

INFOR-Projekt Nr. 1

Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung der Gewässer

Mai 2000

Papiertechnische Stiftung
München

Institut für Papierfabrikation
Technische Universität Darmstadt

Projektleiter:
Dipl.-Ing. I. Demel

Projektleiter:
Dr.- Ing. U. Hamm

INFOR-Projekt

**Maßnahmen zur Verringerung
der Wärmebelastung der Gewässer**

Forschungsstelle
PTS München

Dipl.-Ing. Ingrid Demel
Dr. Wolfram Dietz

in Kooperation mit
Institut für Papierfabrikation, TU Darmstadt

Dr. Udo Hamm

Laufzeit: 01.01.1999 - 31.12.1999

INFOR-Projekt Nr. 1

Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung der Gewässer

Projektbegleiter aus der Papierindustrie:

Dr.-Ing. Hanns-Lutz Dalpke
Sappi Alfeld AG
Alfeld

Dr. Walter Lüttgen
SCA Hygiene Products Holding
Mannheim

Dr. Frank Miletzky
Felix Schoeller GmbH & Co. KG
Osnabrück

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Zusammenfassung	4
2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Problemstellung.....	5
3 Forschungsziel.....	6
4 Bestandsaufnahme bei Papierwerken	6
4.1 Werk A	6
4.1.1 Wärmesituation Werk A	6
4.1.2 Einleitengrenzwerte Werk A.....	6
4.1.3 Kühlaggregate Werk A.....	7
4.2 Werk B	7
4.2.1 Wärmesituation Werk B	7
4.2.2 Einleitengrenzwerte Werk B.....	8
4.2.3 Kühlaggregate Werk B.....	8
4.3 Werk C	8
4.3.1 Wärmesituation Werk C	9
4.3.2 Einleitengrenzwerte Werk C	9
4.3.3 Kühlaggregate Werk C.....	9
4.4 Werk D.....	10
4.4.1 Wärmesituation Werk D	10
4.4.2 Einleitengrenzwerte Werk D	11
4.4.3 Kühlaggregate Werk D.....	11
4.5 Diskussion der Bestandsaufnahmen	11
5 Problemlösung in anderen Industriezweigen	12
6 Wärmetauscher und Kühltürme	13
6.1 Grundlagen	13
6.2 Anordnung der Aggregate in der Abwasserreinigung	14
6.3 Verfahrenstechniken.....	14
6.3.1 Wärmetauscher.....	14
6.3.2 Auslegung von Wärmetauschern.....	15
6.3.3 Luftkühler, geschlossene Kühltürme, Hybrid-Systeme	15
6.3.4 Offene Kühltürme.....	15
6.3.5 Auslegung von Kühltürmen.....	16
6.4 Kosten.....	16
6.4.1 Anfragen bei Herstellern	16
6.4.2 Angebote.....	17
6.4.3 Kühltürme.....	18
6.5 Zusammenfassung Wärmetauscher und Kühltürme.....	19
7 Schlussfolgerungen	20
7.1 Wärmehaushalt der Produktion	20
7.2 Kühlung.....	20
7.3 andere Lösungswege.....	21
Literatur	23

1 Zusammenfassung

Die zunehmende Wärmebelastung der Gewässer zwingt die Aufsichtsbehörden zur Festlegung strenger Grenzwerte für die Einleitung von erwärmten Abwässern. Entsprechend ist die Temperatur unter den Einleitegrenzwerten für Papierfabriken ein kritischer Parameter. Aufwendige Kühlaggregate müssen eingesetzt werden. Das im Vergleich zu innerbetrieblichen Wärmeströmen geringe Wärmeniveau der Abwässer sowie die Tatsache, dass in der Produktion stets ein Wärmeüberangebot besteht, stellen dabei die Effizienz einer Wärmerückgewinnung in Frage.

Ziel des Forschungsprojekts ist es, Konzepte zur Verringerung der Wärmebelastung der Gewässer durch abgeleitetes Abwasser zu ermitteln.

Als Grundlage wurde die Wärme-Situation in Betrieb und Abwasserreinigung von vier Papierwerken unterschiedlicher Sortenbereiche ermittelt. Die Energiebilanzen zeigen: Nur ein geringer Teil (10-19 %) der eingesetzten Energie wird über das Rohabwasser ausgetragen. Die Rohabwasser-Temperaturen streuen in einem Bereich von 29 °C bis 50 °C, die Einleitetemperaturen in einem Bereich von ca. 20 °C bis 38 °C. Zwei der vier Werke unterliegen einem Einleitegrenzwert (30 °C bzw. 32,7 °C). Die Abwassertemperaturen korrelieren nicht mit den spezifischen Abwassermengen, da sie durch modifizierten Energieeinsatz und Kühlungen auf gewünschte bzw. notwendige Niveaus eingestellt werden.

Zur Kühlung stehen Wärmetauscher und Kühltürme zur Verfügung. Unter den Aspekten Störungsanfälligkeit, Kosten, Platzbedarf und Umwelteinwirkungen sind Wärmetauscher vorteilhafter. Voraussetzung für diese ist jedoch, dass das erwärmte Kühlwasser in den Prozess eingebunden werden kann und an der Einsatzstelle den Energiebedarf für eine notwendige Wassererwärmung reduziert. Einzelne Werke an großen Vorflutern verfügen dagegen über eine separate Einleitegenehmigung für Warmwasser.

Als Wärmetauscher am besten geeignet sind Plattenwärmetauscher. Kritisch bei Kühltürmen ist der biologische Bewuchs von Kühleinbauten (fouling). Das Entfernen der Kühleinbauten verhindert dies, mindert aber die Kühlleistung.

Als Fazit muss der erste Blickpunkt bei überhöhten Abwassertemperaturen der Energieeinsatz und der Wärmehaushalt der Produktion sein. Liegen hier keine Potentiale vor, ist eine Kühlung des Abwasser notwendig. Vorrangig kommen Wärmetauscher in Frage. Kann Kühlwasser jedoch nicht eingebunden oder abgeleitet werden, muss auf Kühltürme ausgewichen werden. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts zeigen hierzu Randbedingungen auf und geben Entscheidungshilfen.

Das Forschungsziel wurde erreicht.

2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Problemstellung

Die zunehmende Wärmebelastung unserer Oberflächengewässer zwingt die Aufsichtsbehörden zur Festlegung strenger Grenzwerte für die Einleitung von erwärmten Abwässern. Die Auflagen für die Papierindustrie beschränken derzeit überwiegend die Temperatur des abgeleiteten Abwasser, immer öfter aber auch die Erwärmung des Gewässers durch die Einleitung.

Die Temperatur ist der kritischste Grenzwert bei der Ableitung von Papierfabrikabwässern. Abb. 1 verdeutlicht dies anhand von Umfrage-Ergebnissen: Mehr als jedes fünfte Werk hat Probleme mit Temperaturgrenzwerten. Die Probleme treten i. A. in den Sommermonaten auf. Unter den Direkteinleitern gibt jeder vierte Temperaturprobleme an. Auch einige Indirekteinleiter stoßen an Grenzwerte für die Ableite-Temperatur.

Neben den rechtlichen Beschränkungen limitiert die Empfindlichkeit biologischer Reinigungsprozesse die Temperaturen in der Abwasserreinigung von verfahrenstechnischer Seite.

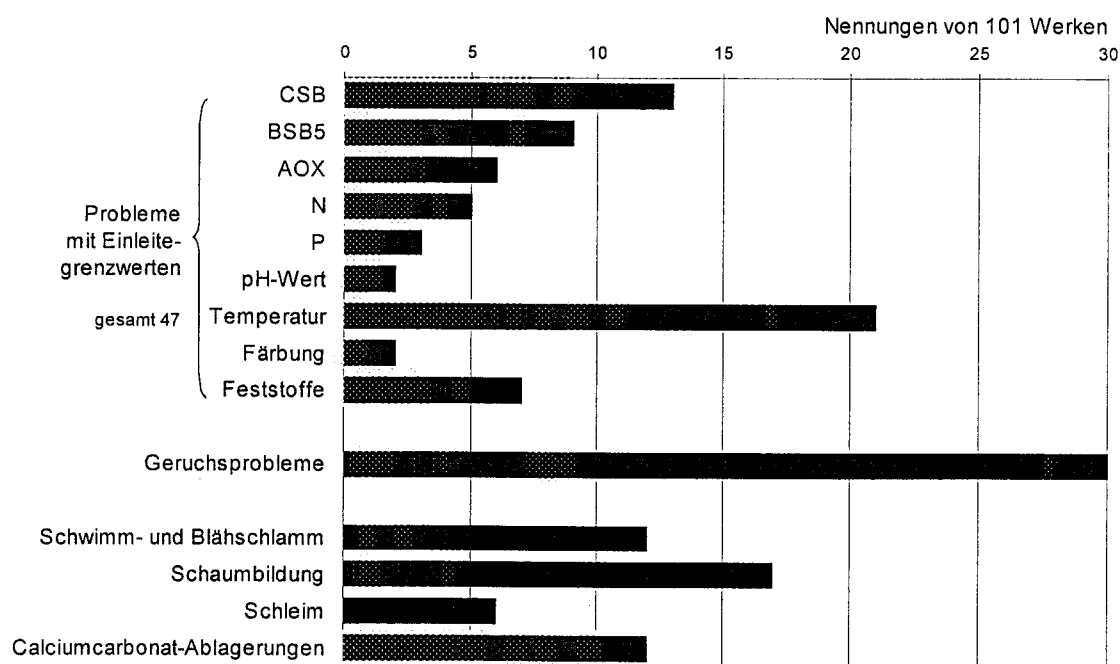


Abb. 1 Probleme im Bereich Wasser/Abwasser (vdp-PTS-Wasserumfrage 1996, [1])

Lösungswege für das Problem sind bislang nicht systematisch erfasst und erforscht worden. Zippel führt exemplarisch Kühlwassersysteme an, bei denen das Rohabwasser vor der biologischen Reinigung über Wärmetauscher gegen Frischwasser oder über Kühltürme gekühlt wird [2]. Das im Vergleich zu innerbetrieblichen Wärmeströmen relativ geringe Wärmeniveau des Abwassers sowie die Tatsache, dass in der Produktion grundsätzlich ein Wärmeüberangebot besteht, stellen die Effizienz einer Wärmerückgewinnung in Frage.

