kurz über dem Syphonschuh mit einer Bohrung versehen. Diese Bohrung wird auch als „Angstloch“ bezeichnet. Ist die Überflutung des Syphonschuhs noch nicht ganz so stark bzw. noch nicht zu hoch, so besteht die Möglichkeit, mit Hilfe dieser Bohrung und einer moderaten Erhöhung des Differenzdruckes die Entwässerung wieder zum Laufen zu bringen. Die Anordnung und die Größe dieser Bohrung sind von Lieferant zu Lieferant unterschiedlich.



Wie funktioniert das Angstloch?

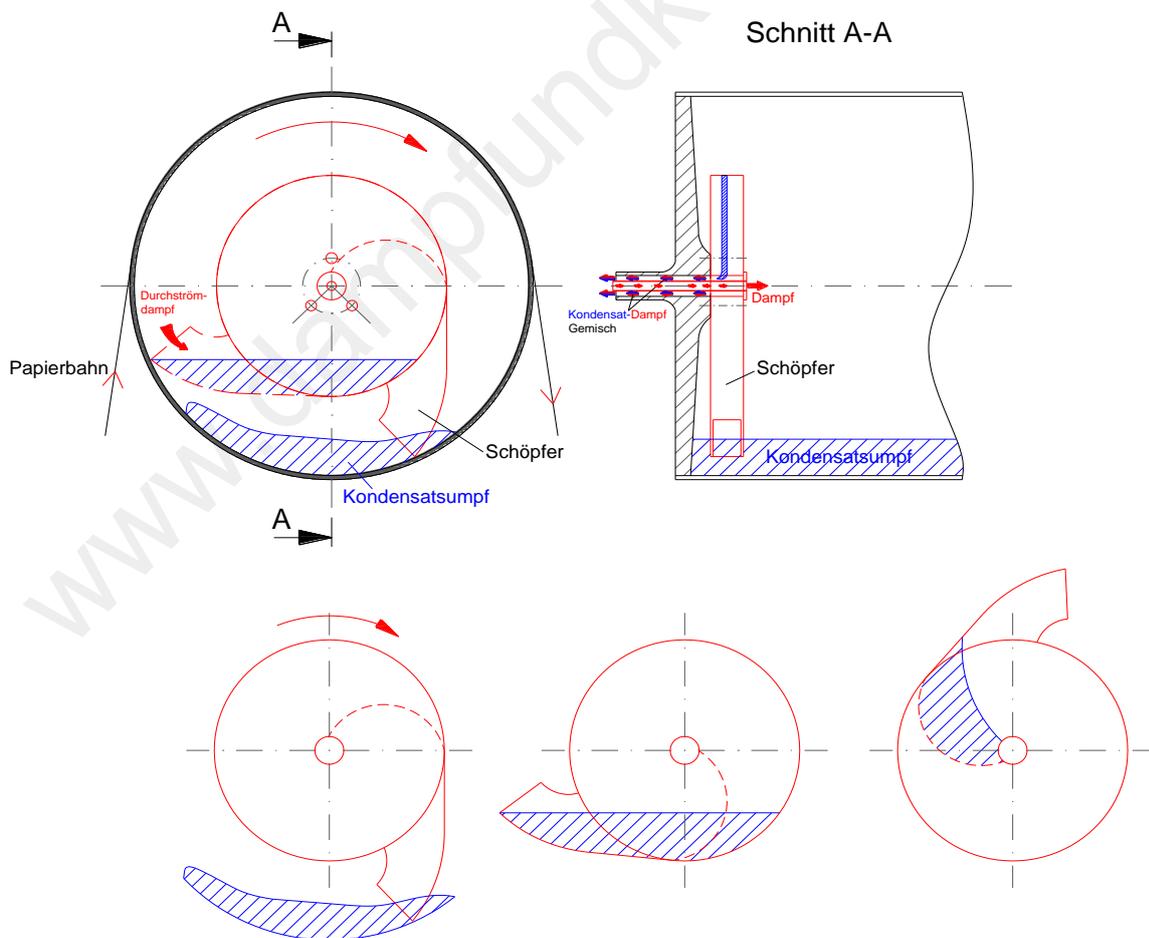
Bei Überflutung kann der für die Verwirbelung notwendige Durchströmdampf nicht mehr unter den Syphonschuh hindurch strömen. Auf Grund des Differenzdruckes strömt der Dampf aber noch durch das Angstloch. Dadurch wird Kondensat im Syphonrohr verwirbelt und mitgerissen. Ein erfahrener Papiermacher kann so wieder eine Entwässerung des TZ erreichen. Ist die Überflutung zurückgegangen, strömt der Dampf wieder unter den Syphonschuh hindurch und die normale Entwässerung beginnt wieder.

3.8 Der Schöpfer

Früher wurden die Papiermaschinen mit einer geringeren Geschwindigkeit betrieben. Die Technik war einfach noch nicht soweit, eine dem heutigen Stand entsprechende mechanische Entwässerung zu erhalten. Um die gewünschte Trocknung des Papiers in der Trockengruppe dennoch zu erreichen, musste deshalb der Kontakt zwischen Papier und TZ lang aufrecht erhalten bleiben. Und natürlich waren auch die Antriebe der TZ bzw. aller sich drehenden Teile einer PM technisch noch nicht so ausgereift. An einigen PM sind heute noch Transmissionswellen bzw. Antriebe mit Hilfe von großen Zahnrädern zu besichtigen. Und dann gibt es auch PM, bei welchen auf Grund des großen Flächengewichtes es technologisch nicht möglich ist, eine große PM-Geschwindigkeit zu fahren. Das sind die Kartonmaschinen (KM). Eine KM, welche z.B. Karton für Bierdeckel produziert, hat eine Geschwindigkeit von ca. 50 m/min. Der langsameren PM-Geschwindigkeit entsprechend, wurden Entwässerungssysteme entwickelt. Diese Entwässerungssysteme werden Schöpfer oder auch Schöpfersyphone genannt.

Wie im Abschnitt zu den Syphonen beschrieben, bildet sich ein Wasserring im TZ erst ab einer PM-Geschwindigkeit von ca. 500 m/min aus. Ab dieser Geschwindigkeit wird das Kondensat durch die Fliehkraft gleichmäßig an die Zylinderinnenwand gepresst (siehe Abschnitt oben). Unter einer Geschwindigkeit von 500 m/min entsteht ein Kondensatsumpf. Bei Geschwindigkeiten von deutlich unter 500 m/min kommen Schöpfer zum Einsatz.

Vereinfachte Darstellung Aufbau und Wirkungsweise eines Schöpfers



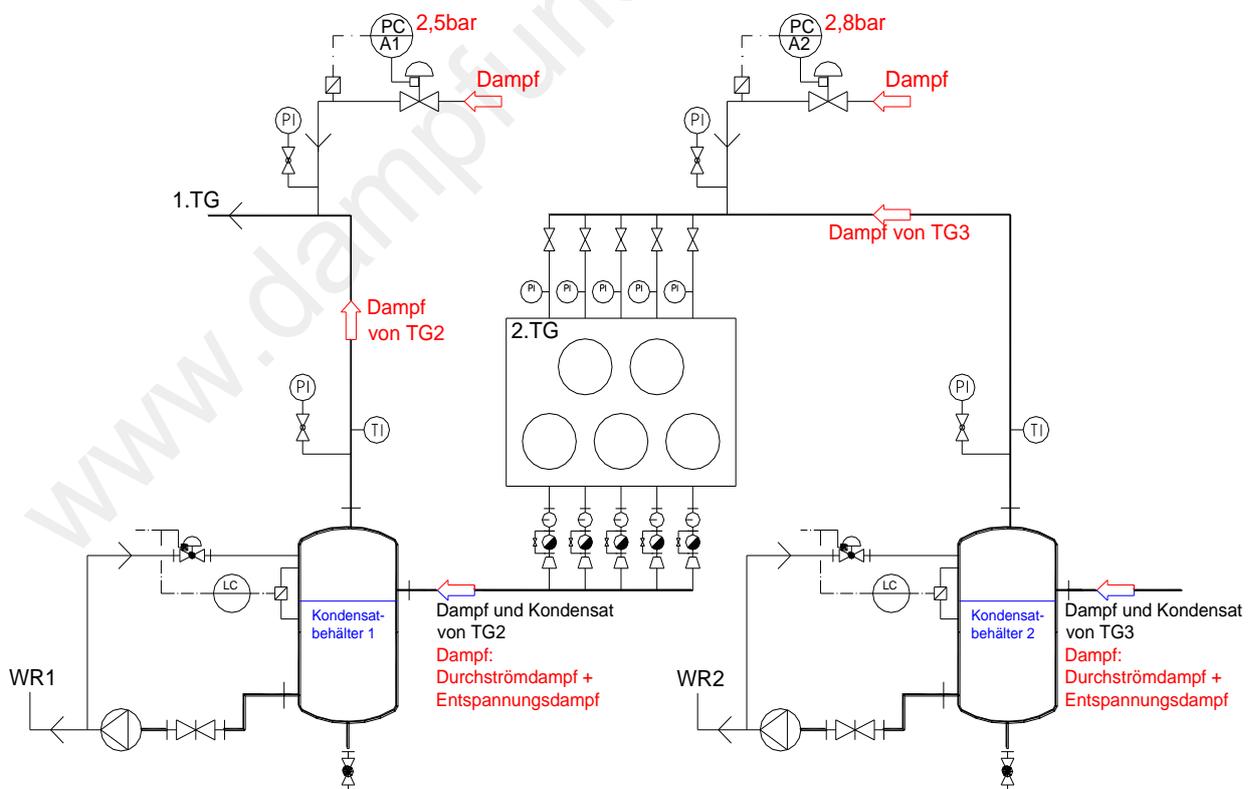
Aufbau und Funktionsweise

Zum Aufbau eines Schöpfers gibt es nicht viel zu erklären. Entweder sind die Schöpfer aus Stahlguss hergestellt oder aus einer Blechkonstruktion. Die Schöpfer sind mit großen Schrauben am Zylinderdeckel verschraubt. Zum Transport durch das Mannloch des TZ sind die Schöpfer zu groß. Will man die TZ auf modernere Syphone umrüsten, so werden die Schöpfer meistens im TZ demontiert und zerschnitten. Mit dieser Maßnahme reduziert sich die Masse, welche der TZ mit bewegen muss. Das Zerschneiden wird mit der großen Flex oder dem Plasmabrenner durchgeführt. Eine echte „Sklavenarbeit“, welche pro TZ ca. 4-6 Stunden dauern kann. Der TZ muss in dieser Zeit gut belüftet werden.

