



» NEUE WERKSTOFFE / » VERPACKUNGEN / » PRINTPRODUKTE / » RESSOURCENEFFIZIENZ

## PTS-FORSCHUNGSBERICHT IGF 16408

HERKUNFT, CHARAKTERISIERUNG UND VERLAUF VON ORGANISCHEN STICKSTOFFVERBINDUNGEN IN BIOLOGISCHEN ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN VON PAPIERFABRIKEN MIT FRISCH-FASEREINSATZ

# Herkunft, Charakterisierung und Verlauf von organischen Stickstoffverbindungen in biologischen Abwasserreinigungsanlagen von Papierfabriken mit Frischfasereinsatz

S. Bierbaum

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Materialien und Methoden</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Datenerhebung zu (organischem) Stickstoff in Wässern der Papierindustrie</b> .....	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Betriebsuntersuchungen</b> .....	<b>11</b>
6.1	Vorgehen .....	11
6.2	Ergebnisse .....	13
<b>7</b>	<b>Bilanzierung von Stickstoffparametern</b> .....	<b>16</b>
7.1	Vorgehen .....	16
7.2	TN <sub>b</sub> -Küvettest.....	17
7.3	Quellen organischer Stickstoffverbindungen.....	17
7.4	Elimination organischer Stickstoffverbindungen.....	21
<b>8</b>	<b>Datenbewertung und Ableitung der maximal möglichen TN<sub>b</sub>-Elimination</b> .....	<b>26</b>
8.1	N-Konzentrationen in Abwässern verschiedener Herkunftsbereiche .....	26
8.2	N-Elimination in verschiedenen ARAs.....	29
8.3	Fazit .....	31
<b>9</b>	<b>Kostenbetrachtung</b> .....	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>35</b>
	<b>Glossar</b> .....	<b>36</b>

## 1 Zusammenfassung

<b>Ausgangssituation</b>	Der Anhang 28 der Abwasserverordnung soll um den Parameter TN <sub>b</sub> (gebundener Stickstoff) erweitert werden. Der aktuelle Parameter N <sub>ges</sub> umfasst alle anorganischen Stickstoffverbindungen, der TN <sub>b</sub> umfasst zusätzlich auch die organischen N-Verbindungen. Die aktuelle Mindestanforderung an N <sub>ges</sub> liegt bei 10 mg/l, für den zusätzlich aufzunehmenden Parameter TN <sub>b</sub> wird aktuell eine Mindestanforderung von 20 mg/l diskutiert.
<b>Ziel des Projektes</b>	Das Ziel dieses Forschungsprojektes der PTS, München war die Erarbeitung von Maßnahmen, um künftige Stickstoffgrenzwerte auf Basis des Parameters TN <sub>b</sub> in Papierfabriken mit Frischfasereinsatz einhalten zu können.
<b>Ergebnis der Umfrage</b>	Bei allen an der Umfrage teilnehmenden Werken mit Frischfasereinsatz liegt der Jahresmittelwert des Parameters N <sub>ges</sub> deutlich unter dem Überwachungswert, so dass hier keine Probleme zu erwarten sind.
<b>TN<sub>b</sub>-Küvettest</b>	Bei niedrigen TN <sub>b</sub> -Konzentrationen unter 40-50 mg/l – und damit im Bereich der diskutierten Mindestanforderung – ist der untersuchte Küvettest für die tägliche Analytik genauso gut geeignet wie die DIN-Methode. Die Anwendbarkeit muss jedoch im Einzelfall geprüft werden.
<b>Anteil N<sub>org</sub>/TN<sub>b</sub></b>	Der TN <sub>b</sub> besteht in dem einzuleitenden Abwasser durchschnittlich zu (teilweise weit) über 50 % aus organischen Stickstoffverbindungen. Diese werden beim derzeitigen Grenzwert N <sub>ges</sub> nicht berücksichtigt. Die Mindestanforderung an den diskutierten neuen Parameter TN <sub>b</sub> muss also mindestens das Doppelte des N <sub>ges</sub> -Grenzwertes betragen, wenn es zu keiner Verschärfung der Mindestanforderungen kommen soll.
<b>N-Elimination</b>	Tendenziell nimmt mit zunehmender Anzahl der biologischen Reinigungsstufen die durchschnittliche Stickstoffelimination zu. Die höchsten durchschnittlichen Eliminationen zeigt die Anlage mit der Deni-Stufe. Diese Tendenz zeigt sich nicht in allen Parametern bestätigt.
<b>einhaltbare Grenzwerte</b>	Die aktuell geltenden Mindestanforderungen von 10 mg/l an den Parameter N <sub>ges</sub> bzw. ihre individuell geltenden Einleitgrenzwerte werden von allen untersuchten Frischfaser einsetzenden Werken problemlos eingehalten. Sollte der Parameter TN <sub>b</sub> mit der aktuell diskutierten Mindestanforderung von 20 mg/l in den Anhang 28 der Abwasserverordnung aufgenommen werden, so würden alle untersuchten Werke auch diesen Parameter nach dem aktuellen Untersuchungsstand einhalten können ggf. mit geringerem Sicherheitsbereich zum Grenzwert. Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass Betriebszustände auftreten, die die Einhaltung der Grenzwerte zeitweilig erschweren oder gefährden.

---

**Schluss-  
folgerung**

Die Stickstoffeliminationsleistungen und Ablaufkonzentrationen aller untersuchten Abwasserreinigungsanlagen sind sehr unterschiedlich und zeigen keine Systematik/Trends bei Vergleich nach den untersuchten Herkunftsbereichen, den eingesetzten Rohstoffen oder der Art der betriebenen ARA. Es lassen sich also keine pauschalen Maßnahmen zur Verbesserung der N-Elimination in der ARA ableiten, tendenziell zeigen sich höhere Eliminationsleistungen, wenn mehrere Stufen betrieben werden. Aber auch der Vergleich mit der denitrifizierenden Anlage zeigt, dass dies keine Gewähr für maximale N-Elimination ist.

---

**Wirtschaftlichkeit**

Die ursprünglich befürchteten Mehrausgaben zur Erweiterung der ARA um Nitrifikations-/Denitrifikationsstufen zur Einhaltung des neuen TN<sub>b</sub>-Überwachungswertes erscheinen aufgrund der Vorhabensergebnisse derzeit nicht notwendig und müssen nur in Einzelfällen von betroffenen Papierfabriken in Betracht gezogen werden.

Wenn bei Inkrafttreten des neuen Anhangs 28 ein Online-Messgerät zur Eigenüberwachung angeschafft werden soll, so kann ein Kombigerät sinnvoll sein, das TOC und TN<sub>b</sub> messen kann. Die jährlichen Kosten hierfür liegen in der gleichen Größenordnung wie für die Küvettentests bei geringerem Arbeitsaufwand.

---

**Danksagung**

Das Forschungsvorhaben IGF 16408 N der AiF-Forschungsvereinigung PTS wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Unser Dank gilt außerdem den beteiligten deutschen Firmen für die Probenbereitstellung und für die freundliche Unterstützung bei der Projektdurchführung.