Der mittlere spezifische Energieverbrauch (Strom und Dampf) in der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie ist in vergangenen Jahren ständig reduziert worden und beträgt heute unter 3000 kWh/t [3]. Potentiale, den Energie-Input weiter zu senken und damit auch die Wärmetrachten ins Abwasser zu verringern, sind sicher vorhanden: ihre Wirtschaftlichkeit hängt von den Randbedingungen ab. So mindern beispielsweise derzeit die Liberalisierung des Strommarktes und fallende Preise den Anreiz, Strom zu sparen.

3 Forschungsziel

Das Ziel des Projekts ist es, Maßnahmen zu ermitteln zur Verringerung der Wärmebelastung der Gewässer durch abgeleitetes Abwasser. Es sollen geeignete Konzepte aufgezeigt werden, die Wärmefracht und/oder die Temperatur des Abwassers zu senken.

4 Bestandsaufnahme bei Papierwerken

Als Grundlage der Untersuchungen wurde die Wärme-Situation in Betrieb und Abwasserreinigung von vier Papierwerken unterschiedlicher Sortenbereiche ermittelt. Anhand einer Checkliste wurden im Gespräch Energie-Eckdaten erfasst. Der Schwerpunkt lag auf Daten im Bereich der Abwasserreinigung. Ebenso wurde erfasst, welche Lösungsstrategien bei Temperaturproblemen in diesen Werken verfolgt wurden.

Spezifische Angaben beziehen sich in den folgenden Auswertungen jeweils auf die Brutto-Produktion. Die Wärmehalte von Wasserströmen sind auf das (Misch-)Temperatur-Niveau der Frischwasserquellen der Produktion bezogen. Auf dieser Grundlage ergibt sich rechnerisch kein Wärmeeintrag durch das Frischwasser. Soweit eine ausreichende Datengrundlage vorlag, wurden die Energieumsätze der Werke bilanziert. Einzelne kleinere Wasser- und Energieströme wurden vernachlässigt (z. B. Rejekte, Stromverbrauch ARA).

4.1 Werk A

Werk A produziert holzfreie Papiere auf zwei Maschinen. Das Produktionswasser wird aus dem Vorfluter und aus einem Brunnen gewonnen. Die spezifische Frischwassermenge beträgt 22 l/kg. Die Abwasserreinigungsanlage (ARA) besteht aus einer chem.-mech. Vorklärung, Tropfkörperanlagen und einer Nachklärung.

4.1.1 Wärmesituation Werk A

Der spezifische Sekundärenergie-Verbrauch (Strom und Dampf) der Papierproduktion beträgt ohne Veredelung 2700 kWh/t. Das Oberflächenwasser weist im Winter eine Temperatur von 8 °C, im Sommer von 22 °C auf, das Brunnenwasser 13 °C. Zusätzliches Kühlwasser wird einem Teich entnommen und wieder in diesen rückgeführt. Das Kreislaufwasser hat ein Temperaturniveau von 47 °C, das Rohabwasser von 29/30 °C (Winter/Sommer).

Von der zugeführten Energie (2700 kWh/t) verlassen 510/400 kWh/t (19/15 %, Winter/Sommer) die Produktion über das Rohabwasser.

Ca. 1100 kWh/t (41 %) entweichen aus der Produktion durch Verdampfung und 1400 kWh/t (52 %) durch Abstrahlung und Konvektion mit der Luft. Im Verlauf der ARA kühlt der Wasserstrom dann auf 17/23 °C ab. In den Vorfluter werden damit 134/179 kWh/t oder 5/7 % des Energieumsatzes abgeleitet (Tab. 1).

4.1.2 Einleitegrenzwerte Werk A

Es bestehen Grenzwerte für den Volumenstrom und die Einleitetemperatur des Abwassers (30 °C). Die Einleitetemperatur ist kritisch für das Werk. Die Temperaturdifferenz im Vorfluter oder die Wärmefracht sind nicht explizit limitiert.

Tab. 1 Wasser- und Wärmebilanz Werk A inkl. ARA, Sommer und Winter

Papierprod.+ARA (ohne Veredelung)					Werk A			
Sommer					Winter			
Input	l/kg	Temp.	kWh/t	Anteil	l/kg	Temp.	kWh/t	Anteil
Strom			723	27%			723	27%
Dampfenergie			1.982	73%			1.982	73%
Rohstoffe	0,1	25,0 °C	1		0,1	12,0 °C	0	
Strom ARA			11				11	
Oberfl.wasser	6,7	22,0 °C	48		6,7	8,0 °C	-27	
Brunnenwasser	14,5	13,0 °C	-48		14,5	13,0 °C	27	
Bilanzausgleich Wasser	-0,6				-0,6			
Summe Input	20,8		2.717	100%	20,8		2.716	100%
Output		Temp.	kWh/t			Temp.	kWh/t	
Verdampfung	1,53		1.114	41%	1,53		1.122	41%
Abstrahlung			1.422	52% RR			1.459	54% RR
Papier	0,1	28,0 °C	1		0,1	18,0 °C	1	
Schlämme	0,0	28,0 °C	0		0,0	18,0 °C	0	
Ablauf ARA	20,7	23,3 °C	179	7%	20,7	17,0 °C	134	5%
Summe Output	20,8		2.717	100%	20,8		2.716	100%

RR=Rückrechnung

4.1.3 Kühlaggregate Werk A

Das Rohabwasser einer Papiermaschine wird im Sommer über zwei offene Kühltürme mit einer Nennleistung von je 2 MW bei 110 m³/h geführt. Im laufenden Betrieb werden z. T. Durchsätze und Kühlleistungen über den Nenndaten erreicht. Die Kühlung wird durch Luftventilatoren unterstützt. Die Kühleinbauten wurden teilweise entfernt, um Fouling zu vermindern. Die Aggregate werden im Frühjahr in Betrieb genommen, wenn die ARA-Ablauftemperatur kritisch wird, und im Herbst wieder abgeschaltet.

4.2 Werk B

Werk B produziert Zeitungsdruckpapiere. Die Wasserquelle ist Oberflächenwasser. Die spezifische Frischwassermenge beträgt 9,3 l/kg. Die Abwasserreinigungsanlage besteht aus einer chem.-mech. Vorklärung, einer aeroben Hochlast-Stufe, einer zweistufigen Belebung und der Nachklärung.

4.2.1 Wärmesituation Werk B

Bei Werk B beträgt der spezifische Sekundärenergie-Verbrauch 2800 kWh/t. Das Oberflächenwasser weist jahreszeitbedingt Temperaturen von 2-20 °C auf. Das Siebwasser hat wie das Rohabwasser ein Temperaturniveau von 45-48 °C. In den Strängen der Stoffaufbereitung liegen höhere Temperaturen vor. Kühlwasser wird in einer Menge von 5 l/kg dem Vorfluter entnommen (Sommer 8,7 l/kg, Winter 3,9 l/kg) und direkt in diesen rückgeführt. Die Kühlwassermenge wird so geregelt, dass sich eine Kühlwasserablauftemperatur von 28 °C ergibt.

Vom gesamten Energieumsatz (2800 kWh/t) dienen 835 kWh/t (30 %) der Verdampfung, 1620 kWh/t (58 %) entweichen durch sonstige Wärmeverluste (Tab. 2).

325 kWh/t (12 %) verlassen die Produktion über das Rohabwasser in die ARA. Mit dem Ablauf der ARA gelangen dann 230 kWh/t in den Vorfluter. Die Abkühlung innerhalb der ARA beruht hauptsächlich auf den eingesetzten Wärmetauschern (s. u.). Mit dem gesamten Kühlwasser (Produktion und ARA) werden weitere 106 kWh/t in den Vorfluter geleitet.

Tab. 2 Wasser- und Wärmebilanz Werk B inkl. ARA, Jahresmittelwerte

Papierprod.+ARA			Werk B	
Input	Wasser l/kg	Temp.	Energie kWh/t	Anteil
Strom			1.048	37%
Dampfenergie			1.738	62%
Rohstoffe	0,1	17,0 °C	1	
Strom ARA			10	
Produktionswasser	8,7	10,0 °C	0	
Kühlwasser	5,0	10,0 °C	0	
Summe Input	13,8		2.796	100%
Output		Temp.	kWh/t	
Verdampfung	1,16		835	30%
andere Wärmeverluste			1.617	58% RR
Papier	0,1	50,0 °C	4	
Schlämme	0,1	33,0 °C	3	
Ablauf Kühlwasser	5,0	28,0 °C	106	4%
Ablauf ARA	7,4	36,5 °C	230	8%
Summe Output	13,8		2.796	100%

RR=Rückrechnung

Die Wärmebilanz unterscheidet sich Sommer und Winter nur geringfügig vom Jahresmittel. Im Sommer wird mehr Kühlwasser eingesetzt, entsprechend ist die Wärmeableitung mit dem Kühlwasser höher.