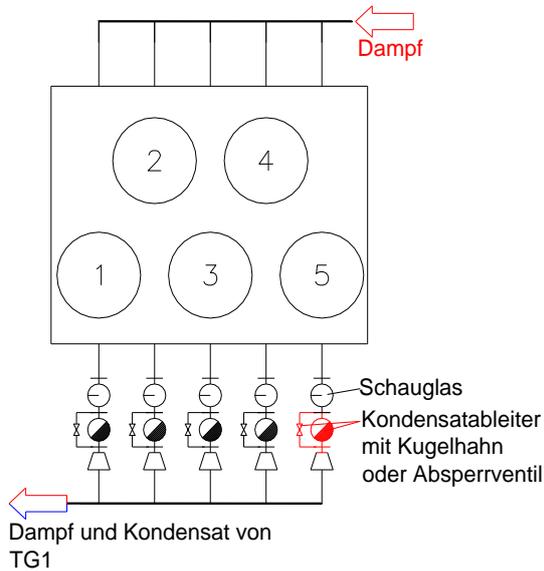
Die Funktionsweise erklärt sich von allein: Das Kondensat wird durch die Drehbewegung vom Schöpfer aufgenommen und strömt durch das Horizontalrohr zum Dampfkopf. Die Entwässerung erfolgt rein mechanisch ohne jede strömungstechnische Raffinesse wie beim stehenden oder rotierenden Syphon. Auf Grund der Konstruktion des Schöpfers mit der großen Öffnung zur Kondensataufnahme und dem unterschiedlichen Beheizungsdruck zwischen den Trockengruppen strömt zwangsläufig auch Dampf durch die gleiche Öffnung. Wie schon oben beschrieben, wird dieser Dampf nicht zur Entwässerung benötigt. Um diesen Durchströmdampf zu begrenzen, werden die mit Schöpfer ausgerüsteten TZ auf der Kondensatseite oftmals mit einem Kondensatableiter ausgerüstet.

Beim Schöpfer wird zur Entwässerung kein Differenzdruck zwischen Dampfeintritt und Kondensataustritt des TZ benötigt.

Die Schöpfer sind unverwüstlich. Ein Absaufen eines TZ, welcher mit einem Schöpfer ausgerüstet ist, funktioniert nur, wenn der Kondensatablauf am Dampfkopf unterbunden wird, oder sich der TZ (zu schnell) mit Wasserringgeschwindigkeit dreht.

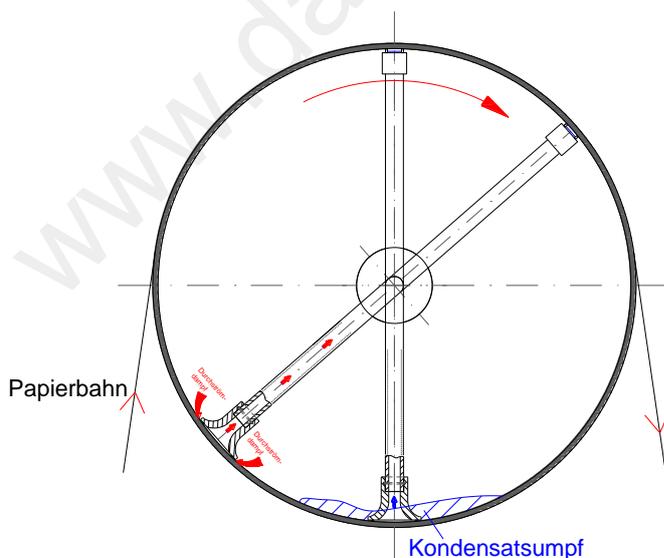


Manchmal werden auch kleine druck- und temperaturbeständige Kugelhähne als Umführung für die Kondensatableiter montiert. Mit Hilfe dieser Armaturen lässt sich eine geringe „Schlupfdampfmenge“ einstellen. Dies soll die Entlüftung der TZ beschleunigen und auch die Entwässerung verbessern.



3.9 Der moderne Schöpfer-Syphon

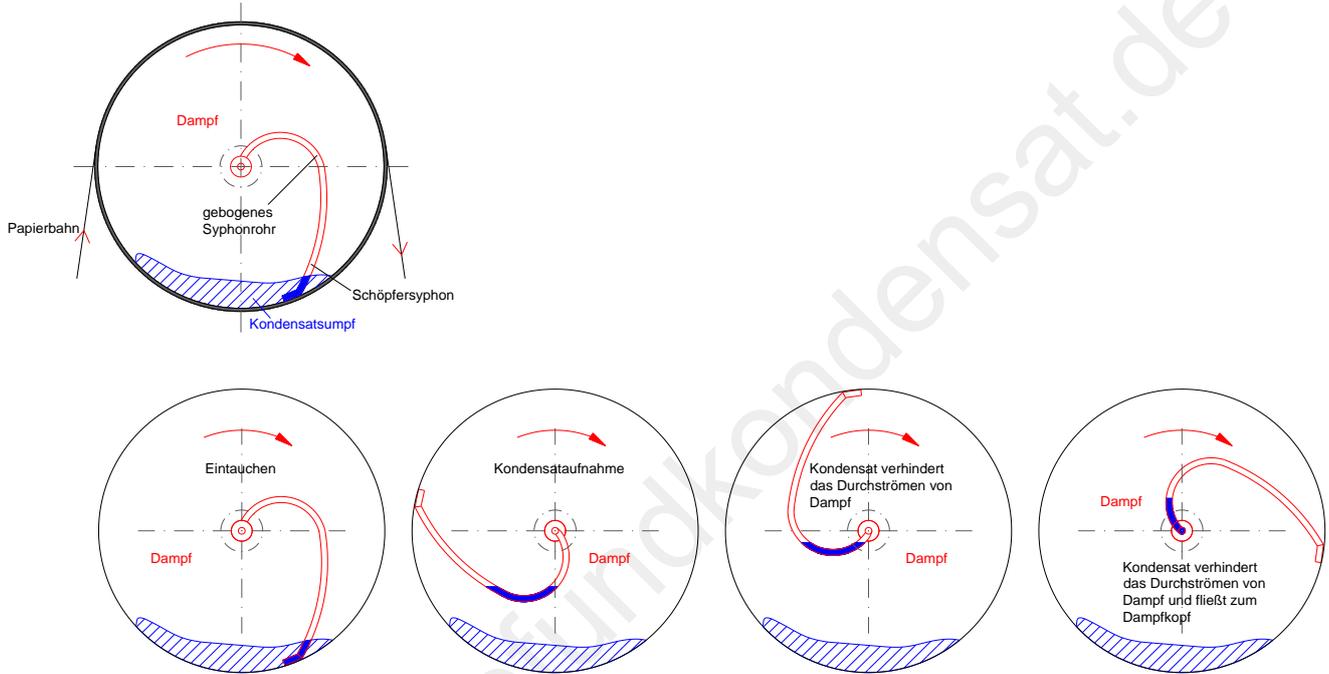
Wie oben beschrieben, gibt es PM - besser KM (Kartonmaschinen), bei welchen auf Grund des großen Flächengewichtes es technologisch nicht möglich ist, eine große Geschwindigkeit zu fahren. Rotierende Syphone könnten man bei diesen KM auch verwenden. Problematisch ist aber der in größeren Mengen anfallende Durchströmdampf. Warum? Weil sich der TZ weit unterhalb der Wasserringgeschwindigkeit dreht. Es bildet sich ein Kondensatsumpf. Taucht der rotierende Syphon in diesen Sumpf ein, beginnt sofort die Entwässerung. Befindet sich der Syphonschuh aber auf Grund der Drehbewegung außerhalb des Sumpfes, kann nur noch Dampf strömen.



Auch einen stehenden Syphon könnte man verwenden. Durch die geringe Drehgeschwindigkeit des TZ wäre aber der Effekt, dass das Kondensat ganz ohne Differenzdruck zum Dampfkopf strömt, nicht mehr vorhanden. Man müsste mit einem Differenzdruck von 0,3 bar bis 0,5 bar nachhelfen. Die Investition in einen Dampfkopf mit stehendem Syphon wäre verkehrt.

Also hat man einen Schöpfer konstruiert, der das Kondensat ohne Differenzdruck abschöpft und auch das Durchströmen von Dampf unterbindet.

Vereinfachte Darstellung: Der Weg des Kondensates zum Dampfkopf



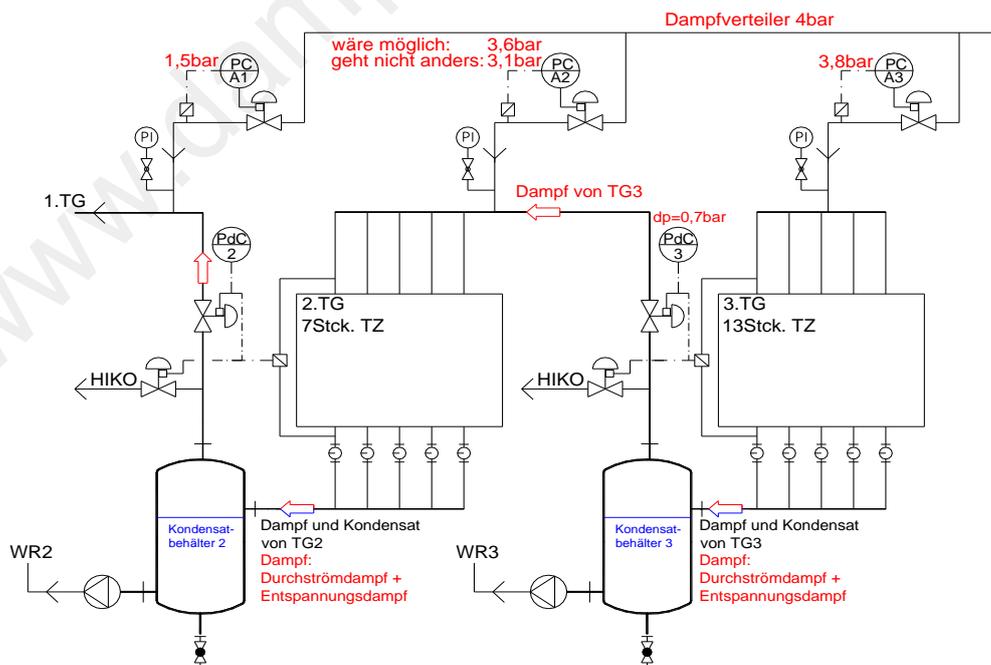
Der Schöpfersyphon ist mit einem gebogenen Syphonrohr ausgerüstet. Nachdem Kondensat aufgenommen wurde, fließt das Kondensat durch dieses gebogene Rohr und verschließt das Rohr bis zum Wiedereintauchen. Nur die Dampfmenge, welche sich im Moment des Eintauchens in dem Kondensatsumpf im Syphonrohr befindet, kann zum Dampfkopf strömen.

