Kurzbericht

zum Forschungsvorhaben:

EINSATZ WEITERGEHENDER REINIGUNGSTECHNOLOGIEN ZUR VERRINGERUNG DER CSB-BELASTUNG UND ABWASSERRÜCKFÜHRUNG BEI DER PRODUKTION VON HYGIENEPAPIEREN BEI DER FIRMA WEPA, GIERSHAGEN

für das

Ministerium für
Umwelt und **Naturschutz,**
Landwirtschaft und **Verbraucherschutz**
des Landes Nordrhein-Westfalen

Aachen, Februar 2007

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(Projektleiter)

Projektpartner

Partner		Bearbeiter
	Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 80 25207 Fax: 0241 80 22285 Email: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de	Dipl.-Ing. S. Baumgarten Dipl.-Ing. D. Gola Dipl.-Ing. D. Arndt
	Papiertechnische Stiftung, München (PTS)	Dipl.-Ing. I. Demel Dipl.-Ing. F. Schmid Dr. H.-J. Öller Dipl.-Ing. S. Bierbaum
	Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, TU Darmstadt (PMV)	Dr.-Ing. U. Hamm Dipl.-Ing. (FH) R. Bauer
	Wepa Giershagen, Papierfabrik P. Krengel Co. KG	Dipl.-Ing. (FH) H. Berger Dipl. Chemie-Ing. (FH) E. Hintz Dipl.-Ing. (FH) W. Köster

Inhalt

1 Einleitung 1

2 Veranlassung und Zielsetzung 3

3 Ergebnisse der Untersuchungen 5

3.1 Membranversuche 5

3.2 Ozonversuche 6

4 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen 9

1 Einleitung

Die Papierherstellung ist ein industrieller Prozess mit einem hohen Wasserbedarf. Wasser kommt bei fast allen Verfahrensschritten, wie dem Suspendieren, dem Quellen, dem Transport, dem Lösen und dem Wiederherstellen der Faserverbindungen zum Einsatz. Außerdem wird es als Sperrwasser für Pumpen und zum Reinigen eingesetzt.

Der Grad der Verschmutzung des durch die Nutzung des Wassers entstehenden Abwassers ist unter anderem von der hergestellten Papiersorte und den zur Papierherstellung eingesetzten Rohstoffe abhängig. Bei der Papierfabrik WEPA wird am Standort Giershagen im Wesentlichen DIP-Stoff (Deinked Pulp) eingesetzt, welcher in der werkseigenen Altpapieraufbereitung hergestellt und als Zelluloseersatzstoff zur Tissue-Erzeugung verwendet wird. Besonders bei dem in die Aufbereitung integrierten Verfahrensschritt des *Deinkens*, bei dem die Druckfarbe aus dem Altpapier entfernt wird, werden Stoffe freigesetzt, welche in herkömmlichen biologischen Abwasserreinigungsanlagen nicht oder nur teilweise eliminiert werden können. Durch die sich in den letzten Jahren verschlechternde Altpapierqualität wird die Belastung des Abwassers mit diesen Stoffe weiter erhöht.

Um den Frischwasserbedarf zu senken, bietet es sich an, das in der Produktion eingesetzte Wasser wiederzuverwenden bzw. produktionsintern im Kreislauf zu führen. Auf diesem Wege konnte in Deutschland in den letzten 25 Jahren in der Papierindustrie die spezifische Abwassermenge pro Produktionseinheit halbiert werden. Die Einengung der Wasserkreisläufe stößt jedoch an ihre Grenzen, wenn höhere Konzentrationen anorganischer und organischer Stoffe und höhere Wassertemperaturen die Produktion negativ beeinflussen.