Nach der Vorklärung – im Zulauf zum Schwebepettreaktor und im Bypass des Schwebepettreaktors – wird der Wasserstrom durch Wärmetauscher auf 35-36 °C gekühlt. Aufgrund der hohen Temperatur der Luft für die Belebungsbecken (70 °C) wird hier Wärme eingetragen: Während im Winter eine Abkühlung um 2 K durch die Außentemperaturen auftritt, bewirkt die Belüftung im Sommer einen Temperaturanstieg um ca. 1 K. Der Ablauf der Nachklärung hat entsprechend im Winter eine Temperatur von 35 °C, im Sommer maximal 38 °C.

4.2.2 Einleitegrenzwerte Werk B

Ein rechtlicher Grenzwert die Einleitetemperatur des Abwassers besteht nicht. Die Erwärmung des Vorfluters ist aufgrund der hohen Wasserführung des Vorfluters unerheblich und nicht limitiert.

4.2.3 Kühlaggregate Werk B

Die Wärmetauscher nach der Vorklärung sind Plattenkühler mit je 4 MW Nennleistung. Von den vier Kühlern sind stets zwei außer Betrieb. Die Gegenstromschaltung wird von Zeit zu Zeit zum Spülen auf Mitstrom geschaltet. Die Reinigung erfolgt etwa alle zwei Monate durch Abspritzen der geöffneten Platten mit einem Normaldruck-Wasserschlauch. Der Arbeitsaufwand hierzu ist ein Manntag. Problematisch sind Faserstoffe der TMP-Anlage bzw. Schleim, die sich im Wärmetauscher bei Stillständen festsetzen.

4.3 Werk C

Werk C stellt Wellenstoff auf einer Maschine her. Das Produktionswasser ist Oberflächenwasser. Die spezifische Frischwassermenge beträgt 6,2 l/kg. Die Abwasserreinigungsanlage besteht aus einer UASB-Anlage, einer Belebung und der Nachklärung. Es konnten nur Jahresmittelwerte zur Verfügung gestellt werden.

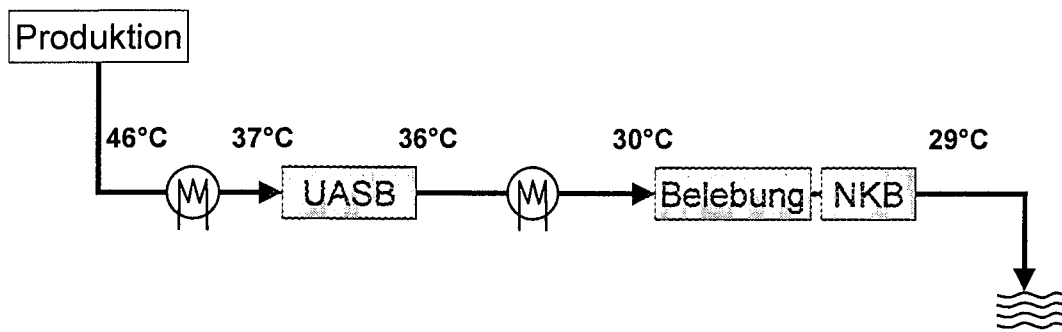


Abb. 2 Abnahme der Temperatur in der ARA von Werk C

4.3.1 Wärmesituation Werk C

Der spezifische Sekundärenergie-Verbrauch (Strom und Dampf) der Papierproduktion beträgt 1700 kWh/(t Bruttoproduktion). Das Oberflächenwasser hat im Winter eine Temperatur von ca. 7 °C, im Sommer von ca. 15 °C. Kühlwasser wird in den Prozess eingebunden. Das Kreislaufwasser hat ein Temperaturniveau von etwa 46 °C, ebenso das Rohabwasser.

Von der zugeführten Energie (1700 kWh/t) verlassen 209 kWh/t (12 %) die Produktion über das Rohabwasser. Ca. 740 kWh/t (44 %) entweichen aus der Produktion durch Verdampfung und 850 kWh/t (50 %) durch Abstrahlung und Konvektion mit der Luft. In der Abwasserreinigungsanlage wird der Wasserstrom dann auf 29 °C abgekühlt (Abb. 2), in erster Linie durch Plattenwärmetauscher. In den Vorfluter werden 104 kWh/t oder 6 % des Energieumsatzes abgeleitet (Tab. 3).

Tab. 3 Wasser- und Wärmebilanz Werk C inkl. ARA, Jahresmittelwerte

Papierprod.+ARA			Werk C	
Input	Wasser l/kg	Temp.	Energie kWh/t	Anteil
Strom			475	28%
Dampfenergie			1.224	72%
Rohstoffe	0,1	17,0 °C	1	
Produktionswasser	6,2	11,0 °C	0	
Summe Input	6,3		1.699	100%
Output		Temp.	kWh/t	
Verdampfung	1,0		742	44%
andere Wärmeverluste			848	50% RR
Papier	0,1	50,0 °C	4	
Ablauf ARA	5,1	28,5 °C	104	6%
Summe Output	6,3		1.699	100%

RR=Rückrechnung

4.3.2 Einleitegrenzwerte Werk C

Der Einleitevolumenstrom ist begrenzt, nicht jedoch die Ablauftemperatur.

4.3.3 Kühlaggregate Werk C

Es kommen zwei Plattenwärmetauscher zum Einsatz, vor der Anaerob-Anlage (46 °C auf 37 °C) und nach Anaerob-Anlage (37 °C auf 30 °C). Die Aggregate sind jeweils redundant

ausgeführt. Die Anschaffungskosten pro Wärmetauscher (ca. 1,7 MW/1,2 MW effektive Kühlleistung) in redundanter Ausführung werden mit ca. 100.000 DM angegeben (67.000 DM/MW).

Ähnlich wie bei Werk B verschmutzt der Wärmetauscher vor der Anaerob-Anlage insbesondere bei hohem Fasergehalt im Abwasser. Zur Reinigung wird er mit Hochdruck ausgespritzt. Bei Verschleimung muss mit 5%iger Natronlauge gereinigt werden, bei 60 °C und einer Einwirkzeit von 6 h. Es wird etwa vier mal pro Monat gereinigt. Das Öffnen der Wärmetauscher dauert jedes mal 8 h.

Der Wärmetauscher nach der Anaerob-Anlage wird zur Beseitigung von Verschleimungen zwei mal pro Jahr gereinigt.

4.4 Werk D

Werk D ist eine integrierte Zellstoff- und Papierfabrik. Das Produktionswasser wird größtenteils dem Oberflächengewässer entnommen, zu einem geringen Anteil einem Brunnen.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird im Folgenden auf die Daten der Papierherstellung fokussiert. Da der Kühlwassereinsatz nicht zwischen Zellstoff- und Papierherstellung differenziert wurde, sind diese Bilanzdaten nicht zuordenbar.

Die spezifische Frischwassermenge für die Papierproduktion beträgt 17 l/kg (Papier brutto). Die Abwasserreinigung besteht aus einer sedimentativen Vorklärung, einem Anaerobreaktor und einer Belebung.

4.4.1 Wärmesituation Werk D

Der spezifische Sekundärenergie-Verbrauch (Strom und Dampf) der Papierproduktion beträgt 3200 kWh/(t Bruttoproduktion). Temperaturen wurden nur für Sommer angegeben.

Das Oberflächenwasser hat eine Temperatur von ca. 21 °C. Kühlwasser aus dem Gesamtwerk (21 °C) wird mit dem Ablauf ARA (38 °C) zusammengeführt und dann mit einer Temperatur von 31,6 °C in den Vorfluter abgeleitet.

Tab. 4 Wasser- und Wärmebilanz Papierproduktion von Werk D ohne ARA, ohne Kühlsystem, Sommer

Papierprod.	Sommer		ohne ARA und Kühlwasser		Werk D
Input	Wasser l/kg	Temp.	Energie MWh/a	Energie kWh/t	
Strom			378.000	1.512	47%
Dampfenergie			423.197	1.693	53%
Rohstoffe	0,1	25,0 °C	122	0	
Produktionswasser	16,8	21,0 °C	0	0	
Summe Input	16,9		801.319	3.205	100%
Output		Temp.	MWh/a	kWh/t	
Verdampfung*	1,4		256.401	1.026	32%
andere Wärmeverluste			468.066	1.872	58% RR
Papier	0,1	50,0 °C	675	3	
Rohabwasser	15,4	38,0 °C	76.177	305	10%
Summe Output	16,9		801.319	3.205	100%

*geschätzt

RR=Rückrechnung

Eine Bilanz konnte nur für das Teilsystem Papierproduktion ohne ARA erstellt werden (Tab. 4). Da Kühlwassermenge und -temperatur des Teilsystems nicht vorlagen, ist der Wärmeabfluss über das Kühlwasser in der Zeile „andere Wärmeverluste“ enthalten. Die spezifische Verdampfung ist eine Annahme.

Mit dem Rohabwasser verlassen 305 kWh/t (10 % der eingesetzten Sekundärenergie) die Papierfabrik. Der gleiche Energieanteil wird mit der Einleitung in den Vorfluter eingetragen, da Zulauf und Ablauf der ARA die gleiche Temperatur aufweisen.