Nachwort zu den Entwässerungssystemen

Nach der mechanischen Entwässerung in der Sieb- und Pressenpartie beginnt am TZ1 die Trocknung des Papiers mit dem Beheizen der Trockenzylinder mit Dampf. Wichtig für die Produktion ist es, dass das Entwässerungssystem in den TZ auch auf die Geschwindigkeit und den Dampfbedarf abgestimmt ist. Was nutzt es, wenn durch teure Investitionen in moderne Technik eine hohe mechanische Entwässerung erreicht wird, und dann die Trockenpartie auf Grund von schlechter Entwässerungsleistung und somit schlechter Trocknung wie ein Bremsklotz wirkt. Kondensat im TZ ist eine Produktionsbremse.

Der theoretische Dampfbedarf einer Trockenpartie wird thermodynamisch durch den Wärmeübergang vom TZ an das Papier bestimmt. Nach der einfachen Formel $Q_{zu} = Q_{ab}$ lässt sich die Dampfmenge ähnlich einem Wärmetauscher bestimmen (*Wie im Kapitel zu Wärmetauscher beschrieben, ist der Wärmeübergang aber komplizierter.*). In dieser einfachen Formel sind die Verluste beim Wärmeübergang nicht berücksichtigt. Wie hoch diese Verluste sind und somit auch ein Anstieg des tatsächlichen Dampfbedarfes, kann der Produktionsleiter beeinflussen. Auch durch eine regelmäßige Instandhaltung der Dampfköpfe und des Entwässerungssystems lässt sich der Dampfverbrauch für die Trocknung auf ein unbedingt notwendiges Maß reduzieren.

Durch ein für die Produktion verkehrt ausgelegtes, defektes oder veraltetes Entwässerungssystem kann Trockenfläche verschenkt werden. Worin besteht der Zusammenhang zwischen der Trockenfläche der TZ und dem Entwässerungssystem? Die Frage kann leicht beantwortet werden. Je nach verwendetem Entwässerungssystem wird mehr oder weniger Differenzdruck für die Entwässerung der TZ benötigt. Den Differenzdruck zwischen den TG möglichst gering zu halten, kann aber zur Steigerung der Produktion führen. Man stelle sich die Situation vor, dass aus technologischer Sicht ein maximaler Dampfdruck in der 3.TG von 3,8 bar notwendig ist und in der 2.TG ein Dampfdruck von 3,6bar. Dabei wäre der niedrigere Dampfdruck in der 2.TG nur erforderlich, um den Durchström- und Entspannungsdampf von der 3.TG in die 2.TG strömen zu lassen (*siehe auch Seite 3 dieses Kapitel, oder Kapitel zu Kaskadensystem*). Nun sind aber bei 850 m/min Maschinengeschwindigkeit rotierende Syphone im Einsatz, welche bei dieser Geschwindigkeit einen Differenzdruck von ca. 0,6 bar - 0,7 bar zur Entwässerung benötigen.



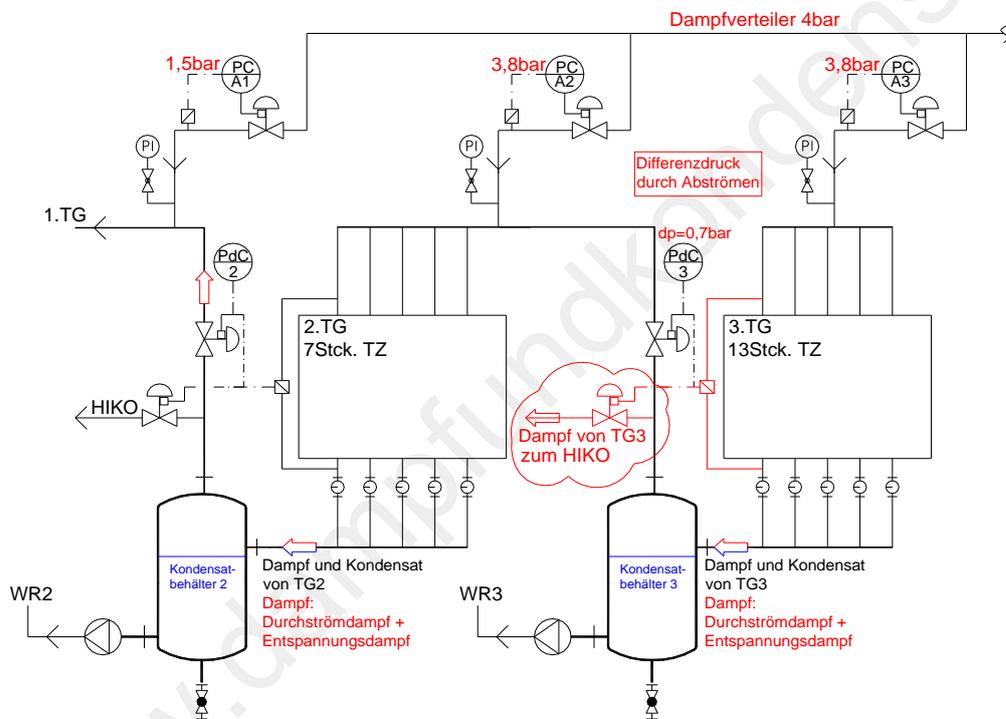
Das würde bedeuten, dass die TZ mehr trocknen könnten, es aber dennoch nicht dürfen, weil die Einhaltung des Differenzdruckes für die Syphone in der 3.TG den Dampfdruck in der 2.TG bestimmt. Somit wird die eigentlich vorhandene Trockenfläche oder besser gesagt die vorhandene Trockenkapazität nicht genutzt.

Wenn man bedenkt, dass manche Papierfabriken in Dampfleitungen montierte alte Ringkammernormblenden demontieren, nur um 0,1 bar Dampfdruck mehr zu erreichen und dadurch die Produktion steigern (Druckverlust über die Blende), so steckt in den 0,7 bar verringerten Dampfdruck noch ein sehr viel größeres Potential zur Produktionssteigerung.

Wie kann man den Beheizungsdruck (Dampfdruck) in der 2.TG trotz der montierten rotierenden Syphone auch auf 3,8 bar einstellen, ohne die Entwässerung zu gefährden?

Da gibt es zwei Möglichkeiten:

Differenzdruck halten durch Abströmen zum HIKO = **Energievernichtung**

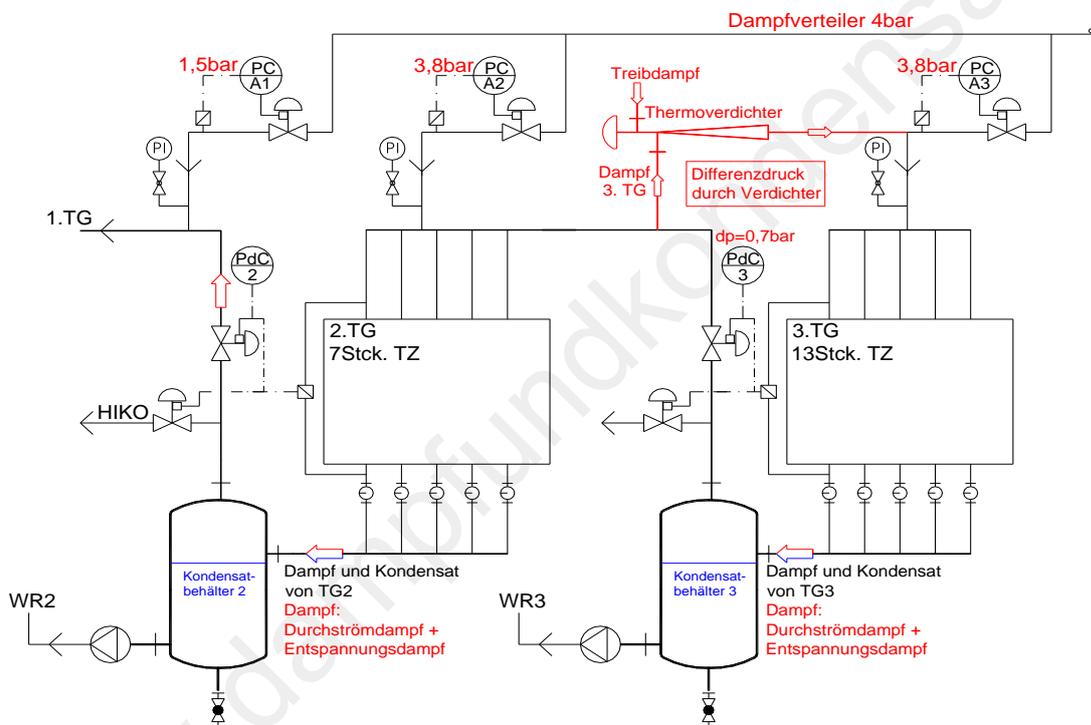


Der Durchström- und Entspannungsdampf, welcher eigentlich sehr gut für die Beheizung der 2.TG genutzt werden könnte, strömt zum HIKO. Dort werden dann größere Mengen an Kühlwasser zur Kondensation des Dampfes benötigt. Einen Teil des dadurch entstehenden warmen Wassers könnte man noch für die eventuell vorhandenen Reinigungssysteme der PM verwenden (Sprühbalken, Cleaner). Wohin aber mit dem anderen warmen Wasser...? (Differenzdruckregelung, Kaskadensystem, HIKO – siehe auch Seite 3... in diesem Kapitel)

Differenzdruck halten durch Einsatz eines Thermoverdichters

Mit dem Einsatz eines Thermoverdichters kann der Durchström- und Entspannungsdampf aus der 3.TG abgesaugt und wieder zur Beheizung der 3 TG genutzt werden. Dies funktioniert aber nur, wenn ein möglichst hoher Treibdampfdruck für den Verdichter zur Verfügung steht. Ansonsten ist die Gemischdampfmenge zu groß. Warum dies so ist, wird im Kapitel zu den Verdichtern beschrieben. Hat man keinen geeigneten Dampf an der PM, kann es sich nach Überprüfung des wirtschaftlichen Nutzens durch den Einsatz eines Thermoverdichters und den damit verbundenen Investitionen lohnen, eine separate Rohrleitung für die Treibdampfmenge vom KW zur PM zu verlegen.