Eine weitere Möglichkeit ist es, die benötigte Frischwassermenge zu reduzieren, indem weitergehend gereinigtes Abwasser in die Produktion zurückgeführt wird. Hierzu muss jedoch sichergestellt werden, dass das zurückgeführte Wasser die erforderliche Qualität aufweist. In der Regel genügt eine herkömmliche Abwasserreinigungsanlage nicht, um auch schwer eliminierbare Stoffe aus dem Abwasser zu entfernen. Deshalb gewannen in den vergangenen Jahren weitergehende Reinigungsverfahren wie die Nanofiltration (NF) oder die Ozonbehandlung an Bedeutung, allerdings mit sehr unterschiedlichen Erfolgen und Erfahrungen. Beide Verfahren wurden 1999 in zwei Werken der deutschen Papierindustrie erstmalig großtechnisch realisiert. Diese Papierfabriken stellen Zeitungsdruckpapier aus deinktem Altpapier her. Bei MD Lang in Ettringen wird der gesamte biologisch gereinigte Abwasserstrom mit Ozon behandelt und nach abschließender biologischer Nachreinigung mittels Biofiltration in den Vorfluter abgeleitet. Im Werk Eltmann der Papierfabrik Palm werden bis zu 50 % des biologisch gereinigten Abwassers über eine Nanofiltration geführt. Das Permeat wird mit dem nicht membranfiltrierten Teilstrom wieder zusammengeführt und abgeleitet. Durch die weitergehende Reinigung wurde in beiden Fällen die in die Vorfluter

eingeleitete spezifische CSB-Fracht annähernd halbiert. Jedoch wird eine Rückführung der gereinigten Abwässer in keinem der beiden Werke praktiziert.

Weniger erfolgreich verlief der Einsatz der produktionsintergriert eingesetzten Membrantechnologie in zwei Wellpappenpapierfabriken. Beide Werke hatten die Absicht, ihre Papiere auf Basis Altpapier mit einem geschlossenen Wasserkreislauf zu produzieren. In einem Werk wurde dazu eine anaerob/aerobe Reinigungsstufe in den Wasserkreislauf integriert. Ein Teilstrom des biologisch gereinigten Wassers wurde über eine Ultrafiltations- und anschließend über eine Nanofiltrationsanlage geleitet, ehe es in die Produktion zurückgeführt wurde. Dieses Konzept wurde nach zwei Jahren Betriebszeit aufgegeben, da sich die vornehmlich wegen Kalkablagerungen auftretenden Produktionsstörungen als zu gravierend erwiesen. Betroffen davon waren auch die Ultra- und Nanofiltrationsanlagen. Der Wasserkreislauf wurde wieder geöffnet und in diesem Zusammenhang die Membrananlagen außer Betrieb genommen. Das zweite Werk hatte eine Ultafiltrationsanlage mit anschließender Umkehrosmose-Anlage zur Reinigung des Kreislaufwassers installiert. Die durch Scaling und Biofouling auftretenden Probleme in diesen Anlagen erwiesen sich bereits in der Anfahrphase der Papiermaschine als nicht beherrschbar. Die Membrananlagen wurden außer Betrieb genommen und abgebaut. Heute produziert die Papierfabrik ohne Kreislaufwasserreinigung.

Im Bereich der Herstellung von Hygienepapieren ist bislang keine Anwendung einer Ozonbehandlung oder von Membranverfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung bekannt. Bei erfolgreicher Umsetzung der Rückführung von weitergehend gereinigtem Abwasser in einem Werk zur Herstellung von höherwertigen Massenpapieren wie der Papierfabrik Wepa könnte eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Papierfabriken gegeben sein.

2 Veranlassung und Zielsetzung

Die WEPA produziert am Standort Giershagen ausschließlich Hygienepapier. Als Rohstoff dienen Zellstoff und der in der Stoffaufbereitung aus Altpapier hergestellte DIP-Stoff (Zelluloseersatzstoff). Das in der Produktion eingesetzte Wasser wird aus der Diemel, einem nahe gelegenem Fließgewässer, entnommen.

In der werkseigenen Abwasserreinigungsanlage, bestehend aus einer Vorklärung, einer anaeroben biologischen Stufe, einer aeroben biologischen Stufe, einer Nachklärung sowie einer Flotation, wird das anfallende Abwasser behandelt und wieder in die Diemel eingeleitet. Diese ist in die Gewässergüteklasse 1 – 2, also als hochsensibles Gewässer eingestuft. Um der Schutzbedürftigkeit der Diemel Rechnung zu tragen, liegt der CSB-Überwachungswert bei 200 mg/L.