4.4.2 Einleitegrenzwerte Werk D

Die Temperatur von der gemeinsamen Einleitung von Kühlwasser und Abwasser an der Einleitestelle ist auf 32,7 °C beschränkt. Auch die Kühlwassermenge ist limitiert. Das Werk strebt eine Erhöhung der Kühlwasserkapazität an, um den Grenzwert sicher einhalten zu können.

4.4.3 Kühlaggregate Werk D

Das Werk verfügt über mehrere Wärmetauscher innerhalb des Produktionsprozesses und verschiedene Rieseltürme.

Kühlwasser aus der Zellstoffherstellung wird zur Rückkühlung über saugbelüftete Nasskühltürme geführt. Der Durchsatz ist 2000 m³/h, die Leistung 42 MW. Das Warmwasser wird von 45 auf 27 °C abgekühlt. Die Investitionskosten betrugen 1,85 Mio. DM (44.000 DM/MW), als Betriebskosten werden ca. 60.000 DM/a angegeben (ca. 0,40 DM/MWh). Die Rückkühlanlage wird von Mai bis Oktober betrieben.

4.5 Diskussion der Bestandsaufnahmen

Tab. 5 fasst die Daten der beteiligten Werke zusammen.

Tab. 5 Eckdaten und Wärmehaushalt der Werke

Sorten		Werk A holzfreie Papiere		Werk B ZDP		Werk C Wellenstoff	Werk D Integrierte Fabrik
Frischwasserquelle		Brunnen, Oberfl.w.		Oberfl.wasser		Oberfl.wasser	Oberfl.wasser
Frischwassermenge	l/kg	22,3		9,3		6,2	16,8
Abwassermenge	l/kg	20,7		8,0		5,1	15,4
Rückführung Bioreinwasser	l/kg	3,8		-		-	-
Sekundärenergie	kWh/t	2.716		2.796		1.699	3.205
davon Dampf	kWh/t	1.982 73%		1.738 62%		1.224 72%	1.693 53%
davon Strom	kWh/t	734 27%		1.059 38%		475 28%	1.512 47%
Grenzwerte Vol.strom	l/kg	33		9		10	n.e.
Abwasser Temperatur	°C	30,0		-		-	32,7 inkl.
Temp.erhöhung Vorfluter	K	-		-		-	- Kühlw.
Grenzwerte Vol.strom	l/kg	-		-		-	limitiert
Kühlwasser Temperatur	°C	-		-		-	s. Abwasser
		Sommer	Winter	Sommer	Winter	Mittel	Sommer
Temperaturen Frischwasser	°C	15,9	11,4	15,0	5,0	15,1	21,0
Siebwasser	°C	47,0	47,0	50,0	45,0	46,0	n.e.
Rohabwasser	°C	29,9	29,3	50,0	45,0	46,0	38,0
Einleitung in Vorfluter	°C	23,3	17,0	38,0	35,0	28,5	31,6
Wärmefracht Rohabwasser	kWh/t	400	510	326	321	209	305
=Anteil vom Energieeinsatz		15%	19%	12%	11%	12%	10%
Ablauf ARA in Vorfluter	kWh/t	134	179	214	241	104	305
=Anteil vom Energieeinsatz		5%	7%	8%	9%	6%	10%
Kühlwasser in Vorfluter	kWh/t	-	-	131	103	-	n.e.
=Anteil vom Energieeinsatz		-	-	5%	4%	-	n.e.

n.e. nicht erfasst

Grenzwerte

Zwei der beteiligten Werken unterliegen Temperatur-Einleitengrenzwerten, diese sind als typisch anzusehen. Die Temperaturerhöhung des Vorfluters war bei den untersuchten Werken nicht reglementiert.

Im Vergleich dazu gaben in der vdp-PTS-Wasserumfrage 1996 [1] von 62 direkt einleitenden Werken 37 einen Temperaturgrenzwert an. Dieser liegt in einem Bereich von 22-38 °C, im Mittel bei $31 \pm 3,3$ °C (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung). Z. T. sind die Grenzwerte für Sommer und Winter unterschiedlich. Von den 62 befragten Direkteinleitern sind 4 Werke in der Aufwärmung des Vorfluters limitiert.

Wärmehaushalt und spezifische Abwassermenge

Nur ein geringer Teil (10-19 %) der in einer Papierproduktion eingesetzten Sekundärenergie verlässt die Produktion über das Rohabwasser. Die abgeleitete Wärmefracht ist dabei im Winter höher, falls Oberflächenwasser eingesetzt wird: Dieses ist im Winter kälter und nimmt mehr Wärme auf.

Grundsätzlich gilt: Eine Reduzierung der spezifischen Abwassermenge in einem Werk führt dazu, dass die Wärme-Ableitung mit dem Abwasser vermindert wird. Bleibt der Energie-Eintrag in die Produktion konstant, resultiert zunächst zwangsläufig eine Erhöhung der System- und Abwassertemperaturen.

Werden die Werke A-D jedoch miteinander verglichen, steigen die Abwassertemperaturen nicht mit sinkender spezifischen Abwassermenge. Auch in der bereits zitierten vdp-PTS-Wasserumfrage liegen die angegebenen Rohabwasser-Temperaturen relativ einheitlich bei 31 ± 6 °C und die Einleitetemperaturen bei 26 ± 5 °C (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung) [1]. Entsprechend korreliert die mit dem Rohabwasser abgeführte Wärmefracht mit der spezifischen Abwassermenge (Abb. 3). Die Werke A-D und die Werke der Umfrage sind hier nebeneinandergestellt.

Der Temperaturanstieg durch die in der Vergangenheit forcierten Kreislaufeinengungen wurde in den Werken also durch geeignete Maßnahmen aufgefangen. Solche Maßnahmen können das Abstellen von Heizungen im Stoff-/Wassersystem sein (vgl. Kap. 7.1) oder die bei eingengten Kreisläufen zwangsläufig notwendigen Kühleinrichtungen.

Kühlung

Die Rohabwässer von Werk B und C weisen mit bis zu 50 °C hohe Temperaturen auf. Diese Werke haben Wärmetauscher im Zulauf zu den biologischen Stufen installiert. Die nominell geringere Temperatur bei Werk A beruht darauf, dass das Produktionsabwasser (im Sommer) noch im Bereich der Produktion gekühlt wird. Gleichzeitig hat Werk A eine hohen spezifischen Frischwassereinsatz. Werk D kühlt ebenfalls innerhalb der Produktion.

5 Problemlösung in anderen Industriezweigen

Es wurde recherchiert, wie das Problem zu hoher Abwassertemperaturen in anderen Industriezweigen angegangen wird. Literaturrecherchen und Anfragen bei der chemischen Industrie zeigten keine anderen Lösungswege auf als die hier für die Papierindustrie untersuchten Verfahren.

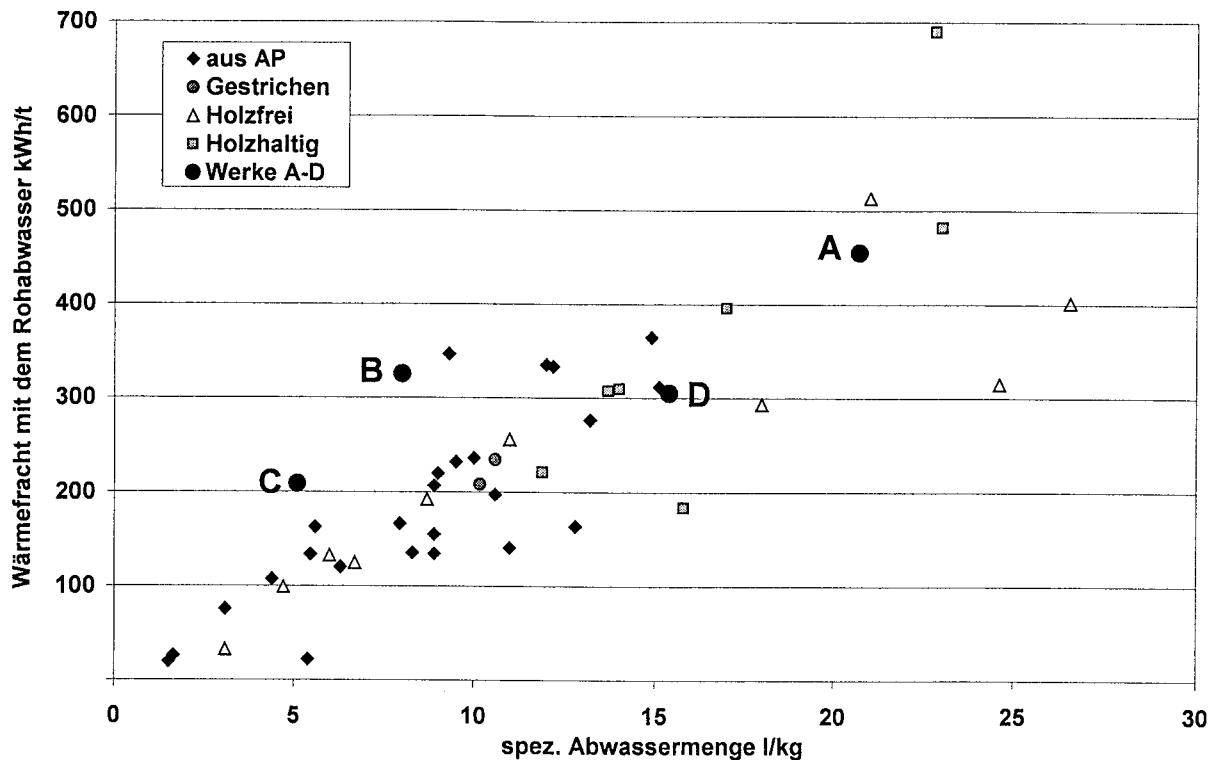


Abb. 3 Spezifische Wärmefracht im Rohabwasser über der spezifischen Abwassermenge. Werke nach Produktsorten (aus Umfragedaten [1], als Frischwasser-Bezugstemperatur wurden 14 °C angenommen) und untersuchte Werke A-D

6 Wärmetauscher und Kühltürme

6.1 Grundlagen

Die Übertragung der Wärme geschieht durch Wärmetransfer vom warmen Abwasser zum kalten Kühlmedium. Sie erfolgt entweder indirekt mit Wasser als Kühlmedium oder direkt mit der Umgebungsluft als Kühlmedium.