---

## 2 Abstract

<b>Theme</b>	Derivation, characterisation and development of organic nitrogen compounds in biological waste water treatment plants of paper mills using virgin fibres
<b>Initial situation</b>	The parameter TN <sub>b</sub> (total nitrogen bound) shall be included in Annex 28 of the Waste Water Ordinance. The current parameter N <sub>total</sub> comprises all inorganic nitrogen compounds, whereas TN <sub>b</sub> additionally includes organic nitrogen compounds. The current minimum requirement to N <sub>total</sub> is 10 mg/l. For the parameter TN <sub>b</sub> to be added to Annex 28, a minimum requirement of 20 mg/l is currently being discussed.
<b>Project objective</b>	The project objective is to develop measures for reducing nitrogen compounds in the effluents of paper mills using virgin fibres. This will make it possible to observe future nitrogen limit values on the basis of TN <sub>b</sub> .
<b>Results of the survey</b>	In all paper mills using virgin fibres and participating in the survey, the yearly average of N <sub>total</sub> was much lower than the limit value. Consequently no problems are expected concerning this.
<b>TN<sub>b</sub> cell test</b>	At TN <sub>b</sub> concentrations below 40-50 mg/l – thus in the range of the discussed minimum requirement – the investigated cell test is just as suitable for daily analytics as the DIN method. However, its applicability has to be tested in each individual case.
<b>Share N<sub>org</sub>/TN<sub>b</sub></b>	TN <sub>b</sub> in waste water to be discharged contains (sometimes much) more than 50 % organic nitrogen compounds. These are not included in the current limit value N <sub>total</sub> . Thus, the minimum requirement to the new parameter TN <sub>b</sub> has to be at least twice as high as the N <sub>total</sub> limit value to avoid tightening of the minimum requirements.
<b>N elimination</b>	The average nitrogen elimination tends to increase with the number of biological stages used. Maximum average elimination levels are found in the treatment plant operating a denitrification stage. This tendency is not reflected by all parameters.
<b>Keeping limit values</b>	The current minimum requirement of 10 mg/l for N <sub>total</sub> or individually applicable limit values are complied with without difficulty by all investigated paper mills using virgin fibres. If the parameter TN <sub>b</sub> is included in Annex 28 of the Waste Water Ordinance with the currently discussed minimum requirement of 20 mg/l, the investigated mills will manage to keep to this limit as well, according to the current state of knowledge, although in some cases with a smaller safety margin. However, it cannot be ruled out that certain operating conditions may occur under which keeping the limit values will temporarily be difficult or at risk.

---

**Conclusion**

The waste water treatment plants investigated differ considerably from one another in their levels of nitrogen elimination and effluent concentration achieved. No trend or classification can be found when comparing the water origins investigated, raw materials used, or types of waste water treatment plants operated. Thus, it is not possible to derive general measures for improving the nitrogen elimination in waste water treatment plants. As a tendency, operating more treatment stages results in higher elimination rates. But a comparison with the denitrifying plant shows that this does not guarantee maximum N elimination.

---

**Economics**

According to our research results, it seems currently not necessary to enlarge waste water treatment plants by nitrification-/denitrification stages in order to comply with the new TN<sub>b</sub> limit value. The initially feared extra costs can thus be avoided. Plant enlargement has to be considered only in special cases and by individual paper mills.

If a mill intends to buy an online analyser for self-monitoring when Annex 28 enters into force, it might make sense to choose a multi-function device that can measure both TOC and TN<sub>b</sub>. Annual expenses would be in the same order of magnitude as for the cell test, but measurements would involve less work.

---

**Acknowledgement**

The IGF 16408 N research project of the AiF research association PTS was funded within the programme of promoting “pre-competitive joint research (IGF)” by the German Federal Ministry of Economics and Technology BMWi based on a decision of the German Bundestag and carried out under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF) in Cologne. We would like to express our warm gratitude for this support.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

We would also like to express our thanks to the involved German companies for providing proper samples as well as for supporting the project performance.

---



### 3 Einleitung

#### EU-Richtlinien erfordern Überprüfung des deutschen Wasserrechts

Die Richtlinie (RL) des Parlamentes und des Rates der Europäischen Gemeinschaft über die integrierte Verminderung und Vermeidung von Umweltbelastungen (IVU-RL) [1]), deren Nachfolgerichtlinie IED-RL [2] und die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, [3]) erfordern eine Anpassung des nationalen Umweltrechtes, wobei insbesondere die Abwasserverordnung (AbwV, [4]) und das Wasserhaushaltsgesetz (WHG [5]) im Hinblick auf erforderliche Anpassungen zu überprüfen sind [6]. Das bedeutet, dass zur Beschreibung des Standes der Technik (S. d. T.) künftig eine weiter als bisher gehende integrierte medienübergreifende Betrachtung zur Verfügung stehen soll. In [7] wurde ein Leitfaden erarbeitet, wie bei der Überprüfung und Anpassung des St. d. T. vorzugehen ist.

#### Neuaufnahme des Parameters TN<sub>b</sub>-

In [7] sowie in der anlässlich der B/L-Besprechung zu § 7 a WHG am 22.03.06 genehmigten Fassung zu [8] wird neben dem Parameter TOC auch der Parameter TN<sub>b</sub> (gebundener Stickstoff) als Parameter zur Bestimmung des Behandlungserfolges von Abwasserreinigungsanlagen angeführt. Beide „neuen Parameter“ sind auch bei den Vorschlägen zur Erarbeitung von Anforderungen nach dem S. d. T. festgehalten. Die Arbeitsgruppe zur Überarbeitung des für die Papierindustrie relevanten Anhangs 28 wurde im Dezember 2006 konstituiert.

Nach aktuellen Diskussionen zum Anhang 28 der AbwV im Entwurf vom 25.04.2012 [9] bleibt die Mindestanforderung von 10 mg/l an den Parameter N<sub>ges</sub> bestehen. Der TN<sub>b</sub> soll als zusätzlicher Parameter mit einer Mindestanforderung von 20 mg/l in die 2 h-Mischprobe aufgenommen werden. Die Anforderung an N<sub>ges</sub> entfällt, wenn ein TN<sub>b</sub>-Grenzwert von 10 mg/l oder weniger festgelegt wird.

#### N-Bindungsarten

Anders als bei der Bestimmung der anorganischen Stickstoff-(N-)verbindungen NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und NO<sub>2</sub><sup>-</sup> werden bei der TN<sub>b</sub>-Bestimmung auch organische N-Verbindungen erfasst. Der Ersatz der derzeit im Wasserrecht verankerten Messgröße wird auch aus ökologischen Gesichtspunkten heraus gefordert, da organisch gebundene Stickstoffverbindungen auch als Nährstoffe verfügbar sind [10].

Die Stickstoffverbindungen sind folgendermaßen definiert:

- $N_{\text{ges}} = N_{\text{anorganisch}} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$
- $\text{TN}_b = N_{\text{organisch}} + N_{\text{anorganisch}}$

**Stickstoff in Papierfabriksabwässern**

In der Papierindustrie wird eine Vielzahl an Additiven eingesetzt, die Stickstoff enthalten und deshalb für den Eintrag von organisch gebundenem Stickstoff in das Abwasser verantwortlich sind. Diese sind beispielsweise Retentions- und Flockungsmittel, Nassfestmittel, Farbstoffe, optische Aufheller und Leimungsmittel. Sie stellen die wesentliche Quelle organischer N-Anteile in Papierfabriksabwässern dar.

Trotz dieser zugeführten Stickstoffverbindungen sind die Abwässer normalerweise arm an für Mikroorganismen verfügbarem Stickstoff. Grundsätzlich können Bakterien sowohl organischen als auch anorganischen Stickstoff metabolisieren. Kenntnisse darüber, wie hoch der Anteil an organischem N ist, der innerhalb der biologischen Abwasserreinigung zu N<sub>anorganisch</sub> oxidiert wird, liegen nicht vor. Es ist aber davon auszugehen, dass der Anteil aufgrund der relativ kurzen Verweilzeiten nur sehr gering sein wird.