Umgangssprachlich wird der Einsatz eines Thermoverdichters zur Differenzdrucksicherung so beschrieben: „...Die Trockengruppe schwimmt im eigenen Saft...“



4. Wie kann man an einer Papiermaschine Dampf einsparen

Wie soll man an einer Papiermaschine Dampf einsparen? Die Papiertrocknung an einer z.B. fast 100 m langen, 3 Stockwerke hohen PM mit 53 TZ, welche sich mit 1200 m/min drehen, muss man immer als geschlossenes kleines Mikroklima betrachten. Wird an der einen Stelle eine Wärmemenge eingespart, so fehlt diese Wärmemenge an einer anderen Stelle der PM. Die Papiertrocknung an einer PM lässt sich auch mit einem Topf gefüllt mit Wasser vergleichen, welches verdampft werden soll. Zum Verdampfen wird eine bestimmte Wärmemenge benötigt, welche beim gleichen Topf mit der gleichen Menge Wasser auch immer annähernd gleich wäre. Die Menge der zum Verdampfen notwendigen Wärmemenge kann ab einem bestimmten Maß nicht mehr verringert werden. Werden aber Fehler beim Aufwärmen des Topfes gemacht, kann sich die ursprünglich geringe Wärmemenge schnell verdoppeln. Beachtet werden muss, wie dick das Material vom Topf ist, aus welchem Material der Topf besteht und wie die Wärmemenge zum Topf übertragen wird. Eigentlich ganz logisch. Und genauso einfach muss man diese Riesenmaschine PM als kleinen Wärmetauscher betrachten. (siehe hierzu auch ab Teil 2 ab Seite 3 dieses Kapitels)

Energie einzusparen bedeutet, dass ein Teil der Energie, nämlich der eingesparte Teil, nicht mehr benötigt wird. Dieser Teil des eingesparten Dampfes strömt nicht in die Trockenzyylinder und stellt dann dort fest, dass er ja eigentlich gar nicht mehr benötigt wird, sondern er bleibt gleich im Kraftwerk im Abhitzekeessel und wartet auf neue Aufgaben.

Generell kann man an einer Papiermaschine nur die Energie einsparen, welche auch tatsächlich übrig ist. Oder anders formuliert und um es auf das Dampf- und Kondensatsystem zu begrenzen, es kann nur der Dampf eingespart werden, welcher z.B. auf Grund von Fehlern im Aufbau des D/K-Systems oder auch auf Grund von schlechter Instandhaltung der Entwässerungssysteme zu viel benötigt wird.

Im Vorwort zum Kapitel über die Papiermaschinen wurde beschrieben, dass eine Tonne Dampf im Durchschnitt 20-25 Euro kostet (Tendenz: weiter stark steigend). Bei ca. 8200 Betriebsstunden pro Jahr müssen für den Dampfbedarf von 100 t/h

ca. 16.400.000 Euro bis 20.500.000 Euro aufgewendet werden.

Die Einsparung von einer Tonne Dampf pro Stunde führt demnach zu einer Einsparung von 164.000 bis 205.000 Euro im Jahr. Mit diesem Betrag lässt sich ein kleineres Dampf- und Kondensatsystem umbauen. Zunächst wäre es notwendig, eine einfache Energiebilanz für die gesamte PM inkl. aller Nebengewerke, welche beheizt werden müssen, zu erstellen. Ein Schema oder Blockschaltbild, welches die Verschaltung der einzelnen Geräte, Anlagenteile usw. darstellt gehört dazu. Dadurch verschafft man sich einen Überblick über alle Verbraucher. Wie man das machen könnte, wird im Kapitel zu Energieaudit beschrieben.

4.1 Die sinnvolle Nutzung des Durchström- und Entspannungsdampfes

Da im vorhergehenden Abschnitt zu den Entwässerungssystemen über Durchström- und Entspannungsdampf berichtet wurde, soll es mit diesen beiden „Dampfsorten“ hier gleich weitergehen (Sorten von Dampf - siehe auch Kapitel Dampf und Druck).

Wie oben beschrieben, kann der Durchström- und Entspannungsdampf nicht verhindert werden. Dieser Dampf entsteht zwangsläufig durch die Entwässerung der Syphone bzw. durch Druckreduzierungen (Entspannungsdampf durch Druckreduzierung – siehe Kapitel zu Entspannungsdampf). Man kann ihn nicht verhindern, aber man sollte diesen Dampf technisch sinnvoll im Prozess der Beheizung von Anlagenteilen wieder verwenden.

Zur technisch sinnvollen Verwendung an einer PM gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Verwendung des Dampfes zur Beheizung von TG mit niedrigem Beheizungsdruck
- Beheizung von Nebenverbrauchern, wie z.B. Hallenheizung
- Erzeugen von warmem Wasser für Reinigungssysteme, oder auch zum Beheizen von z.B. Siebwasser und Verdünnungswasser der Stärkeanlage.

In der Beheizung der Nebenverbraucher, wie z.B. Stärkeanlage oder Siebwasser, oder im Erwärmen von Wasser für Reinigungszwecke liegt Dampfeinsparpotenzial. Wenn es gelingt, den Einsatz von Dampf direkt vom Hauptdampfverteiler durch Durchström- und Entspannungsdampf oder auch durch Kondensat zu ersetzen, lassen sich Kosten sparen. Gerade für den „Nichtspezialisten“ eröffnet sich ein breites Betätigungsfeld, weil man sich an Änderungen der Beheizung der TZ der PM und der Luftanlage meist nicht herantraut. Das schwierig erscheinende Problem der Energieeinsparung reduziert sich auf die einfache Auslegung und Montage von Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung, gepaart mit einfachen Druck- und Temperaturregelkreisen. Nur eine gute Idee müsste man haben...

Im Folgenden werden nur zwei Beispiele der Nutzung von Dampf beschrieben, welcher auf Grund des niedrigen Druckes und dementsprechend der niedrigen Temperatur nicht mehr zur Beheizung der Trockenzylinder verwendet werden kann.

4.2. Beheizung einer TG mit Durchströmdampf in einem Kaskadensystem

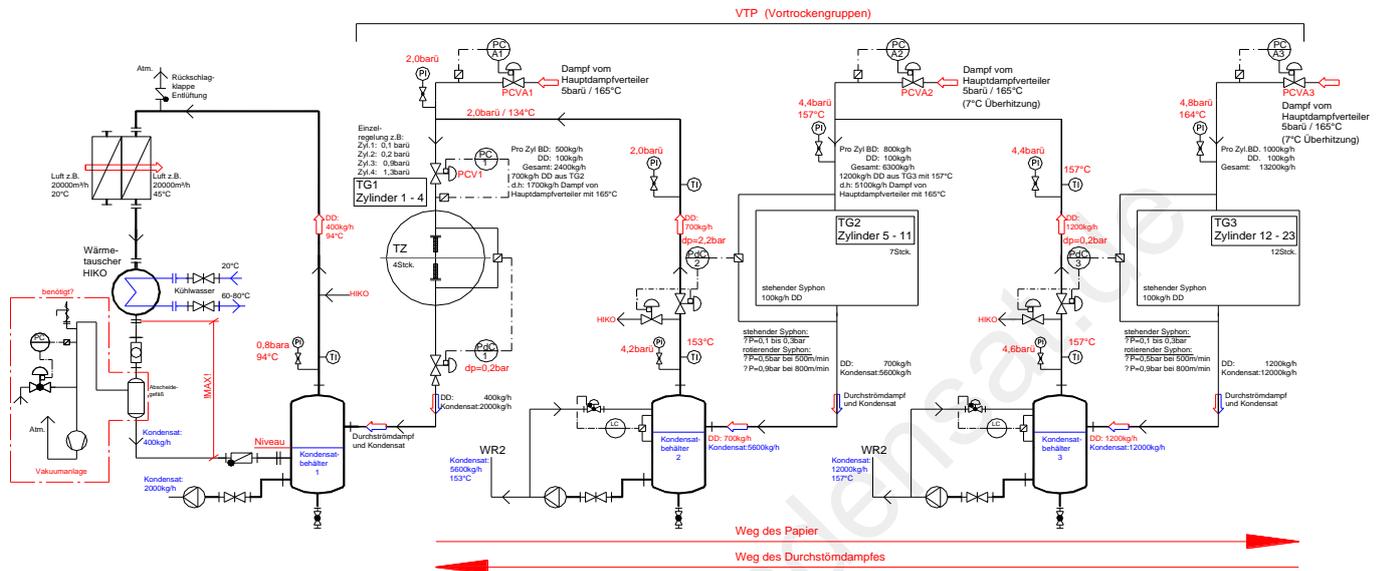
Um Anlagenteile oder auch eine Trockengruppe mit Durchström- (DD) und Entspannungsdampf (ED) beheizen zu können, muss man wissen, wo sich dieser in größeren, verwertbaren Mengen ansammelt. Was Durchströmdampf ist, wurde im Abschnitt zu den Entwässerungssystemen beschrieben und wie und wo Entspannungsdampf entsteht im Kapitel zu Entspannungsdampf. Generell sammeln sich nutzbare Mengen des Dampfes in allen Kondensatbehältern an. Vermutlich bei fast allen PM und KM wird (sollte) dieser Dampf für die Beheizung der vorangegangenen TG genutzt (werden). Diese TG ist auf Grund des für die Entwässerungssysteme erforderlichen Differenzdruckes (ΔP) niedriger beheizt. Im Abschnitt zu Kaskadensystemen auf Seite 3 bis 4 in diesem Kapitel wurden diese Druckverhältnisse bereits beschrieben.

In der Abbildung unten ist die Vortrockenpartie eine PM mit 23 Stck. Trockenzylindern (TZ) schematisch dargestellt. In den TZ sind als Entwässerungssystem stehende Syphone montiert. Weil stehende Syphone montiert sind, wird zum Entwässern der TZ ein Differenzdruck von ca. 0,2 bar benötigt. Es ist dargestellt, wie der Durchströmdampf (DD) aus der TG3 zur Beheizung der TG2 genutzt wird. Genauso wird auch der DD aus der TG2 zur Beheizung der TG1 verwendet.

In der weiteren Beschreibung wird nur noch die Verwendung von Durchströmdampf erklärt, weil Entspannungsdampf bei der Entwässerung der TZ mit Syphonen nicht entsteht. Die aufgeführten Temperaturen sind nur an den Kondensatbehältern und am Hauptdampfverteiler richtig. Wie auf Seite 6 bis 13 beschrieben, entsprechen die Dampftemperaturen meistens nicht den Dampfdrücken. Die Temperatur, welche sich beim Mischen von DD mit dem Dampf vom Hauptdampfverteiler ergibt, wird auch nicht berücksichtigt. Um es nicht zu verkomplizieren, wird im Weiteren immer davon ausgegangen, dass die Dampftemperatur dem Dampfdruck entspricht (*Abhängigkeit Druck und Temperatur, siehe Kapitel Dampf und Druck*).