Aufgrund der steigenden Qualitätsanforderungen an Hygieneprodukte und der gleichzeitigen Verschlechterung der Altpapierqualität kam es in den letzten Jahren zu einer Erhöhung der Abwasserbelastung bezüglich des CSBs. Grund hierfür ist, dass eine stärkere Bleiche des Rohstoffs nötig, um den gestiegenen Qualitätsanforderungen an das produzierte Papier gerecht zu werden. Dadurch wird eine höhere CSB-Belastung im Wesentlichen durch zusätzliche persistente – d.h. biologisch nicht abbaubare – Verbindungen hervorgerufen. Daher ist eine Einhaltung des CSB-Überwachungswertes nicht mehr sichergestellt. Von der Bezirksregierung Arnsberg wurde in einem Sanierungsbescheid befristet bis zum 31.12.2006 der CSB-Überwachungswert auf 270 mg/L festgelegt (Sanierungsbescheid v. 16.8.04 Az: 54.02.02.01- 958.024-22.88).

Im Rahmen dieses Vorhabens sollte die Möglichkeit untersucht werden, das Abwasser der Fabrik so weit aufzubereiten, dass es die geforderte Qualität aufweist, um als Frischwasserersatz in der Produktion eingesetzt werden zu können.

Verschiedene Verfahrentechniken zur weitergehenden Reinigung des Abwassers am Standort Giershagen wurden untersucht und halbtechnisch erprobt. Zentrale Ziele der Untersuchungen waren hierbei

- die Festlegung der Qualitätsansprüche an das gereinigte Abwasser zur Wiederverwendung für verschiedene Prozessschritte,
- die Ermittlung eines geeigneten Verfahrenskonzeptes zur Rückführung von weitergehend gereinigtem Abwasser in den Produktionsprozess,
- die Ermittlung geeigneter Bemessungsgrößen, die als Basis für eine technische Realisierung genutzt werden können und eine Bewertung der Kosten zulassen,
- die Reinigung der verbleibenden Abwässer zur Einleitung in die Diemel auf die zulässigen Überwachungswerte (z.B. CSB ≤ 200 mg/L).

Als weitergehende Behandlungsverfahren in Ergänzung zur vorhandenen Abwasserreinigungsanlage waren die Ozon- sowie die Membrantechnik vorgesehen. Es sollte

zunächst in kleintechnischen bzw. Laborversuchen die grundsätzliche Eignung der Verfahren zur Behandlung des vorhandenen Abwassers untersucht werden. Auf Basis dieser Voruntersuchungen sollten die geeigneten Verfahren ausgewählt und in den Pilotmaßstab umgesetzt werden. Ferner diente der Betrieb dieser Pilotanlagen der Ermittlung von belastbaren Angaben für eine Kostenabschätzung. Außerdem sollten bei den Membranversuchen zum einen die Möglichkeit der vorgeschalteten Calciumelimination (Enthärtung) und zum anderen der Betrieb der Membranstufe mit hohem Calciumgehalt des Abwasser untersucht werden.

Des Weiteren sollten die vorhandenen Wasserströme am Produktionsstandort detailliert aufgenommen und analysiert werden. Die mit den verschiedenen weitergehenden Behandlungsstufen aufbereiteten Abwässer sollten hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit an verschiedenen Verbrauchsstellen im Produktionsprozess analysiert und bewertet werden. Die Bewertung der Rückführbarkeit des gereinigten Abwassers in die Produktion sollte zusätzlich durch Computersimulationen unterstützt werden. Hierzu wurde die Simulationssoftware IDEAS (Integrated Design Engineering with advances Simulation, (Firma Amec, vertrieben durch Andritz AG)) verwendet, einem dynamischen Simulationsprogramm, das speziell auf die Zellstoff- und Papierindustrie zugeschnitten ist.

3 Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Membranversuche

Mit der Membranfiltration mit getauchten Modulen kann – je nach Membrantyp - eine CSB-Reduktion von 10 bis 20 % erreicht werden. Dies alleine rechtfertigt den Aufwand für eine Membranfiltration in der Abwasserreinigungsanlage im WEPA Werk Giershagen jedoch nicht, da so der geforderte Überwachungsgrenzwert nicht sicher eingehalten werden kann. Für den Einsatz sprechen jedoch die weitgehende Feststoffabtrennung und Entkeimung des Abwassers. Dieses sind elementare Voraussetzungen für die Rückführung des Abwassers in den Produktionsprozess.