Bei **Wärmetauschern** (indirekte Wärmeübertragung) ist das Abwasser durch Zwischenwände aus einem gut wärmeleitenden Werkstoff vom Kühlwasser getrennt. Die Zwischenwände leiten die Wärme von der einen zur anderen Seite. Man verwendet vorwiegend Platten- oder Rohr-bündelwärmetauscher. Sie können im Gegenstrom- oder Gleichstromverfahren betrieben werden. Der Wirkungsgrad in Hinblick auf eine maximale Abkühlung bei minimaler Erwärmung des Kühlwassers ist beim Gegenstromverfahren besser. Eine Regelung ist durch Variation des Kühlmedium-Durchsatzes möglich.

Auch Luft kann als Kühlmedium verwendet werden. Wegen der vergleichsweise geringen Wärmekapazität und der schlechten Wärmeleitung der Luft sind hierbei große Luftmengen erforderlich.

Bei offenen **Kühltürmen** (direkte Wärmeübertragung) wird das Abwasser mit Umgebungsluft in Kontakt gebracht. Dabei wird dem Wasser sowohl durch Wärmeübertragung auf die Luft als auch durch Verdunstung Wärme entzogen.

Kühltürme besitzen ein Auffangbecken für das gekühlte Wasser, im oberen Teil des Turmes eine Schicht mit Verteilern, die das warme Wasser verspritzen, und darüber einen hohen sich

nach oben verengenden Schlot, durch dessen Kaminwirkung die Luft durch die Spritzschicht durchgesaugt wird. Häufig wird der Luftdurchzug mit saugenden oder drückenden Ventilatoren verstärkt. Durch Anpassen der Luftmenge wird die Temperatur des ablaufenden Wassers geregelt. Kühleleinbauten (Latten, Tropfroste) erhöhen die Austauschfläche.

Bei Kühltürmen mit geschlossenem Wasserkreislauf durchströmt das abzukühlende Medium Rohrbündel im Kühlturm, die von oben mit Wasser besprüht werden (indirekter Wärmetausch). Das Wasser dieses Sekundärkreislaufs wird offen mit der aufströmenden Luft gekühlt (direkter Wärmetausch) und rezirkuliert.

6.2 Anordnung der Aggregate in der Abwasserreinigung

Ein Kühlaggregat kann vor oder nach der Abwasserreinigungsanlage angeordnet sein. Die Abwässer aus Papierfabriken haben vorwiegend dann eine höhere Temperatur, wenn sie aus eingeeengten Kreisläufen kommen. Sie sind dann auch in aller Regel stark belastet mit gelösten und ungelösten Stoffen, die zu Ausfällungen und Ablagerungen und damit zu Verstopfungen in indirekten Wärmeübertragern führen. In direkten Wärmeübertragern ist mit biologischer Aktivität zu rechnen; Verschleimung und/oder biologischer Rasen treten auf.

Die Problempotentiale sprechen deshalb zunächst für eine Anordnung hinter der Abwasserreinigungsanlage. Andererseits wird die Abwasserreinigung aber durch zu hohe Temperaturen beeinträchtigt. Bei aeroben biologischen Verfahren kann es oberhalb von 39-40 °C zu Betriebsstörungen kommen. Anaerobe Verfahren benötigen ein Temperaturfenster, das entweder zwischen ca. 30 und 38 °C (mesophiler Bereich) oder zwischen 55 und 60 °C (thermophiler Bereich) liegt. Außerdem benötigen biologische Verfahren zumeist eine Vorklärung, die ebenfalls durch höhere Abwassertemperaturen beeinträchtigt wird (Konvektionsströmungen stören die Sedimentation).

6.3 Verfahrenstechniken

6.3.1 Wärmetauscher

Verschmutzungen und Verkrustungen auf der Primärseite von Wärmetauschern sind kritisch. Eine Überdimensionierung ermöglicht auch bei Verschlechterung des Wärmeübergangs immer noch eine ausreichende Kühlleistung. Zur Vermeidung von Korrosion muss das Aggregat aus Edelstahl (V4A, 1.4571) bestehen.

Plattenwärmetauscher bieten die größtmögliche Sicherheit gegen Verstopfungen, da bei ihnen während der Rückspülung hohe Strömungsgeschwindigkeiten erzielt werden, so dass der mechanische Reinigungseffekt hoch ist.

Der gesamte Wärmetauscher sollte in etwa 4 bis 6 Untereinheiten aufgeteilt werden, die wechselweise gereinigt werden. Für die Rückspülung einer Einheit sind dann nicht so hohe Massenströme erforderlich. Außerdem kann während der Rückspülung durch die übrigen Einheiten weiterhin die volle Kühlleistung erbracht werden.

Zur Spülung kann vorteilhaft ein Druckbehälter an Stelle einer Pumpe installiert werden. Dieser ist etwa 1/3 mit Wasser und 2/3 mit Druckluft gefüllt. Das Auslassventil öffnet so rasch, dass das Wasser schwallartig zusammen mit der Luft den Wärmetauscher durchströmt. Damit wird die beste Reinigungswirkung erzielt. Die Wassermenge sollte etwa dem Inhalt der Primärseite des Wärmetauschers entsprechen. Chemische Reinigungsmittel unterstützen die Spülung. Das Spülwasser wird aufgefangen und an geeigneter Stelle eingespeist (z. B. vor der Vorklärung).

Wenn es sich in Vorversuchen gezeigt hat, dass nur in größeren Abständen gereinigt werden muss, kann es vorteilhaft sein, auf die Rückspülung zu verzichten und zur Reinigung die Platten nach Öffnung der Pakete abzuspritzen. Eine Verkalkung auf der Primärseite ist unwahrscheinlich, da die Löslichkeit des Calciumcarbonats mit abnehmender Temperatur steigt.

In jedem Falle sind Vorversuche notwendig, um Aussagen über die Verstopfungsgefahr machen zu können.

Der Platzbedarf für Wärmetauscher ist gering. Die austauschenden Medien müssen möglichst intensiv in Kontakt gebracht werden – nur getrennt durch die Austauschflächen –, so dass kompakte Bauweisen resultieren.

6.3.2 Auslegung von Wärmetauschern

Wärmetauscher sind im Gegenstrom zu betreiben. Bei einer angenommenen Kühlwassereintrittstemperatur von 16 °C und Austritt des Abwassers mit 25 °C liegt die mittlere Temperaturdifferenz bei $\Delta T_1 = 9$ K. Wenn die Abwassertemperatur 35 °C beträgt und die Temperatur im aufgeheizten Kühlwasser 30 °C nicht überschreiten soll, beträgt $\Delta T_2 = 5$ K. Der Wärmetauscher ist dann auf eine Temperaturdifferenz von

$$\Delta T = (\Delta T_1 - \Delta T_2) : \ln (\Delta T_1 / \Delta T_2) = 7 \text{ K}$$

auszulegen. Die Abkühlspanne des Abwassers ist 10 K, die Aufheizspanne des Kühlwassers 14 K. Der Nenn-Kühlwasserstrom beträgt bei den gegebenen Auslegungswerten

$$10 \text{ K} / 14 \text{ K} = 0,71 * Q_{AW} \text{ (} Q_{AW} = \text{Nennabwassermenge).}$$

Die endgültige Auslegung hängt von der Wärmeleitfähigkeit der Austauscherflächen ab.

6.3.3 Luftkühler, geschlossene Kühltürme, Hybrid-Systeme

Auch gegen Luft kann geschlossen gekühlt werden. Diese Technik ist wirtschaftlich aber nur bei höheren Temperaturen (etwa ab 60 °C) zu betreiben und erfordert große Luftmengen. Außerdem sind die Schallemissionen beträchtlich. Für den Sommerbetrieb wird i. A. eine zusätzliche Unterstützung durch Kühlwassereinsatz oder durch Verdunstungskühlung benötigt (geschlossene Kühltürme, Hybrid-Kühlturm), so dass diese Technologie für Papierfabriks-Abwässer nicht in Frage kommt.

6.3.4 Offene Kühltürme

Die Verstopfungsgefahr durch ungelöste Stoffe im Abwasser ist bei Kühltürmen geringer als bei indirekten Wärmetauschern. In den Zonen des Kühlturms, in denen die Temperatur des Abwassers unter 40 °C liegt, ist jedoch mit biologischer Aktivität zu rechnen. Folgen können das Überwachsen von Kühleinbauten und Geruchsprobleme sein. Das Verteilersystems hat hierbei keine relevante Spülwirkung (wie etwa bei Tropfkörperanlagen).

Durch den für den Bestimmungszweck erforderlichen Verdunstungsprozess können darüber hinaus Kalkausfällungen und -ablagerungen auftreten. Durch die Verdunstung wird das Gleichgewicht zwischen Calciumhydrogencarbonat und Calciumcarbonat verschoben, weil Kohlendioxid ausgetrieben wird. Calciumcarbonat (Kalk) ist schwerlöslich.