Das Schema zeigt die Verwendung des DD, wie es jeder Papiermacher kennen sollte.

Leider ist das Schema zu groß für eine DIN A4 Seite. Deshalb bei Bedarf bitte größer zoomen.



Die angetragenen Dampf- und Kondensatmengen erklären die Verwendung des Durchströmdampfes zur Beheizung der vorangegangenen TG in einem Kaskadensystem.

Kurzbeschreibung zum Weg des Durchströmdampfes:

Die TG3 ist die TG, welche mit dem höchsten Dampfdruck beheizt wird.

TG2 muss im Dampfdruck niedriger beheizt werden, um den für die Entwässerung notwendigen Differenzdruck zwischen TG3 und TG2 aufrecht zu erhalten. Bei stehenden Syphonen ist der Differenzdruck niedriger als bei rotierenden Syphonen (siehe dazu auch Abschnitt Entwässerungssysteme).

In TG1 sind die 4 Stck. TZ mit Einzelregelung ausgerüstet. Diese TZ sind am niedrigsten beheizt, um das Papier schonend auf die weitere Trocknung vorzubereiten (siehe auch ab Seite 7 in diesem Kapitel: Einzelregelung / Anheizkurve). Der Unterschied im Beheizungsdruck zwischen TG2 und TG1 ist deshalb groß.

Bis zur TG1 sollte die Verwendung des bei der Entwässerung zwangsläufig entstehenden Durchströmdampfes (DD) kein Problem sein:

TG3 hat 12 Stck. TZ. Die errechnete Menge für den Beheizungsampf (BD) beträgt 12000kg/h.

TG2 hat 7 Stck. TZ und benötigt eine Dampfmenge von 6300 kg/h. Zunächst werden die 1200 kg/h DD aus der TG3 verwertet. Reicht die Menge nicht mehr zur Beheizung aus, sinkt der Beheizungsdruck. Der Druckregelkreis PCA2 bemerkt das Absinken und das Regelventil PCVA2 öffnet, Dampf strömt in die TG bis der Sollwert wieder erreicht ist (Wie funktioniert ein Regelventil? siehe Kapitel zu Regelventilen, Warum sinkt der Druck? siehe Seite 14).

Die TG1 mit den 4 Stck. einzeln geregelten TZ ist die TG, welche mit dem niedrigsten Dampfdruck beheizt wird. Dies ist technologisch bedingt. In der ersten TG soll die Papierbahn aufgeheizt werden. D.h., das Wasser in der Papierbahn wird erwärmt, damit es am Ende der TG2 und in der TG3 verdampft. Bei Papiersorten mit geringem Flächengewicht wie z.B. Zeitungspapier erfolgt das Beheizen mit Temperaturen unter 100°C. Dazu kommt dann eine Vakuumanlage zum Einsatz (Dampfdruck im Vakuumbereich, weil unter 1,0barabs). Daß trotz Vakuumanlage die gewünschten niedrigen Temperaturen oftmals nicht erreicht werden, kann man in diesem Kapitel auf Seite 6 bis 13 lesen (*Dampftemperaturen und Verwendung einer Vakuumanlage*).

Nun entsteht aber auch in der TG1 Durchströmdampf. Eine TG0, zu welcher dieser Dampf strömen könnte gibt es nicht. Zumal der Druck und die Dampftemperatur im Kondensatbehälter 1 sehr niedrig sind.

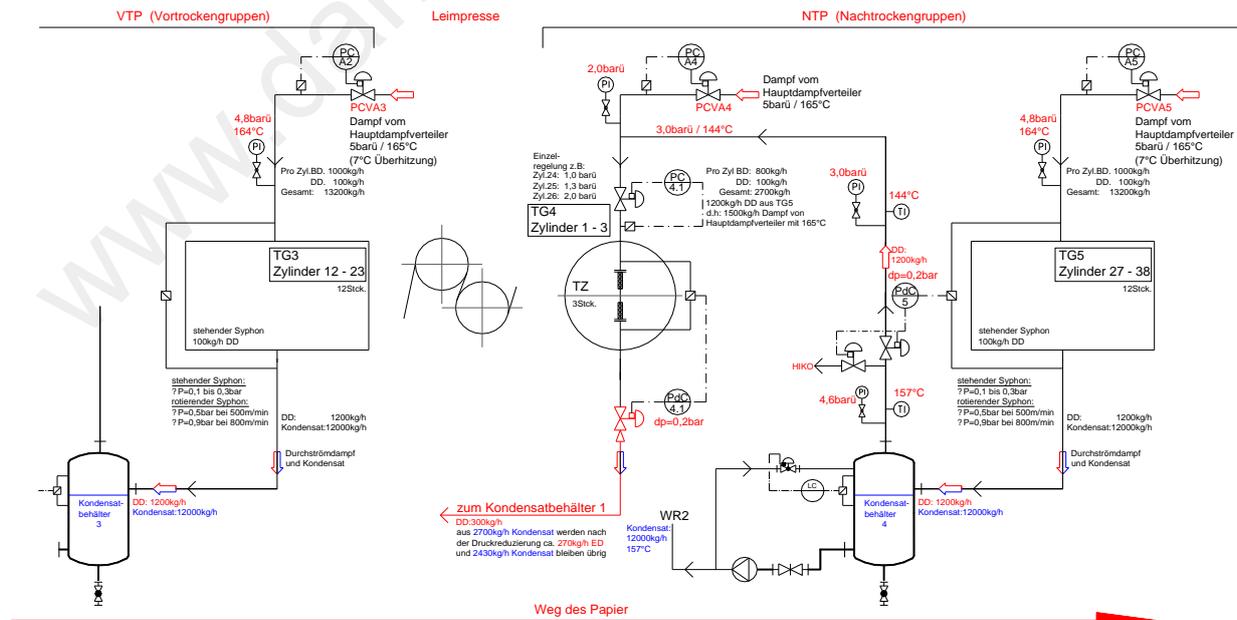
Und ab hier fangen dann die guten Ideen an. Wohin mit den 400 kg/h Durchströmdampf. Dabei ist die Menge an Durchströmdampf bei oben skizzierter PM nicht besonders groß. An vielen PM ist je nach Produktion eine Dampfmenge von 1-2 t/h im Kondensatbehälter 1 ganz normal. An den meisten PM wird dieser Dampf in der Wärmerückgewinnung der Luftanlage verwendet. Dazu aber später mehr.

Dabei sammelt sich im Kondensatbehälter 1 nicht nur der Durchströmdampf, sondern auch der bisher vernachlässigte Entspannungsdampf. Wo dieser Dampf so plötzlich herkommt, wird gleich beschrieben.

Der Kondensatbehälter 1 ist der Behälter mit dem niedrigsten Druck in der Dampf- und Kondensatanlage. Je nach Aufbau des Dampf- und Kondensatsystems können in diesen Behälter auch noch andere TZ, welche mit niedrigem Dampfdruck beheizt werden, entwässern. An einer PM sind dies, wie schon beschrieben, die TG1 der VTP aber eventuell auch die ersten TZ aus der NTP.

Warum werden die ersten TZ der NTP mit geringem Dampfdruck beheizt?

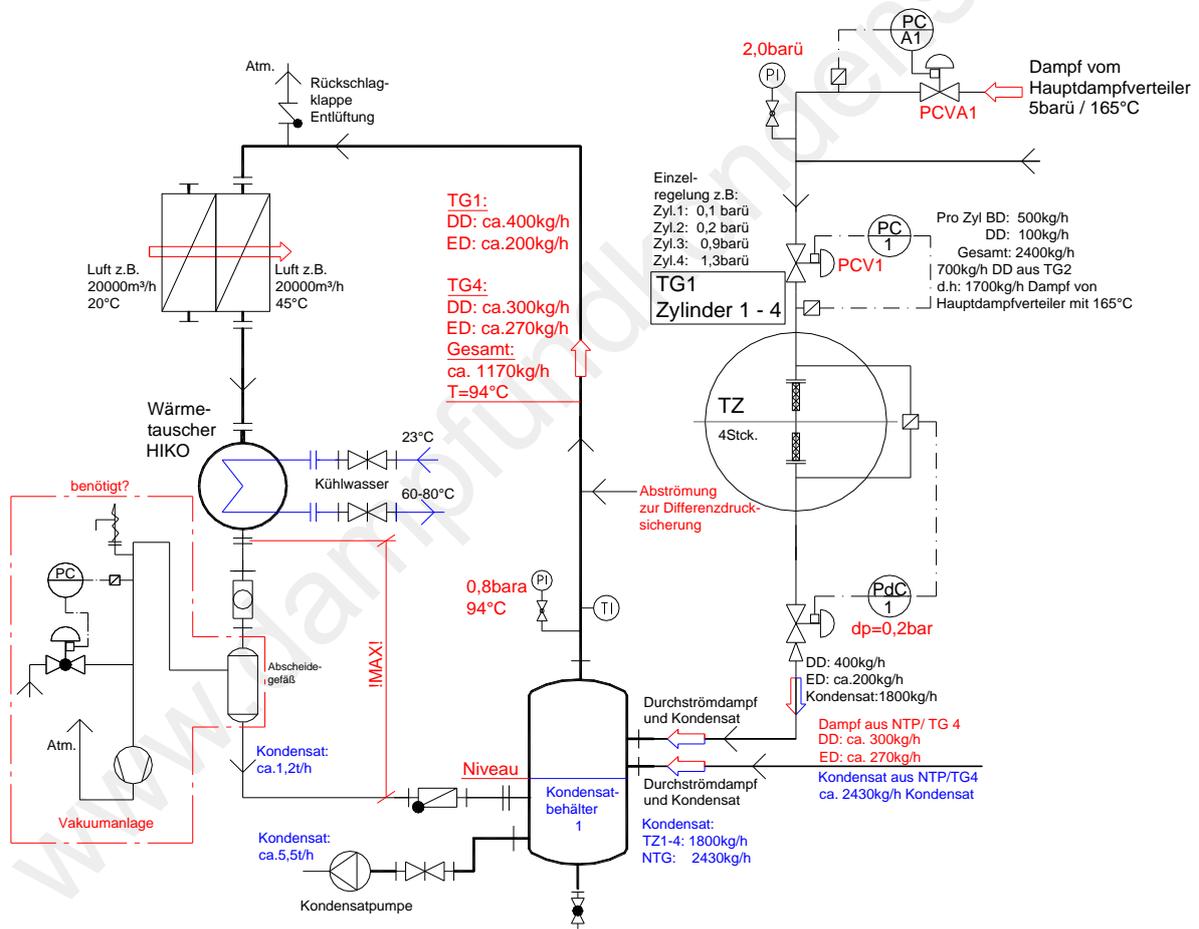
Weil bei manchen PM die ersten TZ der NTP die gleiche Funktion wie die einzeln geregelten TZ aus TG1 erfüllen. Nämlich das Vorbereiten der Papierbahn auf die Trocknung.