Die Membranfiltration mit getauchten Modulen ist der Filtration mittels Crossflow-Ultrafiltrations-Modulen vorzuziehen, welche zwar eine CSB-Eliminierung von bis zu 60 % leisten konnte, jedoch durch die schnell eintretende Verblockung bei relativ niedrigem Aufkonzentrationsgrad nicht stabil betrieben werden konnte. Eine vorgeschaltete Kalkfalle zur Reduzierung der Calciumkonzentrationen im Abwasser minimierte die Verblockungen und ist für einen sichereren Betrieb der Membranstufe notwendig.

Die Membranfiltration mittels Crossflow-Ultrafiltrations-Modulen scheidet für eine Konzept-auswahl aus, da der große Reinigungsaufwand und der im Vergleich zur Filtration mit getauchten Modulen wesentlich höhere Energieaufwand dieses System wirtschaftlich nicht sinnvoll erscheinen lassen.

Die erzeugte Wasserqualität der mittels Nanofiltration (NF) aufbereiteten Wässer eignet sich zur Rückführung in alle Prozesse. Durch eine Vorbehandlung mittels Mikrofiltration /Ultrafiltration (MF/UF) sind mit der NF insoweit bessere Betriebsergebnisse zu erreichen, als dass höhere Flussleistungen und eine deutliche Verlängerung der Reinigungsintervalle zu erzielen sind.

In Tabelle 3.1 sind die Vor- und Nachteile der getesteten Filtrationsverfahren dargestellt.

Tabelle 3.1: Zusammenstellung der Vor- und Nachteile der getesteten Verfahren

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Getauchte Membran	• kein Retentat bei Betrieb als MBR • Keimfreiheit • Rückhalt von Feststoffen	• Kurze Laufzeiten durch Ca-Verblockung • hohe Personalkosten für Reinigung • hohe Kosten für Reinigungsmittel
Crossflow-Membran	• gute Reinigungsleistung (CSB, Feststoffe) • Keimfreiheit, Rückhalt von Feststoffen • gut geeignet als Vorbehandlung für NF	• kurze Reinigungsintervalle • hohe Personalkosten für Reinigung • hohe Kosten für Reinigungsmittel • Retentatbehandlung erforderlich
Nanofiltration	• Gute Reinigungsleistung (CSB, Ca, Feststoffe) • Keimfreiheit • Reinigung	• Vorbehandlung des Abwassers notwendig • Retentatbehandlung erforderlich

3.2 Ozonversuche

In den Laborversuchen zeigte sich, dass eine Ozonierung die Bioverfügbarkeit des biologisch vollgereinigten Abwassers erhöht. Der CSB des biologisch vollgereinigten Abwassers konnte durch den Eintrag von 0,8 g O_3/g CSB_0 und anschließenden aeroben biologischen Abbau um ca. 50 % reduziert werden. Der gemeinsame Abbau von biologisch teilgereinigtem Abwasser mit biologisch vollgereinigtem und ozoniertem Abwasser erwies sich als positiv gegenüber dem alleinigen Abbau des biologisch teilgereinigten Wassers. Folglich ist für die großtechnische Abwasserreinigungsanlage bei ausreichender hydraulischer Kapazität der bestehenden Anlage keine Beeinträchtigung zu erwarten, wenn biologisch vollgereinigtes und ozoniertes Abwasser in die bestehende aerobe Stufe zurückgeführt wird.

In Ozonpilotversuchen wurde der CSB bei einem Ozoneintrag von 1 g O_3/g CSB_0 um ca. 30 % reduziert. Die Bioverfügbarkeit gemessen als BSB_5/CSB-Verhältnis wurde verzehnfacht, so dass eine weitere CSB-Elimination im Bereich von 20 bis 25 % durch biologischen Abbau zu erwarten ist.

Es wurde aus der Korrelation zwischen dem Zielwert CSB und dem online messbaren Regelparameter SAK eine Regelungsstrategie programmiert. Diese hat in Versuchen zur Regelung der einzutragenden Ozondosis den Zielwert nach durchschnittlich 2,6 Volumenwechseln des Reaktorinhalts neu eingestellt und nach bis zu 1,6 Volumenwechseln auf Veränderungen reagiert und den Zielwert wiederhergestellt.