Deshalb müssen i. d. R. in den Werken mit betrieblicher biologischer Abwasserreinigungsanlage (ARA) im Zulauf Stickstoff- und Phosphorverbindungen zugegeben werden, um einen optimalen biologischen Abbau zu gewährleisten [11].

**Einhalten von N-Grenzwerten**

Im Jahr 2010 hatten 11 % der befragten Papierfabriken in Deutschland Probleme mit der Einhaltung von N-Grenzwerten [12], im Jahr 2010 waren es 10 % [13], [14]. Bei der Umfrage in 2004 [15] waren es nur etwa 8 %. Die Tendenz ist damit eindeutig steigend.

**Forschungsziel**

Zur Klärung der offenen Fragestellungen wurde ein Forschungsprojekt durchgeführt zur Erarbeitung von Maßnahmen, um künftige Stickstoffgrenzwerte auf Basis des Parameters TN<sub>b</sub> in Papierfabriken mit Frischfasereinsatz einhalten zu können. Im Fokus der Maßnahmen standen zwei mögliche Ansatzpunkte:

1. die Nutzung/Eignung vorhandener Reinigungstechnologien und
2. integrierte Ansätze.



## 4 Materialien und Methoden

### Wasser- und Schlammanalytik – Übersicht

Die folgenden Messmethoden wurden angewandt:

**Tab. 1** verwendete Analysenverfahren

Parameter	Verfahren	Proben
CSB <sup>1)</sup>	DIN ISO 15705	Wasser
TOC, DOC	DIN EN 1484	Wasser
AFS	DIN 38409 T.2	Wasser
TN <sub>b</sub> <sup>1)</sup>	DIN EN 12260 und LCK 338 <sup>3)</sup>	Wasser, Schlamm
TKN <sup>1,4)</sup>	EN 25663	Wasser, Schlamm
NH <sub>4</sub> -N <sup>2)</sup>	LCK 304	Wasser
NO <sub>2</sub> -N <sup>2)</sup>	LCK 341	Wasser
NO <sub>3</sub> -N <sup>2)</sup>	LCK 339	Wasser
Nitrifikanten <sup>4)</sup>	VIT-Test <sup>5)</sup>	Schlamm
Stoffgruppen DOC und N <sub>organisch</sub>	LC-OCD-OND	Wasser

<sup>1)</sup> homogenisiert und filtriert, <sup>2)</sup> filtriert, <sup>3)</sup> Küvettestest Hach-Lange, <sup>4)</sup> ausgewählte Proben, <sup>5)</sup> Vermicon Identification Technology – Gensonden-Testkit

### VIT-Test

Der VIT-Test auf Nitrifikanten erlaubt eine zügige und sichere Identifizierung von nitrifizierenden Bakterien in einer Belebtschlammprobe sowie eine Abschätzung deren Anteils. Bei dem Test werden Ammoniumoxidierer und Nitritoxidierer angefärbt und detektiert.

### LC-OCD-OND

Die Charakterisierung von organischen N-Verbindungen mittels *LC-OCD-OND* (Flüssigkeitschromatographie mit gekoppelter Detektion von Kohlenstoff und Stickstoff) erfolgt an ausgewählten Proben und ermöglicht eine Zuordnung zu funktionell ähnlichen Stoffgruppen und somit zu Additiven.

### N-Bestimmung in Schlämmen, Rohstoffen und Produkt

Vergleichende Untersuchungen an Schlämmen, Holz- und Papierproben mit verschiedenen Methoden zur Bestimmung verschiedener N-Parameter haben gezeigt, dass der Anteil an NO<sub>2</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N im Vergleich zu den Verbindungen, die mit dem TKN erfasst werden (NH<sub>4</sub>-N und N<sub>org</sub>), so gering ist, dass er für die Bilanzierung vernachlässigt werden kann. Deshalb wurde die TKN-Messung als Messmethode für den Stickstoffgehalt in diesen Proben ausgewählt.

## 5 Datenerhebung zu (organischem) Stickstoff in Wässern der Papierindustrie

### Umfang

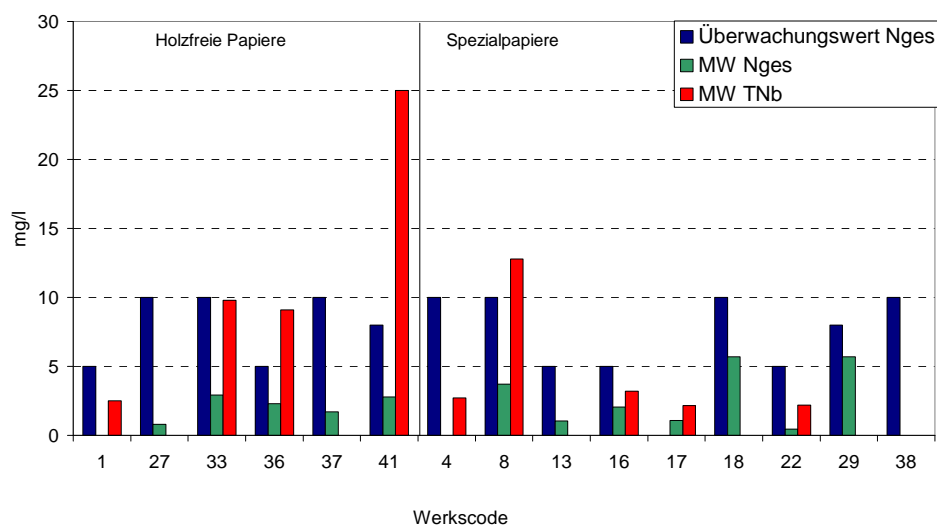
Alle deutschen Papierfabriken mit Frischfasereinsatz wurden zur Ermittlung der speziellen IST-Situation „Stickstoff in Abwässern der Papierindustrie“ befragt. Die Befragung erfolgte in schriftlicher Form per Fragebogen. Es wurden 167 Werke in Deutschland angeschrieben, Bezugsjahr für die Angaben war das Jahr 2009.

## Rücklauf

Auf die verschickten Fragebögen war ein Rücklauf von 41 Fragebögen zu verzeichnen, dies waren überwiegend Direkteinleiter mit eigener biologischer Abwasserreinigung. 18 Werke davon setzen überwiegend Frischfasern ein. Mit den zurückgeschickten Fragebögen wurden 33 % der im Jahr 2009 in Deutschland produzierten Menge an Papier, Karton und Pappe erfasst. 19 Werke, entsprechend 46 % der Rückläufer konnten Angaben zum TN<sub>b</sub> machen.

Die mittlere spez. Abwassermenge der teilnehmenden Werke lag bei 9 l/kg Produkt und damit leicht unter dem Wert von 10,7 l/kg Produkt der VDP-PTS-Wasserumfrage aus dem Jahr 2010. [12]

## Überwachungswerte



**Abb. 1:** Ablaufwerte und Überwachungswerte für TN<sub>b</sub> und N<sub>ges</sub> beteiligter Werke

In der Abbildung sind die überwiegend Frischfaser verarbeitenden Werke dargestellt, die sich an der Umfrage beteiligt haben, untergliedert in Werke, die holzfreie Papiere herstellen und Hersteller von Spezialpapieren. Es sind die angegebenen Überwachungswerte für den Parameter N<sub>ges</sub> dargestellt sowie die jährlichen Mittelwerte im Kläranlagenablauf für N<sub>ges</sub> und TN<sub>b</sub>. Bei allen Werken liegt der Jahresmittelwert des Parameters N<sub>ges</sub> deutlich unter dem Überwachungswert, so dass hier keine Probleme zu erwarten sind.