Zwischen VTP und NTP befindet sich bei vielen PM eine Anlage, welche auf das Papier zur Qualitätssteigerung z.B. flüssige Stärke aufträgt. Diese Anlage wird Leimpresse genannt. Auch bei den ersten TZ nach der Leimpresse, will man durch die Einzelregelung ein allmähliches Aufheizen der Papierbahn erreichen.

Der TZ24 wird z.B. mit einem Dampfdruck von 1,0 barü beheizt und der TZ28 mit einem Dampfdruck von 2,0 barü. Damit das Kondensat auch abfließen kann, ist diese TG an den Kondensatbehälter 1 angeschlossen. Im Kondensatbehälter 1 herrscht ein Druck von 0,8bar abs. Auf Grund der Druckreduzierung durch die Differenzdruckregelventile entsteht der bisher nicht beachtete Entspannungsdampf. In oben skizzierten Schema wurde die Dampfmenge mit ca. 10% der Kondensatmenge geschätzt. Wer die Dampfmenge genauer ermitteln möchte, der findet im Kapitel zu Entspannungsdampf weitere Informationen.

Die Dampfmenge am Kondensatbehälter 1 hat sich nun auf fast 1,2 t/h erhöht.

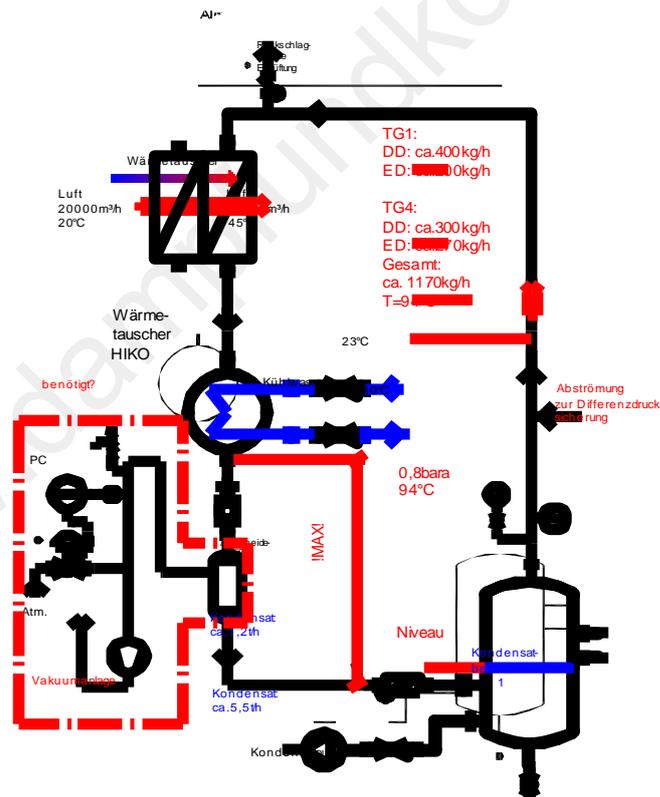


4.3. Verwendung des Durchström- und Entspannungsdampfes zum Erwärmen von Luft

Wie oben beschrieben, sammeln sich im Kondensatbehälter 1 der Durchström- (DD) und der Entspannungsdampf (ED). Der Durchströmdampf entsteht auf Grund der Entwässerungssysteme in den TZ. Bei der Verwendung von stehenden Syphonen ist die Menge des Durchströmdampfes geringer als bei der Verwendung von rotierenden Syphonen. Die Ursache für den Entspannungsdampf sind Druckreduzierungen von Kondensatströmungen. Der Durchström- und der Entspannungsdampf lassen sich nicht vermeiden. Mit einem entsprechenden Anlagenbau sollte man die anfallende Dampfmenge aber auf ein Minimum begrenzen bzw. die dennoch anfallende Dampfmenge sinnvoll verwerten.

Was macht man nun mit der im Schema dargestellten Dampfmenge an ED und DD, welche zum Kondensatbehälter 1 strömt. An dieser Stelle der PM beginnt die Beheizung der TZ mit Dampf. An der gleichen Stelle ist aber auch das Kaskadensystem der PM zu Ende. D.h. es gibt keine weiteren TZ mehr, welche mit dem Dampf beheizt werden könnten. Im Vergleich der Kondensatbehälter an einer PM besteht im Kondensatbehälter 1 der niedrigste Druck. Es gibt PM, bei welchen der Druck in diesem letzten Kondensatbehälter der Kaskade 5m Vakuum (0,5 barabs) beträgt. In den meisten Fällen ist solch ein niedriger Druck vermutlich überhaupt nicht notwendig. Zum Thema niedrige Drücke/Temperaturen im Zusammenhang mit einer Vakuumanlage kann man sich auf den Seiten 6-13 in diesem Kapitel informieren.

Im aufgeführten Schema hat der Dampf im Kondensatbehälter 1 eine Temperatur von 94°C. Bei den meisten PM wird dieser Dampf in der Luftanlage zum Erwärmen von Luft verwendet. Mit den ca. 1,2 t/h Dampf könnten ca. 40.000 m³/h Luft von 20°C auf 65°C aufgewärmt werden.



Aus technologischen Gründen genügt eine Lufttemperatur von 45°C, und mehr als ca. 20.000m³/h Luft können nicht aufgewärmt werden. (Förderleistung des Ventilators beträgt 20.000m³/h) Das bedeutet, dass der Dampf aus dem Kondensatbehälter 1 nur zu einem Teil verwertet werden kann und im Wärmetauscher kondensiert. (mehr Luft als Kühlmittel zur Kondensation ist nicht vorhanden)

Um 20.000 m³/h Luft von 20°C auf 45°C in einem Wärmetauscher zu erwärmen, werden ca. 300kg/h Dampf mit einer Temperatur von 94°C benötigt. Bleiben dann noch 870 kg/h Dampf aus dem Kondensatbehälter 1 übrig. Diese 870 kg/h Dampf müssen ohne großen Druckverlust durch den Wärmetauscher in Richtung WT-HIKO strömen können und dort vollständig kondensieren. Im Wärmetauscher HIKO könnte man z.B. mit dem Dampf warmes Wasser für z.B. Nebenverbraucher erzeugen.

Hinweis: „Passen“ die 870 kg Dampf mit dem niedrigen Druck und dem entsprechend großen Volumen nicht durch den WT und können so nicht kondensieren oder ist der WT zu klein bemessen, entsteht im Kondensatbehälter 1 ein Problem. Im Kondensatbehälter 1 steigt dann der Druck an. Ein Druckerhöhung kann zu Entwässerungsproblemen an den Trockenzylindern 1-4 und den 3 Stck. Trockenzylindern aus der TG4 führen.

Bisher noch nicht berücksichtigt sind die auf Seite 4 und 5 dieses Kapitels beschriebenen Abströmungen zur Differenzdrucksicherung. Auch wenn diese Dampfmen gen nur in den beschriebenen Ausnahmesituationen anfallen, so müssen diese trotzdem jederzeit ungehindert bis zum WT-HIKO strömen und dort nach Möglichkeit ebenfalls vollständig kondensieren können. Diese Dampfmen gen lassen sich mengenmäßig nur schwierig ermitteln. Um den WT-HIKO nicht zu groß auszulegen, gibt es noch ein paar Insidertricks die hier nicht verraten werden sollen.

Man merkt aber schon, dass der technisch sinnvollen und richtigen Auslegung der Anlagenteile Kondensatbehälter 1, WT-HIKO, Aufstellungsort und Verrohrung des WT-HIKO und dem Rohrsystem der Zuführung des Dampfes bis zum WT in der Luftanlage eine größere Bedeutung zukommt und man dabei auch viele Fehler machen kann.

Und das geht so:

TVerdichter PCVA1: Reglerausgang 0% - Öffnung Verdichter 0%,
Reglerausgang 50% - Öffnung Verdichter 100%

Wird der Sollwert nicht erreicht, dann öffnet das Regelventil PCVA2.

Regelventil PCVA2: Reglerausgang 50% - Ventilöffnung 0%,
Reglerausgang 100% - Ventilöffnung 100%.

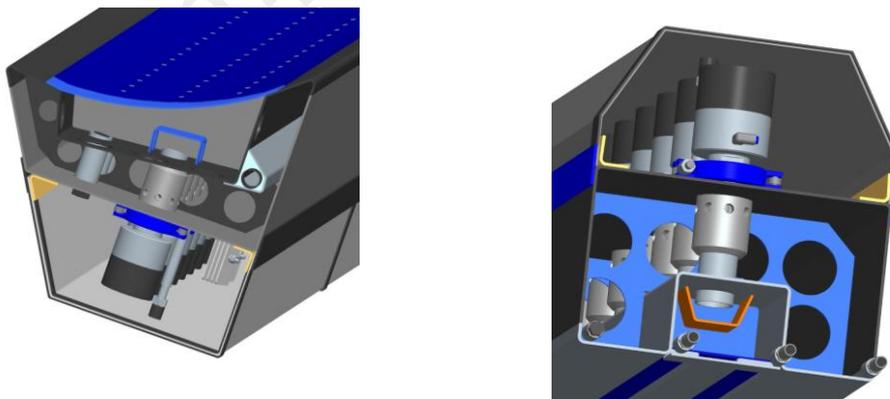
Hinweis: Die Verschaltung des Thermoverdichters wird hier nur grob beschrieben. Jeder Thermoverdichter besitzt eine Kennlinie, in welcher je nach Druck und Gegendruck der jeweilige Gemischdampf abgelesen werden kann. Je nach Kennlinie des Verdichters sollte dieser nicht zu 100% öffnen, weil ein Thermoverdichter eine ähnliche Kennlinie besitzt wie eine Kreiselpumpe. Die Kennlinie „kippt“ nach hinten ab. Deshalb muss mit Hilfe der Kennlinie überprüft werden, ob der Thermoverdichter bei einer bestimmten Öffnung angehalten werden muss (eben an dem Punkt, an welchem die Kennlinie „abkippt“ und bei einer weiteren Öffnung keine weitere Steigerung des Durchsatzes mehr möglich ist).