In Einzelfällen kann daran gedacht werden, einen Tropfkörper in die Abwasserreinigungsanlage zu integrieren, wenn dies von der Abwassertemperatur her möglich ist. Dieser bewirkt dann im Nebeneffekt eine Abkühlung des Abwasserstroms. Tropfkörper sind jedoch u. a. wegen der Geruchsproblematik nicht mehr Stand der Technik in der Reinigung von Papierfabriks-Abwässern.

Der Verzicht auf Kühleinbauten mindert die Probleme biologischen Bewuchses, gleichzeitig aber den Wirkungsgrad.

Der Platzbedarf direkter Wärmeüberträger ist weitaus größer als der von indirekten, da eine möglichst große Dreiphasen-Grenzfläche Füllkörper-Wasser-Luft benötigt wird.

6.3.5 Auslegung von Kühltürmen

Theoretisch lässt sich über die Verdunstungswärme des Wassers die pro Zeiteinheit zu verdunstende Wassermenge ermitteln. In der Praxis hängt die Kühlleistung des direkten Wärmeübertragers aber von weiteren Faktoren ab, insbesondere der Art und Oberfläche der Kühleinbauten und der gesamten zur Verdunstung benutzten Fläche sowie dem Luftdurchsatz (Naturzug oder Ventilator). Die Auslegung nimmt deshalb zweckmäßigerweise der Lieferant vor.

6.4 Kosten

6.4.1 Anfragen bei Herstellern

Zur Ermittlung von Kosten und Auslegungsempfehlungen wurden folgende Hersteller von Wärmeübertragern angeschrieben (in alphabetischer Reihenfolge):

- Alfa Laval GmbH, Postfach 1114, 21509 Glinde
- Balcke-Dürr Gruppe BDAG, Nürnberg
- GEA Wärme- und Anlagentechnik, Köpenicker Str. 325, 12555 Berlin
- Funke Wärmetauscher Apparatebau GmbH, Postfach 1152, 31021 Gronau
- Heat Exchanger Systems (Kapp Apparatebau) GmbH, Hohe Flum 31, 79650 Schopfheim
- Klarex Technology BV, Stationsweg 23, NL-3863 CG Nijkerk/Niederlande
- Otto Thermotech GmbH, Postfach 1101, 57473 Wenden-Gerlingen
- SGL-Technik GmbH, Postfach 1233, 86401 Meitingen
- SWEP Wärmetauscher Deutschland AG, Postfach 101214, 31112 Hildesheim

Es wurde um Angebote für Kühlaggregate gebeten, die Abwasser von 35 °C auf 25 °C abkühlen. Die Aggregate sollten für Durchsätze von 40; 150 und 250 m³/h ausgelegt werden, entsprechend Kühlleistungen von 0,46; 1,75 und 2,9 MW. Mit den in Tab. 6 aufgeführten Werten wurde eine hohe Abwasserbelastung vorgegeben.

Tab. 6 Belastungen des zu kühlenden Abwassers

Abdampfdruckstand	15 g/l	Leitfähigkeit	1.500 µS
Gelöste organische Stoffe *) als Glühverlust	10 g/l	Calcium-Konzentration	700 mg/l
CSB	20 g/l	Abfiltrierbare Stoffe ***)	1 g/l
BSB	10 g/l	pH-Wert	6,8
Gelöste Salze als Glührückstand **)	4 g/l	Temperatur	35 °C

*) Zucker, Stärke, niedere Alkohole, Aldehyde, Fettsäuren, etwas Lignulfonate und Harzsäuren

**) Natrium-, Calcium-, Aluminium-, Chlorid, Sulfat, Hydrogencarbonat, Acetat

***) Teilchengröße kolloidal bis ca. 0,2 mm; Zellulosefaserteilchen, anorganische Pigmente (Calciumcarbonat, Kaolin), Druckfarbenpartikel, Calciumresinate

Angebote haben abgegeben Alfa Laval, Heat Exchanger Systems, Klarex und Otto Thermotech. BDAG verwies auf die WABAG, diese wiederum auf Barriquand, Frankreich (keine Antwort); GEA verwies auf Purac, Purac auf GEA und Alfa Laval.

GEA hat zwar umfangreiches Prospektmaterial vorgelegt; trotz mehrmaliger Erinnerung per Telefon und Fax aber die zugesagten Angebote nicht geliefert. Funke, SGL und SWEP gaben kein Angebot ab.

Purac stellt keine Wärmetauscher her. Es werden komplette Abwasserreinigungsanlagen angeboten, die benötigten Komponenten werden zugekauft. Man empfiehlt bei der Auswahl von Wärmetauschern insbesondere die Beachtung folgender Punkte:

- Wegen möglicher Geruchsprobleme sollten geschlossene Systeme verwendet werden.
- Es sollten Freiströmer eingesetzt werden; die zu erwartende Belastung mit ungelösten Stoffen, insbesondere Fasern, sollte auch für Störfälle angegeben werden.
- Um auch bei durchlaufendem Betrieb reinigen zu können, sollten die Wärmetauscher in mehrere Module aufgeteilt werden mit mehr als 100% Kapazität; Spülstutzen sollten vorgesehen sein.
- Reinigung kann periodisch durch Spülstutzen mit oder ohne Chemikalien erfolgen. Gegebenenfalls muss der Austausch geöffnet werden, dies kann Tage dauern.
- Bei der Abschätzung der Betriebskosten sollten die Reinigungskosten (Ameisensäure und/oder Biozid) berücksichtigt werden.

6.4.2 Angebote

Alle abgegebenen Angebote verstehen sich in DM ohne Mehrwertsteuer und Transportkosten.

Alfa Laval (Plattenwärmetauscher)

Durchsatz m ³ /h	Typ	Kühlwasser- temp. ein	Kühlwasser- temp. aus	Kühlwasser- menge m ³ /h	Investitions- kosten DM	spez. IK DM/MW
40	2x V45-SST	24 °C	28 °C	105	2 x 6.870	30.000
150	2x M15-MFM8	24 °C	27 °C	330	2 x 21.260	24.300
250	2x M20-MFM	24 °C	27 °C	761	2 x 31.680	22.000

Alle Tauscher sind zur Wartung redundant vorgesehen. Werkstoff ist Edelstahl (1.4401 bzw. AISI 316). Dieser Werkstoff bietet ausreichenden Schutz gegen Korrosion [4].

Alfa Laval empfiehlt bei der Auswahl insbesondere die Beachtung folgender Punkte:

- Der modulare Aufbau (Baukastensystem) ist vorteilhaft, weil er dem Bedarfsfall gut anzupassen und flexibel auch bei späteren Erweiterungen ist
- Plattenwärmetauscher sind bei dieser Verschmutzung anderen Verfahren vorzuziehen
- Die Auslegungsdaten sollten sorgfältig bestimmt werden, die Anlagen dann auch entsprechend den Auslegungsdaten betrieben werden
- Auf der Primärseite (Abwasser) sollte stets mit dem Auslegungsdurchsatz gefahren werden, auch wenn damit ein Druckverlust in Kauf genommen wird. Bei reduziertem Durchsatz besteht die Gefahr verstärkter Ablagerungen und Verschmutzung
- Starke Mengenschwankungen sollten durch einen Puffer ausgeglichen werden
- Um bei ungestörtem Betrieb reinigen zu können, müssen 2 x 100 % Kapazität installiert werden. Optimal ist die Installation von 3 x 50 % Kapazität für die Wartung (2 x 50 % Betrieb, 1 x 50 % Wartung), reduzierten Durchsatz im Winter (Betrieb mit 1 x 50 %) und Spitzenbelastung (Betrieb mit 3 x 50 %)

Heat Exchanger Systems (Spiralwärmetauscher)

Durchsatz m ³ /h	Typ	Kühlwasser- temp. ein	Kühlwasser- temp. aus	Kühlwasser- menge m ³ /h	Investitions- kosten DM	spez. IK DM/MW
40	Gegenstrom	16 °C	26 °C	38	45.800	100.000
150	Gegenstrom	18 °C	22 °C	143	98.700	56.400
250	Gegenstrom	18 °C	22 °C	239	149.900	51.700

Als Werkstoff wurde 1.4462 zugrundegelegt; dieser Stahl dürfte ausreichend gegen Korrosion im vorgegebenen Medium geschützt sein [5].

Es gibt keine Aussage zur Wartung bzw. Reinigung der Wärmetauscher. Auch Empfehlungen zur Redundanz fehlen. Erstaunlich ist auch die knappe Berechnung der benötigten Kühlwassermengen. Offenbar wurde ein Computerprogramm verwendet; dies ist aus dem Ausdruck erkennbar, der dem Angebot beigelegt ist. Es wurde keine Rücksprache gehalten, um eventuell auftretende Probleme in Erfahrung zu bringen.

Klarex Technology (Rohrbündelwärmetauscher)

Durchsatz m ³ /h	Typ	Kühlwas- sertemp. ein	Kühlwas- sertemp. aus	Kühlwasser- menge m ³ /h	Investitions- kosten DM	spez. IK DM/MW
40	Typ 1	18 °C	22 °C	100	105.000	228.000
150	Typ 2	18 °C	22 °C	375	212.000	121.000
250	Typ 3	18 °C	22 °C	625	249.000	85.900

Diese Wärmetauscher sind selbstreinigend: Glaskugeln von 2,5 mm Durchmesser werden mit dem Abwasser durch die Rohre gedrückt und in einem separaten Abscheider zurückgehalten. Werkstoff ist Edelstahl (1.4301; AISI 304); dieser könnte im Medium korrodieren [6]. Wegen der Selbstreinigung ist Redundanz aus der Sicht des Herstellers nicht erforderlich.