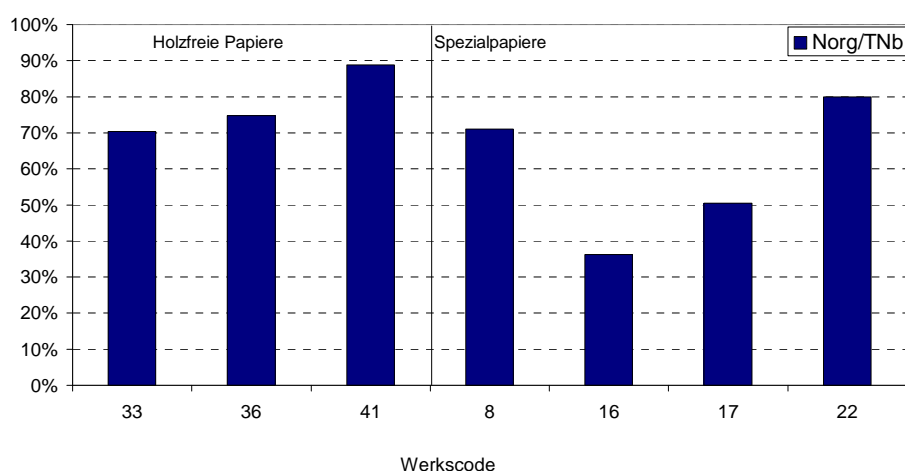
Auffällig ist der TN<sub>b</sub>-Jahresmittelwert von 25 mg/l bei Werk 41. Derzeit wird für den Anhang 28 der AbwV als Mindestanforderung für den Parameter TN<sub>b</sub> ein Wert von 20 mg/l in der 2 h-Mischprobe diskutiert. Die Einhaltung dieses Wertes wäre für Werk 41 fraglich.

Tendenziell zeigt sich, dass die Werte in den Werken, die Spezialpapiere herstellen, niedriger liegen.

## Statistik

**Tab. 2** Konzentrationen der verschiedenen N-Parameter und deren Schwankungsbreiten

	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>ges</sub>	TN <sub>b</sub>	N <sub>org</sub> /TN <sub>b</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	-
Mittelwert	0,11	2,16	0,42	2,5	7,7	67%
Min	0,02	0,10	0,07	0,4	2,1	36%
Max	0,43	5,50	1,10	5,7	25,0	89%
s	0,14	1,80	0,34	1,8	7,6	18%
Variationskoeff.	133%	83%	80%	70%	99%	27%

Anteil N<sub>org</sub> am TN<sub>b</sub>**Abb. 2:** Anteil N<sub>org</sub> am TN<sub>b</sub> im ARA-Ablauf teilnehmender Werke

Der bisherige Überwachungswert gemäß Abwasserverordnung N<sub>ges</sub> umfasst nur die anorganischen Parameter NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N. Der organische Anteil wird nicht berücksichtigt. Der organische Anteil am TN<sub>b</sub>, also der mit dem Parameter N<sub>ges</sub> nicht erfasste Anteil beträgt im Ablauf fast aller an der Umfrage teilgenommenen Werke, die entsprechende Werte angegeben haben, 50 % und mehr.

## Vergleich mit vorhandenen Daten

Die Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen aus dem IGF-Projekt „Parameterersatz – AbwV“. Bei 16 der dort untersuchten 24 Werke liegt der organische Anteil am TN<sub>b</sub> bei 50 % oder höher.

**Auswahl der Werke**

Die folgende Tabelle zeigt die Auswahl der Werke für die weiteren Untersuchungen. Es wurde darauf geachtet, dass alle Sorten vertreten sind. Aus dem Grund wurden die Werke A und F zusätzlich aufgenommen. Interessant ist die Untersuchung von Werk I bzw. 41, da dieses Werk in der Umfrage den mit Abstand höchsten Wert für die mittlere TN<sub>b</sub>-Konzentration im Ablauf angegeben hat. Die Anzahl der untersuchten Werke wurde angepasst an die Relevanz der Herkunftsbereiche.

**Tab. 3:** Auswahl der Werke

Werkscode		Sorte
A	-	Gestrichene holzhaltige Papiere
B	37	Gestrichene holzfreie Papiere
C	38	Spezialpapiere
D	29	Spezialpapiere
E	8	Spezialpapiere
F	-	Gestrichene holzfreie Papiere
G	22	Spezialpapiere
H	33	Hygienepapiere (überwiegend aus FF)
I	41	Ungeleimte holzfreie Papiere

**6 Betriebsuntersuchungen****6.1 Vorgehen****Untersuchte Werke**

Es wurden 8 Werke (Werke A bis H) ohne Nitrifikation/Denitrifikation (Nitri/Denitri) untersucht und ein Werk (Werk I) mit Nitri/Denitri. Durch die Untersuchungen in Werk I sollte die Auswirkung der Nitri-/Denitri-Stufe auf den Verbleib von organischen Stickstoffverbindungen erfasst werden.

**Produktionsdaten**

Um konkrete Hinweise auf die Quellen organischer Stickstoffverbindungen zu erhalten, wurden folgende Produktionsdaten im Rahmen der Betriebsuntersuchung abgefragt, um im Bedarfsfalle, bei erhöhten TN<sub>b</sub>-Werten, Recherchen und Untersuchungen zur Klärung der Herkunft vornehmen zu können:

- Produktprogramm: Zuordnung Herkunftsbereich, Häufigkeit und Zeiten der Sortenwechsel,
- Rohstoffe: Art, Menge, Aufbereitung,
- Additiveinsatz: Art, Einsatzstelle, Sicherheitsdatenblätter.

---

**ARA-  
Betriebsdaten**

Um Vergleiche zwischen den untersuchten Werken ziehen zu können, wurden von allen Werken Informationen zum Betrieb der Abwasserreinigungsanlage abgefragt. Diese sind:

- Schema der ARA,
- Konstruktions- und Auslegungsdaten,
- Daten aus dem Abwasserbescheid,
- Betriebs- und Anlagendaten nach geführtem Betriebstagebuch und
- Angaben zur Stickstoffdosierung: Art der N-Komponente, Frequenz und Menge der Dosierung, nach welchem Parameter erfolgt die Dosierung

Aus diesen Daten wurden zusammen mit den Analytikdaten aus den entnommenen Proben für den jeweiligen Untersuchungszeitraum für die jeweiligen Reinigungsstufen die folgenden Anlagenparameter berechnet:

- die CSB- und BSB<sub>5</sub>-Raum- und Schlammbelastung der jeweiligen Reinigungsstufen,
- das Stickstoffdosierverhältnis in Bezug zum BSB<sub>5</sub>,
- Schlammalter und hydraulische Aufenthaltszeit.

---

**Probenahmestellen und Untersuchungsumfang**

Je Werk wurden 5 bis 13 Probenahmestellen in der ARA definiert, darunter Gesamtzulauf, Gesamtablauf, Zu- bzw. Abläufe der einzelnen Stufen, Frischwasser sowie weitere Wasser- und Schlammströme. Je Werk wurden 6 Probenahmerunden durchgeführt, in denen jeweils alle Probenahmestellen beprobt wurden. In den entnommenen Proben wurden die in Kap. 4 beschriebenen Parameter bestimmt. Exemplarisch wurden organische N-Verbindungen in ausgewählten zur Verfügung gestellten Additivproben bestimmt.

---

**Aufnahme von Online- bzw. Labor-Daten**

In den Werken, die über einen Online-Stickstoffanalysator (z. B. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> oder ggf. TN<sub>b</sub>) verfügen oder die den TN<sub>b</sub> mittels Küvettentest bestimmen bzw. extern analysieren lassen, wurden die Daten zum Beprobungszeitraum erfasst und zur Auswertung mit herangezogen.