Wird der Thermoverdichter richtig ausgelegt und steht der richtige Treibdampf zur Verfügung, so können die ca. 900 kg/h Dampf, welche nicht in der Luftanlage kondensieren, wieder zum Beheizen der TZ verwendet werden.

4.5. Verwendung des Durchström- und Entspannungsdampfes mit einem Dampfblaskasten

4.5.1 Was ist ein Dampfblaskasten?

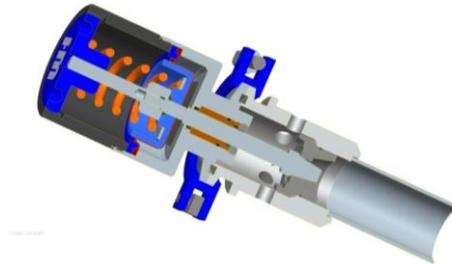
Die Bezeichnung Dampfblaskasten ist eigentlich veraltet und soll hier aber trotzdem weiter verwendet werden. Der Verfasser möchte Hersteller unabhängig informieren und auch nicht in Konflikt mit Herstellern geraten, welche es möglicherweise als eine Urheberrechtsverletzung ansehen, wenn die Bezeichnung Ihrer Geräte in diesem Kapitel Verwendung findet.



Quelle Schnittdarstellung DBK: mit freundlicher Genehmigung durch Ing. Büro Woollard & Henry / 63067 Offenbach

In der Vergangenheit war ein Dampfblaskasten (im Weiteren nur noch als DBK bezeichnet) ein einfacher Blechkasten mit einem Lochblech und einem Anschluss für die Dampfversorgung. Die Dampfversorgung wurde per Hand und nach Gefühl eingestellt und dann wurde die Papierbahn bedampft, um so das Feuchteprofil der Papierbahn zu korrigieren.

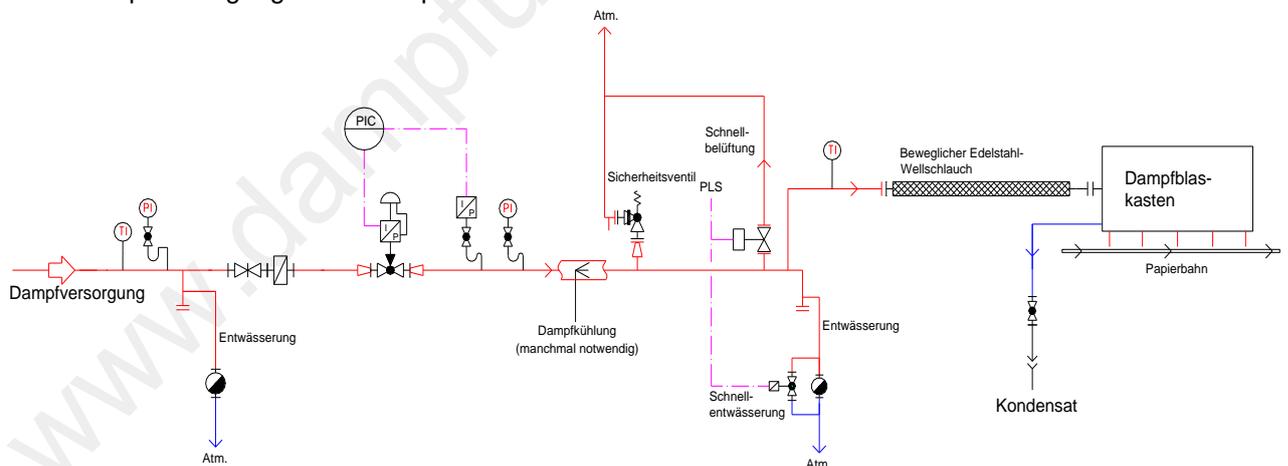
Feuchte Stellen im Papier führen bei der Weiterverarbeitung von hochwertigen Papiersorten, z.B. Fotopapier, Geldpapier oder auch bei ganz normalem Zeitungspapier zu Problemen. Die feuchten Stellen nehmen z.B. chemische Zusatzstoffe besser auf als der trockenere Rest des Papiers. Dadurch könnte dann eine unterschiedliche Oberfläche des Papiers entstehen. Die heutigen Geräte sehen zwar immer noch wie ein Blechkasten aus, sind aber mit sehr viel High-Tech ausgerüstet. Es gibt immer noch eine Dampfversorgung aber im DBK selbst wird der Dampf dann je nach Bedarf mit einer Vielzahl von im DBK montierten kleinen Ventilen auf die verschiedenen sogenannten Zonen des DBK verteilt.



Quelle Darstellung Zonenregelventil: mit freundlicher Genehmigung durch Ing. Büro Woollard & Henry / 63067 Offenbach

Dazu wird mit Hilfe eines über die Papierbahn transversierenden Feuchte-Messbalken das Querprofil der Papierbahn ermittelt. Die Messergebnisse werden in Signale umgewandelt, welche dann die im DBK montierten Ventile ganz gezielt ansteuern. An der Stelle, an welcher die Papierbahn feuchter ist, strömt mehr Dampf aus dem DBK, um diese zu trocknen. Man spricht auch von feuchten und trockenen Spitzen im Querprofil. An der richtigen Stelle in der PM montiert und mit dem richtigen Dampf betrieben, führt ein DBK zu einer deutlichen Qualitätsverbesserung und natürlich auch zu einer Dampfeinsparung.

Aufbau Dampfversorgung eines Dampfblaskastens

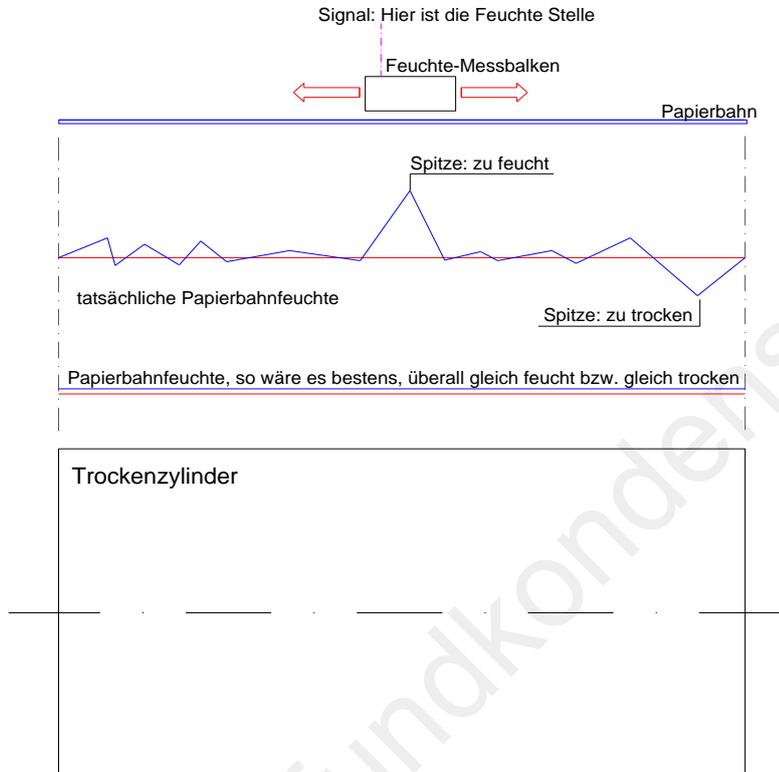


Warum führt der Einsatz eines DBK zu einer Dampfeinsparung?

Der Dampf kondensiert an der Oberfläche der Papierbahn und die Kondensation führt zu einer Wärme- und Energieübertragung auf das Papier mit einem Temperaturanstieg von 15-25°C. Das bedeutet, dass das in der Papierbahn mittransportierte Wasser erwärmt und so auf die Trocknung in der VTP „vorbereitet“ wird.

D.h., durch den Betrieb eines Dampfblaskastens wird eine bessere Trocknung des Papiers erreicht. Diese Trocknung findet im Gegensatz zum Trockenzylinder fast verlustfrei statt, weil der Wärmedurchgang durch die 8 mm bis 10 mm Wandstärke des TZ entfällt.

Darstellung des Feuchte-Querprofils in einer Papierbahn



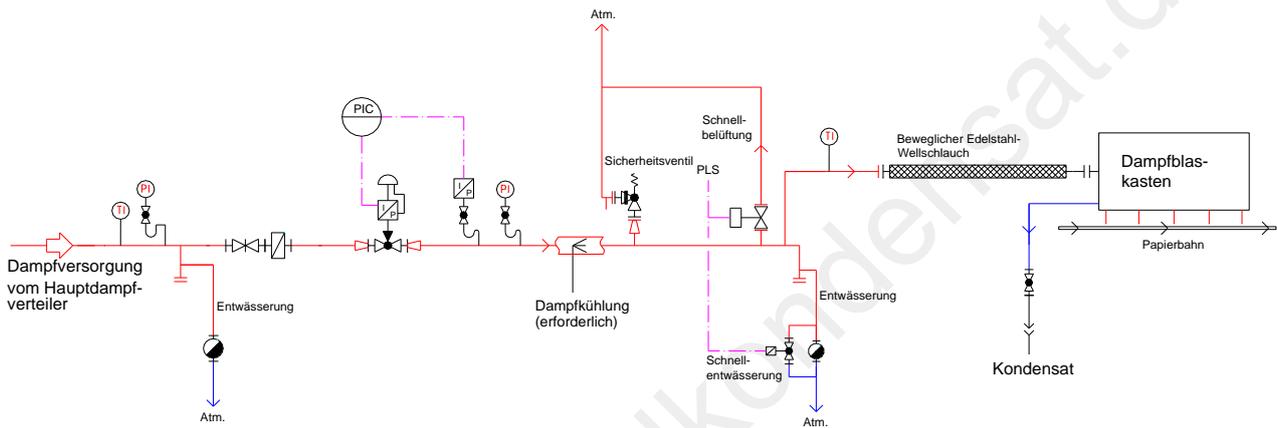
In Deutschland gibt es drei namhafte Hersteller dieser Geräte, wobei die Qualität unterschiedlich ist. Der Verfasser empfiehlt den Einsatz eines Dampfblaskastens in Verbindung mit einem Qualitätsleitsystem. Die Investitionskosten sind zunächst hoch, aber im Vergleich zum Nutzen dann vergleichsweise niedrig.