Otto Thermotech (Hybrid-Wärmeaustauscher)

Durchsatz m ³ /h	Typ	Kühlwas- sertemp. ein	Kühlwas- sertemp. aus	Kühlwasser- menge m ³ /h	Investitions- kosten DM	spez. IK DM/MW
40	Hybrid-WT FI/FI	16 °C	21 °C	79	24.600	53.500
150	Hybrid-WT FI/FI	18 °C	22 °C	298	35.500	20.300
250	Hybrid-WT FI/FI	18 °C	22 °C	496	42.000	14.500

Als Werkstoff wurde 1.4404 gewählt. Der Anbieter schätzt die Verstopfungsgefahr hoch ein. Die Wärmetauscher sind geschweißt, können nach seiner Aussage aber leicht gereinigt werden, da der Deckel abgenommen werden kann. Durch die verschweißte Ausführung ist die Betriebssicherheit größer und der Wartungsaufwand geringer, es müssen keine Dichtungen ersetzt werden. Auf Wunsch und gegen Mehrkosten können die Austauscher auch in verschraubter Ausführung geliefert werden.

6.4.3 Kühltürme

Nach vorliegenden Daten der PTS ist für einen offenen Kühlturm mit Wasserverteiler und Kühleinheiten unter den aufgeführten Randbedingungen in etwa mit folgenden Kosten zu rechnen:

- Wassermenge: 150 m³/h
- Warmwassertemperatur: 38 °C
- Kaltwassertemperatur: 25 °C
- Feuchtlufttemperatur: 21 °C
- entsprechende Kühlleistung: 2,25 MW
- Wasserqualität: Papierfabrikswasser (Stoffdichte ca. 0,05 g/l)

Investitionskosten: ca. 500.000 DM 220.000 DM/MW

Betriebskosten:

- Leistung Ventilatoren 20 kW
bei 0,045 DM/kWh, 8000 h/a 7200 DM/a
- Leistung Pumpen 10 kW (geschätzt, abhängig vom Druckverlust)
bei 0,045 DM/kWh, 8000 h/a 3600 DM/a
- Wartung und Reparatur: 1000 DM/a

Summe Betriebskosten: ca. 11800 DM/a 0,66 DM/MWh

6.5 Zusammenfassung Wärmetauscher und Kühltürme

Sowohl direkte als auch indirekte Wärmeübertragungsverfahren sind technisch einsetzbar. Unter den Aspekten Störungsanfälligkeit, Kosten, Platzbedarf und Umwelteinwirkungen (Geruch, Schwaden, Lärm) ist den indirekten Übertragungsverfahren, den Wärmetauschern, der Vorzug zu geben. Voraussetzung für diese ist jedoch, dass entweder das erwärmte Kühlwasser in den Prozess eingebunden werden kann oder dass es separat in den Vorfluter eingeleitet werden kann.

Als Wärmetauscher am besten geeignet sind Plattenwärmetauscher, weil diese die höchste Sicherheit gegen Verstopfung versprechen. Benötigte Kühlwassermengen und -temperaturen können gut abgeschätzt werden. Die endgültige Auslegung sollte erst nach einer Versuchsphase mit dem gegebenen Abwasser erfolgen.

Regelmäßige Reinigung von Wärmetauschern durch Spülung oder ggf. mechanische Reinigung nach Öffnen ist notwendig. Dies erfordert die Aufteilung in mehrere Module, deren Kapazität so bemessen ist, dass während der Reinigung eines Moduls die übrigen noch ausreichende Leistung erbringen.

Kritisch bei Kühltürmen ist der biologische Bewuchs von Kühleinbauten (fouling). Das Entfernen der Kühlkörper verhindert dies größtenteils, mindert aber die Kühlleistung.

Investitionskosten von Kühltürmen liegen deutlich über denen von handelsüblichen Wärmetauschern. Letztere weisen zudem sehr geringe Betriebskosten auf. Die Kosten müssen für den jeweiligen Bedarfsfall individuell ermittelt werden, da sie z. B. auch stark von der gewünschten Redundanz abhängen. Sie liegen – je nach Abwassermenge und zur Verfügung stehender Kühlwassertemperatur – zwischen zehntausend und mehreren hunderttausend DM.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Wärmehaushalt der Produktion

Erster Ansatzpunkt bei Problemen mit der Temperatur vom Zulauf oder Ablauf der ARA oder mit der Erwärmung des Vorfluters ist eine gezielte Änderung des Wärmehaushalts. Im Folgenden sind einige grundsätzliche Überlegungen hierzu aufgeführt.

Energiesparmaßnahmen resultieren zugleich in Einsparungen bei den Energiekosten. In Frage kommen alle Maßnahmen, die den Energieeintrag ins Wasser reduzieren. Ansatzpunkte im elektrischen Bereich sind Pulper, Pumpen und Vakuumanlagen [7], beim Dampf-Einsatz in erster Linie das Dampf-Kondensat-System.

Weiterhin sollten Zusatzheizungen reduziert werden, wie Dampfinjektionen im Pulper oder im Primärkreislauf. Eine Wasserkreislauftrennung unterstützt oder ermöglicht solche Maßnahmen. Hiermit kann erreicht werden, dass die Wärmeeintrag lokal wirkt und sich nicht systemweit verteilt. Geringerer Energiebedarf bei gleichem lokalem Temperaturniveau ist die Folge.

Die Abtrennung von Teilkreisläufen (Loops) eröffnet weitere Möglichkeiten, Wärmefrachten im System zu halten. Abwasser wird hierzu aus kälteren Loops ausgeschleust. Zumeist sind jedoch die heißesten Loops ebenso am stärksten störfstoffbelastet (z. B. Holzstoffanlage). Mit dem Ziel der Störfstoffentlastung des Systems sollte Abwasser nun gerade aus diesen Loops ausgeschleust werden [8]. Hier gilt es also, ein Optimum zu finden.

In einzelnen Werken kann dagegen z. B. ein Ausschuss-Strang oder eine AP-Aufbereitung stärker CSB-belastet sein als ein durch Mahlung oder Dispergierung heißerer Strang der Stoffaufbereitung. Dann verbindet die Abtrennung des Ausschuss-Loops und eine maximale Abwasserausschleusung aus diesem Loop die Ziele der Störfstoff-Entlastung und der Reduzierung der Abwassertemperatur. Simulationsrechnungen, wie sie u. a. von der PTS durchgeführt werden, ermöglichen es, die Auswirkungen solcher Maßnahmen vorherzusagen und Optima für den Wasser- und Wärmehaushalt zu bestimmen.

Um Heiz- und Kühlzwecke im Betrieb über ein Warmwassernetzwerk optimal miteinander zu verbinden, steht das Werkzeug der Pinch-Analyse zur Verfügung (gute Einführung in [9]). Der Heiz- und Kühlaufwand lässt sich damit minimieren. Von einzelnen Umsetzungen in der Papierindustrie wird berichtet [10,11].

7.2 Kühlung

Liegen keine Energiesparpotentiale offen, ist eine Kühlung vorzusehen. Aufgrund der besseren Wasserqualität sind Kühleinrichtungen im Ablauf einer ARA weniger problematisch als im Zulauf. Ist jedoch die Zulauftemperatur kritisch für biologische Stufen, ist ein Einbau vor diesen Stufen notwendig.

Abb. 4 stellt die Zusammenhänge als Entscheidungsablauf dar.

Zur Kühlung sind Wärmetauscher vorrangig in Betracht zu ziehen gegenüber Kühltürmen, die störungsanfälliger und teurer sind, mehr Platz bedürfen und Geruch, Schwaden und Lärm emittieren können. Voraussetzung für Wärmetauscher ist jedoch, dass das erwärmte Kühlwasser in den Prozess eingebunden oder separat in den Vorfluter einleitet werden kann. Die Vorteile der letzten Variante können nur wenige Papierfabriken an größeren Flüssen nutzen. Die Maßnahme ist zudem nicht zielführend, wenn die Erwärmung des Vorfluters kritisch ist.