---

## 6.2 Ergebnisse

### Betriebs- und Anlagendaten

Die folgende Tabelle zeigt die berechneten Betriebs- und Anlagendaten für die jeweiligen Reinigungsstufen der untersuchten Werke. Der Umfang der Parameter sowie die Messwertdichte waren für die untersuchten Werke sehr unterschiedlich. So lassen sich beispielsweise bei biologischen Stufen, die als Filmbiologie betrieben werden, keine verwertbaren TS-Konzentrationen angeben. Aus diesem Grund konnten nicht für alle Werke alle Parameter bestimmt werden.

**Tab. 4:** Betriebs- und Anlagendaten der untersuchten ARAs

Werk	Parameter Reinig.stufe	B <sub>R,CSB</sub>	B <sub>TS,CSB</sub>	B <sub>R,BSB5</sub>	B <sub>TS,BSB5</sub>	N-Dos./ BSB <sub>5</sub>	t <sub>TS</sub>	HRT	CSB <sub>eli</sub>
		kg/(m <sup>3</sup> *d)	kg/(kg TS*d)	kg/(m <sup>3</sup> *d)	kg/(kg TS*d)	g N/g BSB <sub>5</sub>	d	h	%
A	1. biol. Stufe	14,4	-	5,5	-	-	-	3,1	85%
	2. biol. Stufe	2,8	0,6	0,9	0,2	-	2,6	-	
	3. biol. Stufe	-	-	-	-	-	-	-	
B	1. biol. Stufe	9,1	4,3	2,8	1,3	-	1,6	1,0	67%
	2. biol. Stufe	1,1	0,5	-	-	-	5,0	3,3	48%
C	1. biol. Stufe	-	-	-	-	-	-	-	-
	2. biol. Stufe	-	-	-	-	-	-	-	36%
D	Biologie	0,5	0,2	0,5	0,2	0,1	-	0,6	58%
E	Biologie (2-stufig)	2,1	-	0,5	-	0,0	-	1,4	36%
F	1. biol. Stufe	-	-	-	-	-	-	-	42%
	2. biol. Stufe (2-stufig)	1,6	0,3	-	-	-	-	9,0	27%
G	1. biol. Stufe	-	-	-	-	-	-	-	28%
	2. biol. Stufe	0,4	0,1	-	-	-	7,0	9,6	76%
H	Biologie	0,9	0,2	0,3	0,1	-	20,0	6,2	74%
I	1. biol. Stufe	-	-	-	-	-	-	-	45%
	2. biol. Stufe (Deni)	0,7	0,1	-	-	-	-	72,7	61%

Als Kaskaden ausgeführte biologische Stufen wurden als eine Verfahrensstufe betrachtet in Form von Summen bzw. Mittelwerten, da die vorhandenen Daten keine einzelne Auswertung zuließen. So besteht beispielsweise bei Werk F die 2. Reinigungsstufe der ARA aus wiederum 2 hintereinandergeschalteten Stufen, auch die Biologie des Werkes E ist als Kaskade angelegt.

Die Stufe zur Stickstoffentfernung in Werk I ist als nachgeschaltete Denitrifikation ausgelegt. Das Prinzip beruht auf einer biologisch intensivierten Filtration zur Stickstoffentfernung, bei der das Filterbettmaterial als Träger des Biofilmes dient. Die Deni-Stufe ist auf eine mittlere Temperatur von 30 °C ausgelegt.

### Belastungsparameter

In Werk A und B liegen wie erwartet die Schlamm- und Raumbelastungen der ersten Stufen im Bereich für hochbelastete Anlagen und die der zweiten Stufen im Bereich für niedrig belastete. Die Werte der einstufigen Anlagen liegen etwas niedriger als erwartet. Erfahrungsgemäß liegt die Belastung einstufiger Anlagen leicht über der Belastung der zweiten Stufe zweistufiger Anlagen.

Belastungsparameter und CSB-Elimination bei Werk I liegen in den gleichen Größenordnungen wie die der Werke ohne Nitrifikation und Denitrifikation.

Bei Werk D sind die Werte für die BSB<sub>5</sub>- und die CSB-Belastungsparameter gleich groß, was unplausibel ist. Das liegt daran, dass die CSB-Werte anhand der im Rahmen des Projektes durchgeführten Analysen an Stichproben berechnet wurden und die BSB<sub>5</sub>-Werte anhand der eigenen Analysen des Werkes in 24 h-Mischproben.

---

Tendenziell zeigt sich eine höhere CSB-Elimination bei geringerer Schlamm- und Raumbelastung.

---

### Stickstoffparameter

Der TKN erfasst die Summe aus organisch gebundenem Stickstoff und NH<sub>4</sub>-N. Theoretisch liegt nahezu der gesamte der ARA zufließende Stickstoff in Form von TKN vor. Dies bestätigen die gemessenen Werte, insbesondere für die Zuläufe der Werke B, H und I und die Abläufe der Werke A, E, H und I.

Die gemessenen Werte zeigen, dass der TKN den Hauptbestandteil des TN<sub>b</sub> ausmacht.

---

### Stickstoffkonzentrationen im ARA-Zulauf

Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der in den ARA-Zuläufen der untersuchten Werke gemessenen Stickstoffparameter TN<sub>b</sub> und N<sub>ges</sub>. Alle Proben wurden vor der Nährstoffdosierung genommen.

**Tab. 5:** TN<sub>b</sub> und N<sub>ges</sub> in den ARA-Zuläufen der untersuchten Werke

Werk	TN <sub>b</sub>	N <sub>ges</sub>
	mg/l	mg/l
A	10,0	4,7
B	9,1	3,1
C	5,3	1,6
D	7,4	4,9
E	10,4	3,8
F	6,5	1,0
G	8,3	2,8
H	16,7	1,2
I	21,9	4,1

Obwohl keine erhöhten Stickstoffkonzentrationen gefunden wurden, wurden die Sicherheitsdatenblätter der relevanten eingesetzten Additive ausgewertet. Exemplarisch wurden für Werk C die Additive ausgewählt, die am meisten eingesetzt wurden und Stickstoff enthalten. Diese wurden auf ihre Stickstoffgehalte und ihren Beitrag zum Stickstoffeintrag untersucht.