Um die Technik und den Nutzen eines Dampfblaskastens zu erklären, könnte man noch ca. 30 Seiten folgen lassen. Hier soll aber nicht das Gerät in allen Details beschrieben werden, sondern die Möglichkeit der Dampfeinsparung durch eine Brüden- und Entspannungsdampfverwertung mit Hilfe des DBK.

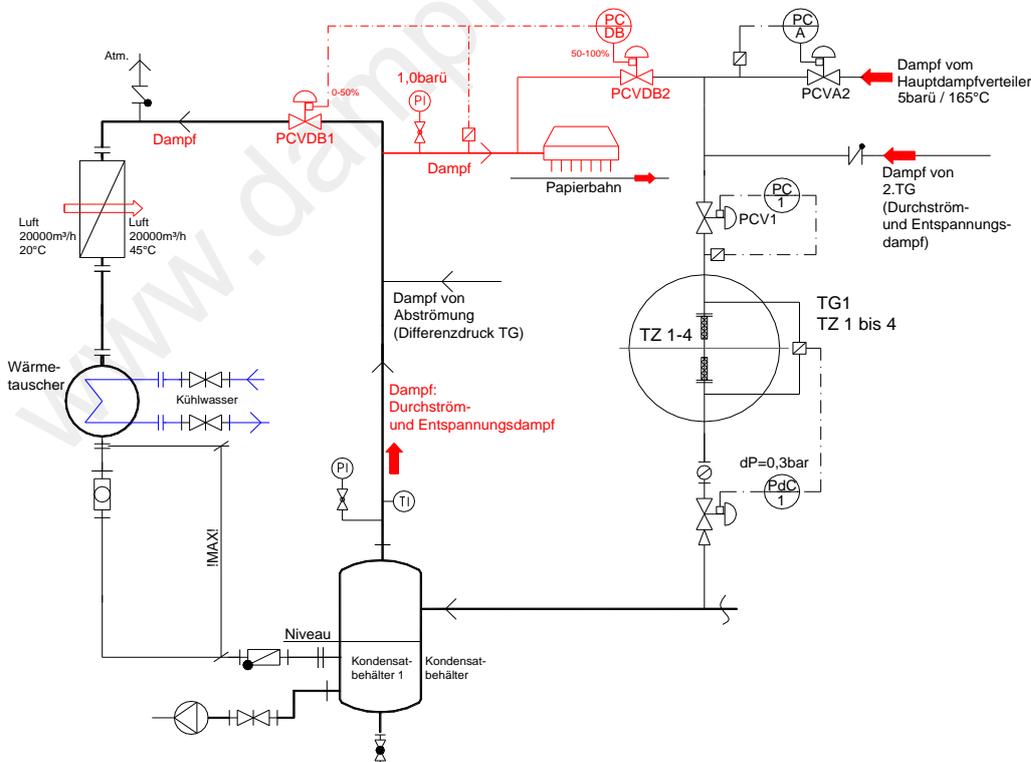
4.5.2 Die Dampfversorgung eines Dampfblaskastens

Für die Dampfversorgung eines DBK gibt es drei Möglichkeiten:

Möglichkeit 1: Anschluss an die Frischdampfversorgung. Dies wäre ungewöhnlich, weil ein DBK meistens mit Dampf mit einem Druck von ca. 1 barü betrieben wird und die Dampftemperatur möglichst Sattdampftemperatur beträgt. Mit Hilfe eines Druckregelkreises und einem Druckregelventil wäre der erforderliche Druck einfach zu realisieren (siehe dazu Kapitel Regelventile). Nur die Sattdampftemperatur lässt sich mit einer Druckreduzierung alleine nicht erreichen (dazu siehe ausführliche Beschreibung Seite 6-13 dieses Kapitels). Eine zusätzliche Dampfkühlung müsste installiert werden (siehe dazu auch Kapitel zu Dampfkühlungen).



Möglichkeit 2: Anschluss an den Kondensatbehälter 1. D.h., die Dampfversorgung erfolgt durch die Summe aus Durchström- und Entspannungsdampf, welcher im Kondensatbehälter zwangsläufig anfällt.



Der Dampfdruck wird im Kondensatbehälter durch das Druckregelventil PCVDB1 auf den Sollwert des Dampfdruckes des Dampfblaskastens angehoben. Die Betriebsbedingungen sind nicht immer gleich und so ist auch die Dampfmenge im Kondensatbehälter nicht immer gleich. Gibt es Betriebsbedingungen, bei welchen die Dampfmenge nicht ausreicht, um den gewünschten Sollwert von z.B. 1,5 barü zu erreichen, öffnet das Regelventil PCVDB2.

Und das geht so:

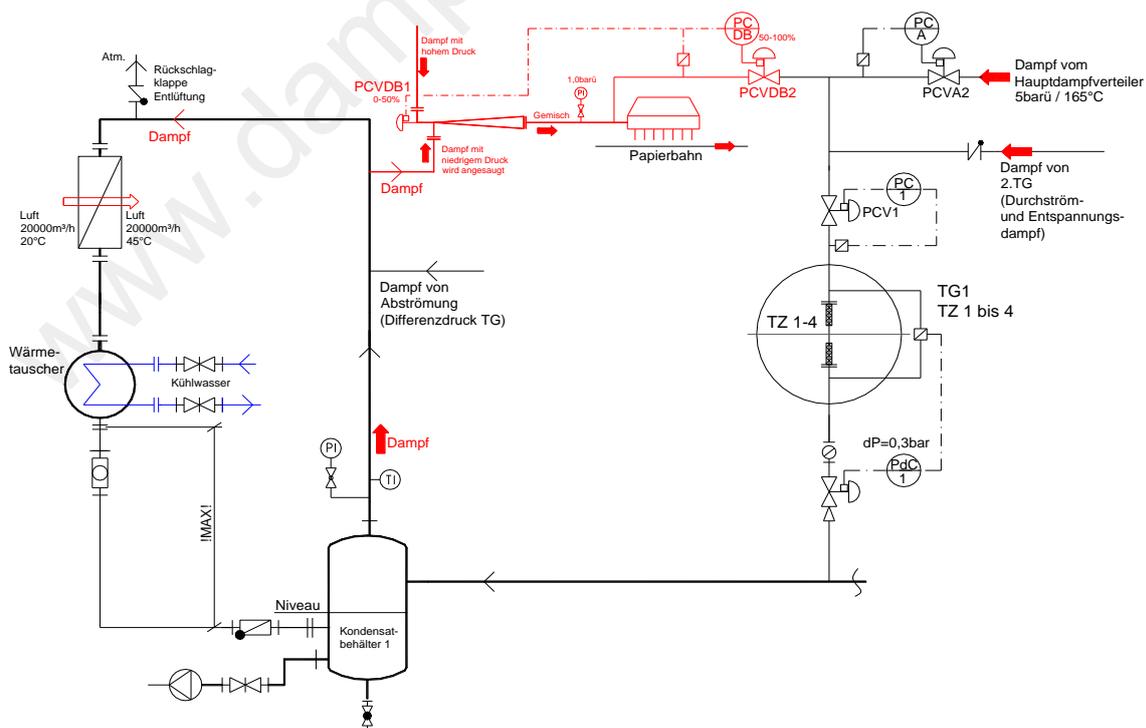
Regelventil PCVDB1: Reglerausgang 0% - Öffnung Ventil 0%,
Reglerausgang 50% - Öffnung Ventil 100%

Wird der Sollwert nicht erreicht, dann öffnet das Regelventil PCVDB2.

Regelventil PCVDB2: Reglerausgang 50% - Ventilöffnung 0%,
Reglerausgang 100% - Ventilöffnung 100%.

Wie der Durchström- und Entspannungsdampf zum Kondensatbehälter gelangt, wurde ausführlich ein paar Seiten weiter oben beschrieben. Bei PM, bei welchen die Luftanlage zu klein ist, um die im Kondensatbehälter anfallende Dampfmenge komplett zu kondensieren, ist diese Art der Dampfversorgung möglich. Generell lässt sich dies aber immer erst nach einer detaillierten Überprüfung bestimmen. Vor allem ist zu beachten, dass auf Grund des Druckes im Kondensatbehälter 1 trotzdem noch die Differenzdruckregelungen der einzelnen Trockengruppen abströmen können (siehe Seite 4) und sich die Entwässerung der Trockenzylinder, welche in den Kondensatbehälter entwässern, nicht beeinträchtigt wird. Bei PM mit hohem Flächengewicht z.B. Verpackungspapier über 100g/m² sind die Dampfdrücke auch im Kondensatbehälter 1 entsprechend hoch. Dann wäre solch eine Dampfversorgung eines Dampfblaskastens möglich.

Möglichkeit 3: Anschluss an den Kondensatbehälter 1 und die Dampfversorgung erfolgt durch die Summe aus Durchström- und Entspannungsdampf, welcher im Kondensatbehälter zwangsläufig anfällt. Der Dampf wird abgesaugt und im Druck erhöht durch einen Thermoverdichter.



Mit Hilfe des Thermoverdichters wird der Dampfdruck wie bei einem Regelventil auf den Sollwert geregelt. Die Betriebsbedingungen sind nicht immer gleich und so ist auch die Dampfmenge im Kondensatbehälter nicht immer gleich. Gibt es Betriebsbedingungen, bei welchen die Dampfmenge nicht ausreicht, um den gewünschten Sollwert von z.B. 1,5 barü zu erreichen, öffnet das Regelventil PCVDB2.

Und das geht so:

TVerdichter PCVDB1: Reglerausgang 0% - Öffnung Verdichter 0%,
Reglerausgang 50% - Öffnung Verdichter 100%

Wird der Sollwert nicht erreicht, dann öffnet das Regelventil PCVDB2.

Regelventil PCVDB2: Reglerausgang 50% - Ventilöffnung 0%,
Reglerausgang 100% - Ventilöffnung 100%.

Die oben aufgeführten Schemata zur Installation eines Dampfblaskastens sind nur vereinfacht dargestellt. Die Dampfversorgung besteht fast immer aus den Armaturen wie bei Möglichkeit 1 skizziert, nur das diese dann an den Kondensatbehälter 1 angeschlossen ist und nicht an den Hauptdampfverteiler. Generell ist es auch möglich einen Dampfblaskasten an einer Stelle des Dampfsystems anzuschließen an welcher ein Dampfdruck von ca. 1,5barü vorhanden ist. Der Verfasser wollte aber die Verwendung des Dampfblaskastens als Verwerter für den „Reste“-Dampf, also für den Durchström- und Entspannungsdampf beschreiben.

Weiter geht es im Teil 2 zu diesem Kapitel.