Die Ozonierung von Membrankonzentrat der NF hat zur CSB-Reduzierung von bis zu 37 % durch Ozoneinträge von bis zu 1,4 g O_3/g CSB_0 geführt. Das NF-Konzentrat (90 %) war bereits ohne Behandlung mäßig biologisch abbaubar. Ozonierung führte zu Erhöhung der

CSB-Elimination von ca. 50 % auf ca. 60 % im für die Übertragbarkeit relevanten Bereich. Eine Ozonbehandlung des großtechnisch anfallenden Konzentrats und ein anschließender aerober Abbau sind mögliche Wege zum weiteren Abbau der Inhaltsstoffe.

Die aus den Untersuchungen resultierenden CSB- bzw. DOC-Eliminationen für die Auslegung einer Ozonbehandlung sind in Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3 zusammengestellt. Als Ausgangswert wird ein CSB von 270 mg/L (DOC 90 mg/L) zu Grunde gelegt. Die DOC-Eliminationen im Biofilter und alle daraus berechneten Werte sind als Bereiche angegeben, da nicht ausreichend viele Messwerte vorliegen.

Tabelle 3.2: CSB-Elimination durch O_3–Behandlung und biologischen Abbau

SOE	CSB_0	$CSB_{eli,O3}$	$CSB_{nach\ O3}$	$CSB_{eli,BF}$	$CSB_{nach\ BF}$	$CSB_{eli,ges}$
	[mg/L]	[%]	[mg/L]	[%]	[mg/L]	[%]
0,6	270	20%	216	20%	173	**36%**
0,75	270	25%	203	25%	152	**44%**
1,0	270	30%	189	30%	132	**51%**

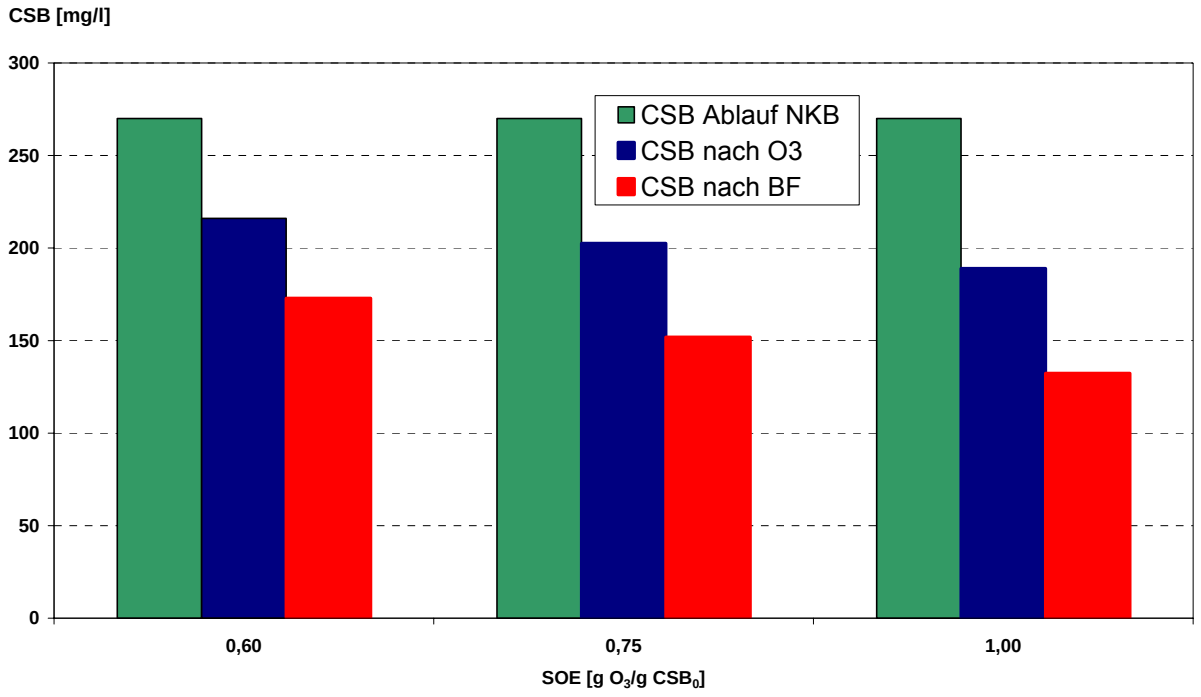
SOE: Ozoneintrag
CSB_0: CSB im Zulauf
$CSB_{eli,\ O3}$: CSB-Elimination durch Ozonierung
$CSB_{eli,\ ges}$: gesamte CSB-Elimination
$CSB_{nach\ O3}$: CSB nach Ozonierung
$CSB_{eli,\ BF}$: CSB-Elimination durch Biofiltration
$CSB_{nach\ BF}$: CSB nach Biofiltration