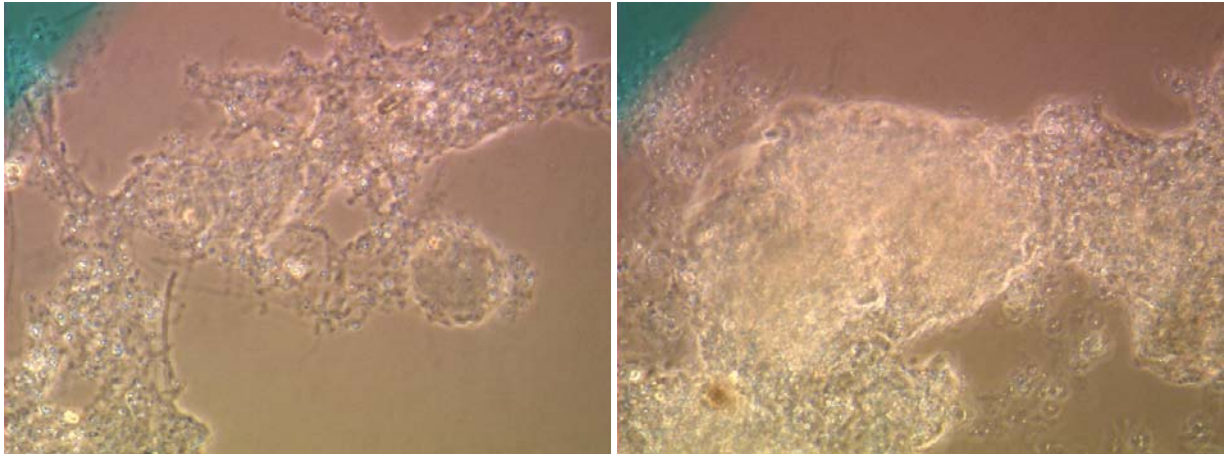
---

### Nitrifikanten

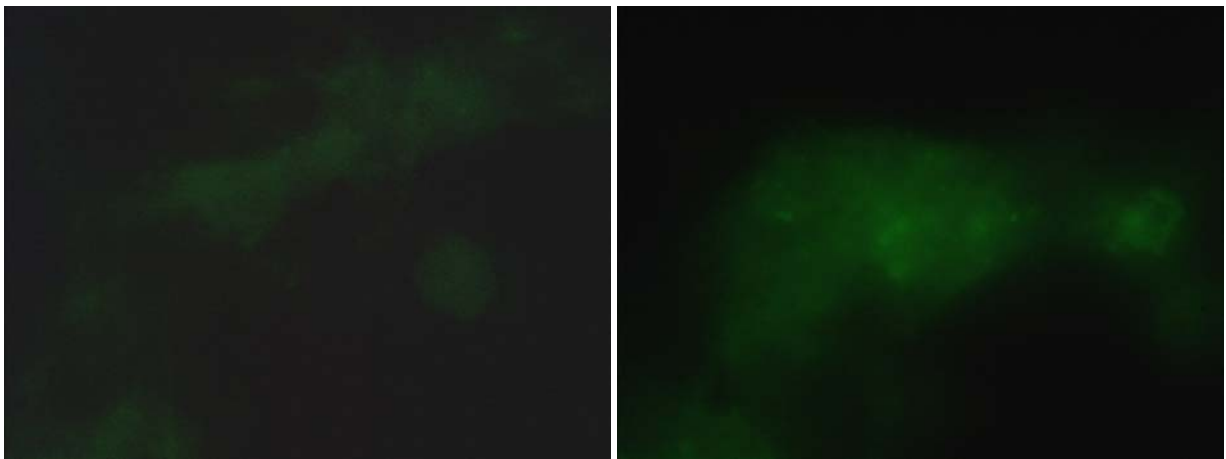
Abb. 3 bis Abb. 5 zeigen die mikroskopischen Bilder zur Bestimmung der Nitrifikanten in einer Belebtschlammprobe aus Werk C. Grün erscheinen dabei die lebenden Nitritoxidierer (Abb. 4) und rot die lebenden Ammoniumoxidierer (Abb. 5). Die Phasenkontrastbilder zeigen dieselben Ausschnitte und dienen als Vergleichsbilder zur Übersicht über das Gesamtbild des Schlammes. Es wurden gemäß Vorschrift mehrere Gesichtsfelder des Präparates untersucht, darin die Häufigkeit der zu erfassenden Mikroorganismen anhand von Vergleichsbildern (VIT-Schlüssel) abgeschätzt und die Mittelwerte der Eingruppierungen gebildet. Die Bilder zeigen, dass in der untersuchten Belebtschlammprobe relativ wenig Nitritoxidierer (Stufe 1,5 von 5) enthalten sind und relativ viele Ammoniumoxidierer (Stufe 3,5 von 5).

---

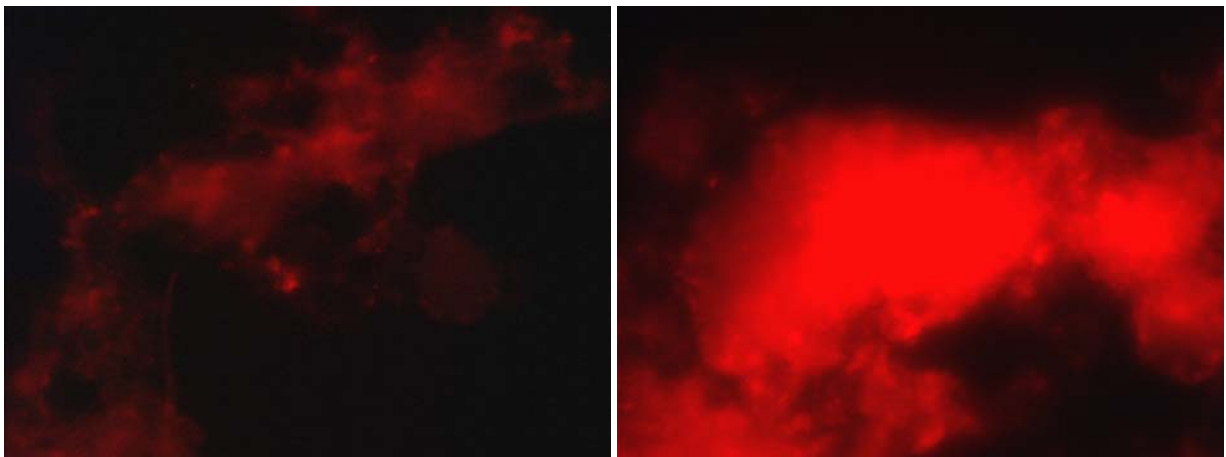




**Abb. 3:** Belebtschlamm im Phasenkontrast bei 100facher Objektivvergrößerung



**Abb. 4:** Fluoreszenzaufnahmen des Belebtschlammes, Anregung durch blaues Licht



**Abb. 5:** Fluoreszenzaufnahmen des Belebtschlammes, Anregung durch grünes Licht bei 100facher Objektivvergrößerung

## 7 Bilanzierung von Stickstoffparametern

### 7.1 Vorgehen

#### Quellen organischer Stickstoffverbindungen und Einflussgrößen auf N im Abwasser

Die relevanten Quellen organischer Stickstoffverbindungen sowie der Verlauf bzw. Eliminationsgrad aller Stickstoffparameter über die Abwasserreinigungsanlage wurden ausgewertet und miteinander verglichen. Wesentlich war dabei, den Einfluss von Rohstoffeinsatz, Produktionsprogramm, Additiveinsatz und Verfahrenstechnik der ARA auf die Konzentration und die Zusammensetzung von Stickstoffverbindungen sowie zum Verhältnis von N<sub>organisch</sub> zu N<sub>anorganisch</sub> zu untersuchen.

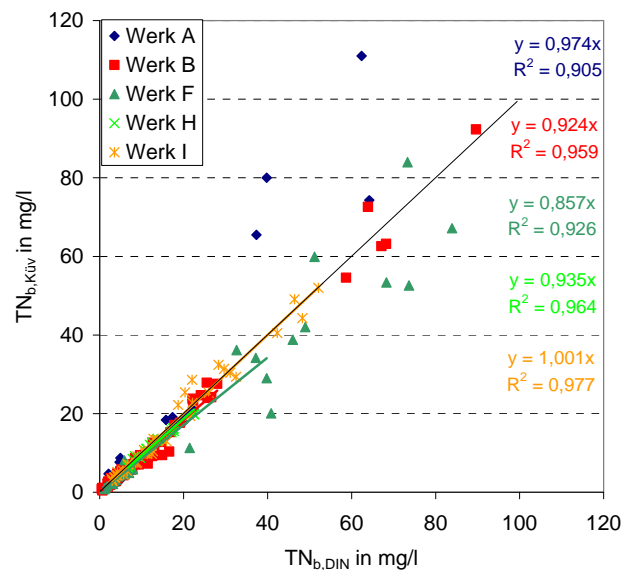
#### Auswertung

Bei der Auswertung der Stickstoffwerte aus Laboranalysen und ggf. Betriebsdaten wurden die folgenden Zusammenhänge berücksichtigt bzw. die folgenden Berechnungen durchgeführt:

- $TN_b = N_{organisch} + N_{anorganisch} = (TKN - NH_4-N) + (NH_4-N + NO_3-N + NO_2-N)$ ,
- Statistik der Einzelparameter,
- Berechnung von Konzentrationsbereichen der N-Parameter sowie der Anteile für N<sub>anorganisch</sub> bzw. N<sub>organisch</sub>:TN<sub>b</sub> für die untersuchten Herstellungsbereiche und ARA-Typen.