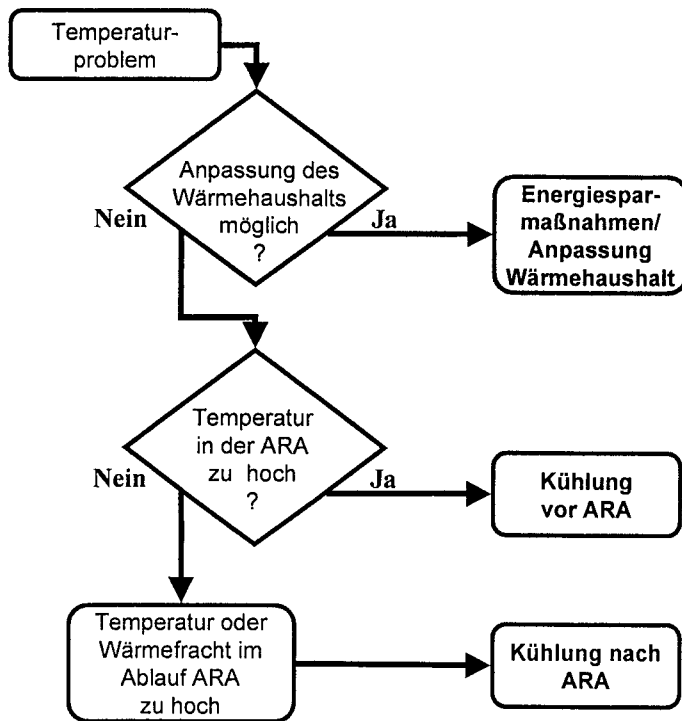


Abb. 4 Entscheidung über die Notwendigkeit einer Kühlung

Die Verwendung von erwärmten Kühlwässern aus dem Papiermaschinenbereich (Hydraulikaggregate, Trockenpartie u. ä.) als Prozesswasser ist Stand der Technik [2]. Ein Beispiel für die Einbindung von Kühlwässern ist für das Werk SCA Laakirchen beschrieben [12]. Ein zusätzlicher Einsatz von erwärmtem Kühlwasser aus der Abwasserreinigung sollte Erwärmungszwecken dienen und damit z. B. Prozessdampf einsparen. Anwendbar kann diese Vorgehensweise im Sortenbereich der Feinpapiere sein: Hier wird z. T. der Primärkreislauf mit Ziel einer besseren Entwässerung aufgeheizt. In anderen Bereichen dagegen sind die Stoffauflauf-Temperaturen bereits aufgrund der Stoffaufbereitungstechnik (Mahlung, Dispergierung, Holzstofferzeugung) oder aufgrund eingegengter Kreisläufe hoch.

Kann das erwärmte Kühlwasser eines Wärmetauschers weder in den Vorfluter eingeleitet noch in den Prozess eingebunden werden, kommen Wärmetauscher nicht in Frage. Abb. 5 macht die für die meisten Fälle anwendbare Entscheidungsfolge deutlich.

Kühltürme als Alternative haben höheren Platzbedarf und verursachen gegebenenfalls Geruch, Schwaden und Lärm. Die Kosten dieser Aggregate sind gegen die Kosten und Risiken des vorliegenden Temperaturproblems abzuwägen.

7.3 andere Lösungswege

Als letzte Möglichkeit kommt nun eine intensivere Recherche zu weiteren Energiesparmaßnahmen in Frage. Auch eine Kreislauföffnung mindert die Ablauftemperaturen, erhöht jedoch die Wärmefracht in den Vorfluter – neben zahlreichen anderen Nachteilen. Eine behördliche Zustimmung ist fraglich. Dieser Weg sollte außer Betracht gelassen werden.

Umgekehrt führt eine Kreislaufeinengung zwar zu höheren Temperaturen in Produktion und im Ablauf der ARA, jedoch zu einer reduzierten Wärmefracht in den Vorfluter. Dies kann bei einer ökologischen Argumentation herausgestellt werden.

Sind die aufgeführten Maßnahmen nach Prüfung nicht geeignet, müssen weitere Einzellösungen diskutiert werden, wie z. B. Verhandlungen mit der Behörde, vollständige Kreislaufschließung, thermophile biologische Reinigung oder Einspeisung ins Fernwärmenetz.

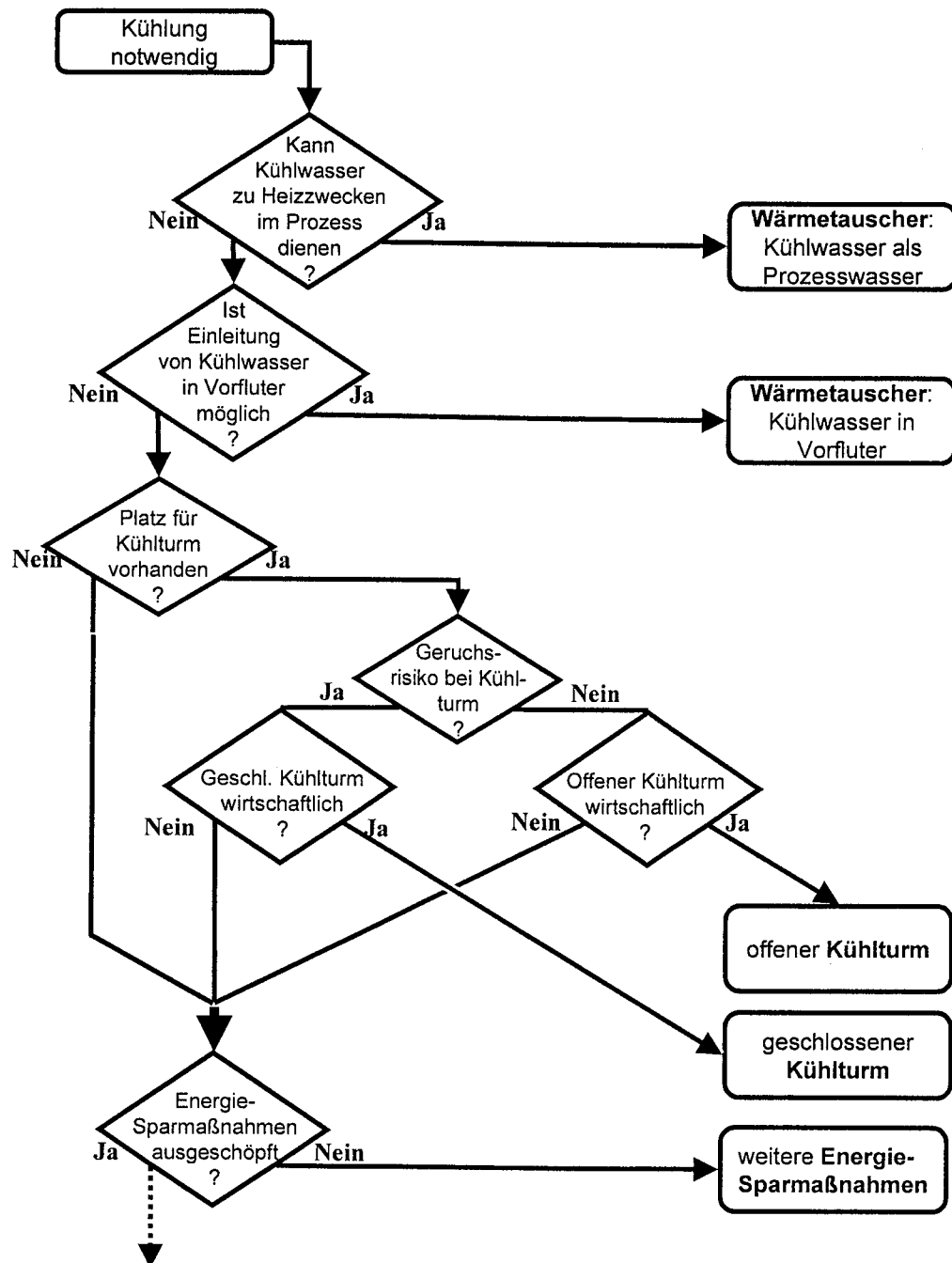


Abb. 5 Entscheidungsablauf über Kühlverfahren und weitere Maßnahmen

Literatur

- 1 N. N.
PTS-VDP-Umfrage Wasser '96
München: Papiertechnische Stiftung (PTS) 1998
- 2 ZIPPEL F.
Wasserhaushalt in Papierfabriken, 1.Aufl.
Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag 1999
S. 66 ff, S. 134 f. und S. 276 ff.
- 3 GÖTZ L.
Entwicklung des Energieeinsatzes in der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie
Das Papier 53, 37-41 (1999), Nr.1
- 4 MUELLER, W.A. und J.M. KOHONEN
Pitting corrosion of stainless steels in six paper machines headboxes: mechanism and prevention
Tappi 55, No 4, 589-598 (1972)
- 5 GELLER A.
Korrosion, Schleim und Geruchsbildung bei der Verringerung des spezifischen Abwasseranfalls in
Papierfabriken
Wochenblatt für Papierfabrikation 112, Nr. 2, 49-58 (1984)
- 6 LAPOINTE M. et al.
Corrosion of stainless steel in a fine paper mill
Pulp Paper Canada 80, No 8, T251-T254 (1979)
- 7 GUILLET F.
Senkung des Stromverbrauchs in der Papierproduktion
in: 1. PTS-CTP-Symposium Umwelttechnik, Hg. von Demel I. und Öller H.-J.
München: PTS 1999
- 8 KAPPEN J. und W. DIETZ
Reduzierung der spezifischen Abwassermenge durch Optimierung der Wasserkreisläufe in
Papierfabriken mit integrierter Holzstofferzeugung
München: Papiertechnische Stiftung (PTS), 48 S.
PTS-Forschungsbericht PTS-FB 07/99
- 9 PETELA E, SMITH R. and Y.-P. WANG
Defining a strategy for fresh water and wastewater minimization using water-pinch analysis
in: Water use and reuse, ed. by Newton D. and Solt G.
Rugby, UK: Institution of chemical engineers 1994, p. 39-46
- 10 TRIPATHI P.
Pinch design reduces wastewater
Chemical engineering 11, p. 87-90, 1996
- 11 DIGGELMANN D.
Energiestudie mit der Pinch-Design-Methode (PDM) bei der Ziegler Papier AG Grellingen/CH
Wochenblatt für Papierfabrikation Nr. 14/15, S. 652-654 (1984)
- 12 KAINDL N.
Großer Effekt, kleiner Aufwand. So funktioniert die vollständige Kühlwasserverwertung bei der
SCA Laakirchen AG
Papier aus Österreich Nr.11, 19 - 22 (1993)