Tabelle 3.3: DOC-Werte durch O_3–Behandlung und biologischen Abbau

SOE	DOC_0	$DOC_{eli,O3}$	$DOC_{nach\ O3}$	$DOC_{eli,BF}$		$DOC_{nach\ BF}$		$DOC_{eli,ges}$	
				von	bis	von	bis	von	bis
	[mg/L]	[%]	[mg/L]	[%]		[mg/L]		[%]	
0,6	87	10%	78	50%	70%	39	23	55%	73%
0,75	87	12%	76	50%	70%	38	23	56%	74%
1,0	87	14%	74	50%	70%	37	22	57%	74%

SOE: Ozoneintrag
DOC_0: DOC im Zulauf
$DOC_{eli,\ O3}$: DOC-Elimination durch Ozonierung
$DOC_{eli,\ ges}$: gesamte DOC-Elimination
$DOC_{nach\ O3}$: DOC nach Ozonierung
$DOC_{eli,\ BF}$: DOC-Elimination durch Biofiltration
$DOC_{nach\ BF}$: DOC nach Biofiltration

Die zu erwartenden CSB-Werte im Ablauf der Stufen der Abwasserreinigung zeigt Bild 3.1. Aus wirtschaftlichen Gründen sind nur spezifische Ozoneinträge bis 0,75 g O_3/g CSB_0 realistisch.



CSB Ablauf NKB: CSB nach konv. biologischer Behandlung
CSB nach O3: CSB nach Ozonierung
CSB nach BF: CSB nach Biofiltration

Bild 3.1: Erwartete CSB-Werte im Ablauf der einzelnen Reinigungsstufen

4 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen des Vorhabens „Einsatz weitergehender Reinigungstechnologien zur Verringerung der CSB-Belastung und Abwasserrückführung bei der Produktion von Hygienepapieren bei der Firma WEPA, Giershagen“ wurden verschiedene Verfahrentechniken zur weitergehenden Reinigung des Abwassers der Papierfabrik WEPA am Standort Giershagen untersucht und halbtechnisch erprobt. Zentrales Ziel war es, Möglichkeiten zu eruieren, gereinigtes bzw. behandeltes Abwasser in den Produktionsprozess zurückzuführen, um damit neue Wege im produktionsintegrierten Umweltschutz in der Papierindustrie aufzuzeigen. Im Einzelnen waren die Zielsetzungen des Vorhabens:

- Bestimmung der Qualitätsanforderungen an betriebsinternes, gereinigtes Abwasser zur Wiederverwendung in spezifischen Prozessschritten der Papierherstellung,
- Ermittlung eines Verfahrenskonzeptes zur innerbetrieblichen Abwasseraufbereitung vor dem Hintergrund der Rückführung des aufbereiteten Abwassers in den Produktionsprozess,
- Identifizierung geeigneter Bemessungsgrößen,
- Bewertung der anfallenden Kosten und
- Einhaltung der zulässigen Überwachungswerte für die Einleitung der gereinigten Betriebsabwässer in die Diemel.