## 7.2 TN<sub>b</sub>-Küvettest

### Vergleich DIN – Küvettest



**Abb. 6:** TN<sub>b</sub>-Werte gemessen nach DIN und mit Küvettest

Das obige Diagramm zeigt die TN<sub>b</sub>-Werte gemessen nach DIN EN 12260 auf der X-Achse und die TN<sub>b</sub>-Werte derselben Proben gemessen mittels Küvettest auf der Y-Achse (Verfahren s. Kap. 4). Im optimalen Fall würden beide Verfahren dieselben Ergebnisse liefern und die Punkte würden im Diagramm auf der schwarzen Diagonalen liegen.

### Bedeutung

Bei höheren TN<sub>b</sub>-Konzentrationen (über 40 – 50 mg/l) streuen die Messwerte stark und liegen teilweise weit entfernt von der Diagonalen.

Für die niedrigeren TN<sub>b</sub>-Werten unter 40 – 50 mg/l wurden lineare Trendlinien erzeugt. Alle Korrelationskoeffizienten liegen sehr nah an 1 und die Geraden weisen Steigungen knapp unter 1 auf. Dies zeigt, dass für TN<sub>b</sub>-Konzentrationen  $\leq 50$  mg/l der untersuchte TN<sub>b</sub>-Küvettest Ergebnisse liefert, die nur minimal niedriger liegen als die der DIN-Methode.

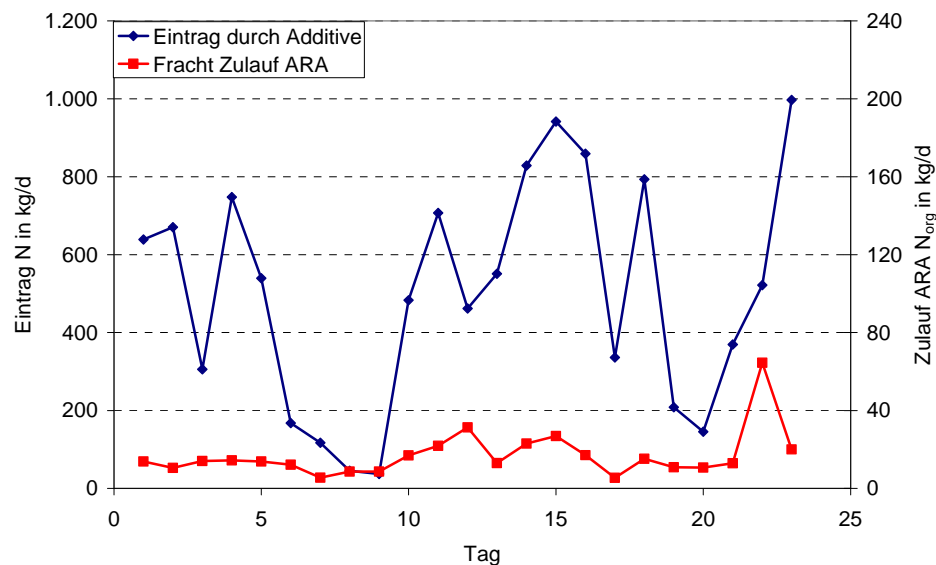
### Fazit

Bei niedrigen TN<sub>b</sub>-Konzentrationen, die im Bereich der diskutierten Mindestanforderung liegen, ist der untersuchte Küvettest für die tägliche Analytik und die Eigenüberwachung genauso gut geeignet wie die DIN-Methode.

## 7.3 Quellen organischer Stickstoffverbindungen

### Gesamte Stickstoffmenge eingesetzter Additive

Beispielhaft für Werk C wurde anhand im Werk durchgeführter N-Analysen nach DIN 15104 und der täglich in der Produktion eingesetzten Additive, die in das Gesamtsystem eingetragene Menge an gesamtem Stickstoff berechnet. Die folgende Abbildung zeigt diese Stickstoffmenge sowie die im Zulauf zur ARA gemessene Fracht an N<sub>org</sub>.



**Abb. 7:** durch Additive eingetragener Stickstoff und N<sub>org</sub> im Zulauf zur ARA

Bei Annahme einer zeitlichen Verzögerung zwischen Einsatz der Additive in der Produktion und Erreichen der ARA von bis zu einem Tag, lässt sich an einigen Tagen (Tag 10 bis 20) ein tendenzieller Zusammenhang feststellen zwischen der Gesamtmenge an N<sub>ges</sub>, die durch Additive eingetragen wurde und der organischen Stickstofffracht im Rohabwasser. Es ist daher möglich, dass die eingesetzten Additive einen Beitrag zur organischen Stickstofffracht im ARA-Zulauf leisten.

#### Stickstoffkonzentration eingesetzter Additive

Es konnte gezeigt werden, dass die Additive, die mengenmäßig am meisten eingesetzt wurden, den größten Anteil am Stickstoffeintrag in das Wassersystem haben, nicht die Additive, in denen am meisten Stickstoff enthalten ist.

#### Stickstoffeintrag durch Rohstoffe

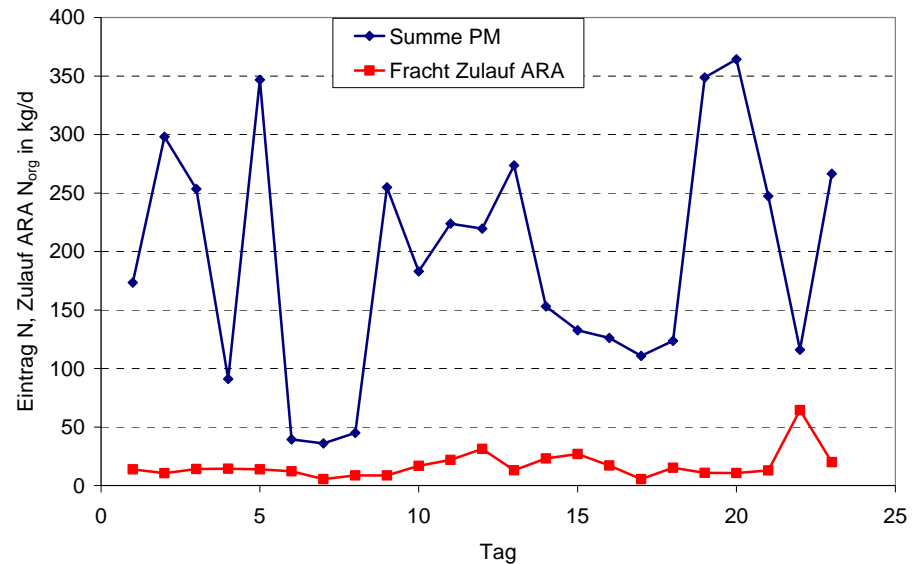
**Tab. 6:** Stickstoffgehalte eingesetzter Rohstoffe

Werk	Bezeichnung	Proben- vorbehandlung	TKN mg N/gTR			
			MW	min	max	n
A	Holzschnitzel	gemahlen	1,5	-	-	-
C	Zellstoff	zerkleinert	0,5	0,2	1,3	11
F	Fasern	zerkleinert	0,0	0,0	0,0	3

In 2 Werken wurden Stickstoffgehalte in Proben der eingesetzten Rohstoffe gemessen. Es ist zu vermuten, dass die Stickstoffgehalte der Rohstoffe in den anderen untersuchten Werken in ähnlicher Größenordnung liegen. Die Werte liegen auf einem niedrigen Niveau, so dass davon auszugehen ist, dass durch die eingesetzten Rohstoffe keine nennenswerten Stickstoffmengen in die Wasserkreisläufe eingetragen werden.