Die verschiedenen Prozessschritte der Papierherstellung erfordern unterschiedliche Wasserqualitäten. Geringe Qualitätsanforderungen werden an Wasser gestellt, das z. B. zur Stoffverdünnung, Reinigung sowie als Sperrwasser eingesetzt wird. Dieses Wasser darf beispielsweise noch Farbreste enthalten. Die zu erreichenden Qualitäten wurden innerhalb dieses F+E-Projektes mit einem Feststoffgehalt < 10 mg/L und Keimfreiheit definiert. Wasser, welches seinen Einsatz in den Vakuumsystemen, im Chemikalienansatz und in der Sieb- und Filzreinigung findet, muss hingegen hohen Qualitätsanforderungen genügen. Hierbei wurde von feststoff- und keimfreiem Wasser ausgegangen, welches einen CSB von maximal 20 mg/L aufweist.

Soll gereinigtes Abwasser in die Produktion zurückgeführt werden, haben sich die Technologien der weitergehenden Abwasserreinigung an den Qualitätsanforderungen der Papierindustrie zu orientieren. Muss das zurückzuführende Wasser nur geringen Qualitätsanforderungen entsprechen, eignet sich nach den vorliegenden Ergebnissen die Ozonierung oder die Behandlung mit einem Membranbelebungsreaktor (MBR). Qualitätseinbußen sind darauf zurückzuführen, dass das Abwasser nach einer Ozonbehandlung ein Wiederverkeimungspotential aufweist. Mit MBR-Technik behandeltes Abwasser genügt aufgrund einer noch bestehenden Restfärbung nur geringen Qualitätsansprüchen.

Werden hohe Qualitätsanforderungen an das zurückzuführende Wasser gestellt, muss das zuvor mit Ozon- oder MBR-Technik behandelte Abwasser noch zusätzlich in einer nachgeschalteten Nanofiltrationsstufe behandelt werden.

Die Ergebnisse aus dem Betrieb der Pilotanlagen ergaben, dass zur Vermeidung von Scaling eine separate Vorbehandlung des Abwassers zur Elimination des bei der Papierherstellung zugesetzten Härtebildners Calcium bei allen Verfahrensvarianten notwendig ist. Der Einsatz einer Kalkfalle (Kalkfällung mittels Natronlauge) zur Reduzierung der Calciumfrachten hat sich in den Versuchen als zweckmäßig erwiesen. Daher kommt bei allen betrachteten Varianten die bestehende Abwasserreinigungsanlage mit vorgeschalteter Kalkfalle zur Vorreinigung der Abwässer zum Einsatz. Bei den Verfahrenskombinationen, die eine Rückführung von Wasser mit hoher Qualität vorsehen, sind jeweils unterschiedliche Verfahren zur Behandlung des Wassers mit Bestimmung „Rückführung“ und „Einleitung“ vorgesehen.

Auf der Grundlage der im Vorhaben gewonnenen Untersuchungsergebnisse ergibt sich eine an der geforderten Wasserqualität orientierte Verfahrensauswahl zur Behandlung von Abwasser aus der Hygienepapierherstellung:

Zielsetzung: Einhaltung der Überwachungswerte ohne Rückführung

Variante 1: Ozonbehandlung und Biofiltration

Zielsetzung: Rückführung von Wasser geringer Qualität:

Variante 2a: Ozonbehandlung, Biofiltration und UV-Behandlung

Variante 2b: Abwasserrückführung: MBR-Behandlung
Abwasser zur Einleitung: Ozonbehandlung und Biofiltration

Zielsetzung: Rückführung von Wasser geringer <u>und</u> hoher Qualität:

Variante 3a: Abwasserrückführung (geringe Qualität): MBR-Behandlung
Abwasserrückführung (hohe Qualität): MBR-Behandlung, Nanofiltration
Abwasser zur Einleitung: Ozonbehandlung und Biofiltration

Variante 3b: Abwasserrückführung (geringe Qualität): Ozonbehandlung, MF (Tertiary treatment)
Abwasserrückführung (hohe Qualität): Ozonbehandlung, MF (Tertiary treatment) und Nanofiltration
Abwasser zur Einleitung: Ozonbehandlung und Biofiltration. Die Ozonbehandlung wird hierbei auch zur Konzentratbehandlung des entstehenden NF-Konzentrates eingesetzt

Variante 4: Abwasserrückführung (geringe Qualität): MBR
Abwasserrückführung (hohe Qualität): MBR und Nanofiltration

Die Bewertung nach betriebswirtschaftlichen und technischen Aspekten ergab, dass Variante 2a die günstigste Variante darstellt. Die Varianten 3a und 3b schnitten am schlechtesten ab und wurden daher in der Konzeptwahl nicht weiter berücksichtigt. Die übrigen Varianten lagen bzgl. des Bewertungsergebnisses relativ nah beieinander.

Eine grundsätzliche Empfehlung für eine Variante kann nicht gegeben werden, da die Auswahl einer geeigneten Variante von den produktionsspezifischen Erfordernissen und Randbedingungen des jeweiligen Werkes abhängig ist. Vor diesem Hintergrund ergeben sich für einen Einsatz im WEPA Werk zwei entscheidende Fragen:

1. Welche weitergehenden Anforderungen werden seitens WEPA an rückzuführendes Wasser gestellt? Hierbei ist insbesondere der Einfluss des rückgeführten Wassers mit hoher Qualität auf die Produktqualität mit Hinblick auf die Geruchsfreiheit der hergestellten Hygienepapiere von Bedeutung.
2. Welche Entsorgung ist für die Konzentrate möglich? Insbesondere: Können die Konzentrate in der bestehenden Reststoffverbrennung thermisch verwertet werden?

Legt man diese beiden Fragen bei der Verfahrensauswahl zu Grunde, reduzieren sich die Anwendungsmöglichkeiten der einzelnen Varianten wie in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1: Anwendungsmöglichkeiten in Abhängigkeit weiterer Einsatzkriterien

Einsatzkriterien		Konzeptvarianten			
		1	2a	2b	4
Rückführung	nein	X			
	ja, niedrige Qualität		X	X	
	ja, hohe Qualität				X
interne Konzentratbehandlung					X
externe Konzentratentsorgung					

Bei einer Kalkbehandlung des Konzentrates und anschließender betriebsinterner Mitverbrennung des resultierenden Schlammes würden die entstehenden Behandlungskosten die Varianten mit integrierter Nanofiltration (hier Variante 4) wesentlich günstiger gestalten als bei einer externen Entsorgung.

Unter Anrechnung relevanter technischer und wirtschaftlicher Kriterien lassen sich somit folgende Empfehlungen für das Werk WEPA Giershagen formulieren:

- Wenn kein gereinigtes Abwasser in der Produktion zurückgeführt werden soll, wird die Behandlungsvariante 1 empfohlen (Bestehende Abwasserreinigungsanlage mit vorgeschalteter Kalkfalle, Ozonbehandlung und Biofiltration).

- Wird eine maximale Rückführung gewünscht und die interne Konzentratbehandlung ist realisierbar, dann wird Variante 4 empfohlen. (Abwasserrückführung (geringe Qualität): Bestehende Abwasserreinigungsanlage mit vorgeschalteter Kalkfalle, MBR; Abwasserrückführung (hohe Qualität): Bestehende Abwasserreinigungsanlage mit vorgeschalteter Kalkfalle, MBR und Nanofiltration)

- Wird nur eine teilweise Rückführung gewünscht bzw. die interne Konzentratbehandlung ist nicht realisierbar, wird Variante 2b empfohlen. (Abwasserrückführung: Bestehende Abwasserreinigungsanlage mit vorgeschalteter Kalkfalle, MBR-Behandlung, Abwasser zur Einleitung: Bestehende Abwasserreinigungsanlage mit vorgeschalteter Kalkfalle, Ozonbehandlung und Biofiltration)

In den Laborversuchen wurden positive Ergebnisse zur Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser erzielt. Allerdings lässt sich der Einfluss der Wasserrückführung auf die Keimbelastung sowie auf die Geruchsbelastung des produzierten Hygienepapiers zurzeit noch nicht ausreichend quantifizieren. Bei beiden Parametern würde nur die ausschließliche Verwendung von mittels Nanofiltration behandelter Rückwässer das vorhandene Restrisiko hinreichend minimieren. Deshalb wird eine stufenweise Rückführung von weitergehend behandeltem Abwasser empfohlen, während der die Auswirkungen auf die sensorische und mikrobiologische Qualität des produzierten Hygienepapiers intensiv geprüft werden sollten. Erfahrungswerte existieren nicht, da die Papierfabrik WEPA mit der Wasserrückführung technologisches Neuland betreten würde.