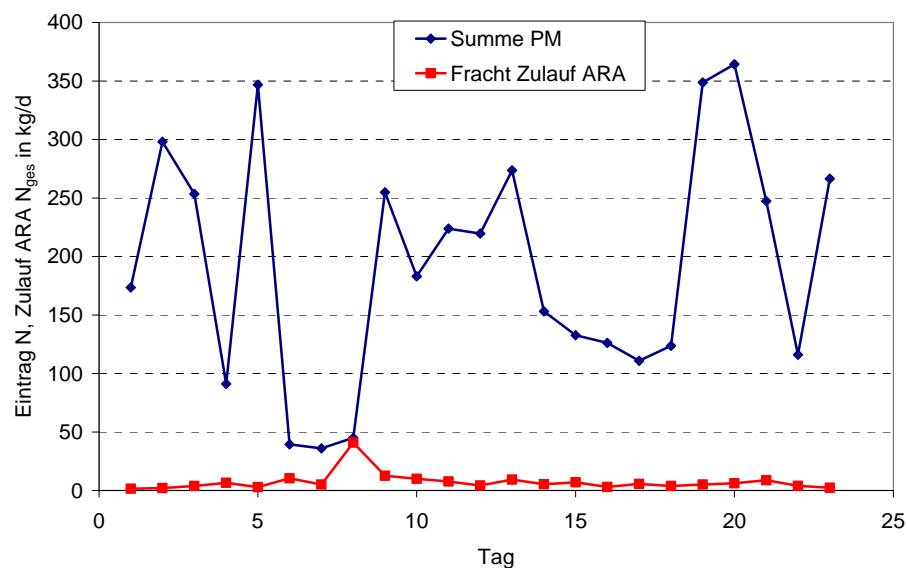
### Stickstoffeintrag durch Hilfsstoffe – N<sub>org</sub>

Für Werk C wurde der gesamte Stickstoffeintrag durch Hilfsstoffe wie z.B. Stärke oder Leimungsmittel abgeschätzt. Die Abschätzungen basieren auf den Angaben zu den Stickstoffgehalten der Hersteller, Messungen von Werk C und der eingesetzten Menge.



**Abb. 8:** Summe der Stickstoffmengen der an den Papiermaschinen eingesetzten Additive und N<sub>org</sub> im Zulauf zur ARA

In obiger Abbildung ist die Summe des gesamten Stickstoffs der eingesetzten Hilfsstoffe an den Papiermaschinen dargestellt und die der ARA zulaufende Fracht an N<sub>org</sub>. Es zeigt sich tendenziell bei höheren eingetragenen Stickstoffmengen durch Hilfsstoffe an den Papiermaschinen eine leicht erhöhte Fracht im ARA-Zulauf.

**Stickstoffeintrag  
durch Hilfsstoffe  
– N<sub>ges</sub>**


**Abb. 9:** Summe der Stickstoffmengen der an den Papiermaschinen eingesetzten Additive und N<sub>ges</sub> im Zulauf zur ARA

Die N<sub>ges</sub>-Fracht im ARA-Zulauf zeigt an vielen Tagen des Untersuchungszeitraums einen ähnlichen Verlauf wie die Summe an N<sub>ges</sub> der eingesetzten Hilfsstoffe an den Papiermaschinen, mit einem zeitlichen Versatz von einem Tag. Bei Annahme einer Aufenthaltszeit der Hilfsstoffe in den Wassersystemen der Papierfabrik von einem Tag, lässt sich ein Einfluss der durch Hilfsstoffe eingetragenen Stickstoffmenge auf die der ARA zulaufende N-Fracht vermuten.

**Stickstoffeintrag  
durch Frischwasser**

**Tab. 7:** Stickstoffeintrag durch Frischwasser

Werk	Konzentration					Fracht				
	TN <sub>b</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub>	TN <sub>b</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>ges</sub>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
A	2,1	1,07	0,01	1,70	2,8	26,4	13,4	0,1	21,3	34,8
B	0,6	0,02	0,00	0,47	0,5	2,1	0,1	0,0	1,7	1,8
I	3,6	0,02	0,02	2,21	2,3	4,9	0,0	0,0	2,7	2,7

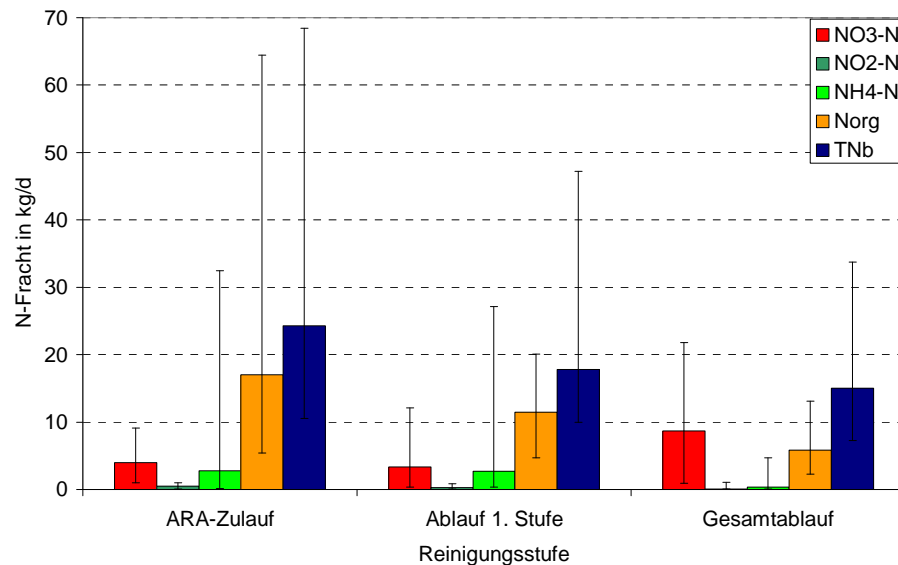
Tab. 7 zeigt die Stickstoffkonzentrationen im eingesetzten Frischwasser der Werke A, B und I. Dabei wurden die Werte für Werk A in einer Stichprobe bestimmt, für Werke B und I sind Mittelwerte aus 4 bzw. 6 Probenahmen angegeben. Die Werke A und I setzen Oberflächenwasser ein, Werk B Brunnen- oder Quellwasser. Darin liegen die unterschiedlichen Niveaus der Stickstoffkonzentrationen begründet. Im Frischwasser der Werke A und B besteht der enthaltene Stickstoff (nahezu) ausschließlich aus anorganischem Stickstoff.

Die durch das eingesetzte Frischwasser eingetragene N-Fracht ist bei Werk A vergleichsweise hoch. Im ARA-Zulauf findet sich im Untersuchungszeitraum in diesem Werk zum Vergleich eine mittlere TN<sub>b</sub>-Fracht von 174 kg/g und im Ablauf von 84 kg/d. In diesem Werk hat folglich das eingesetzte Frischwasser einen nennenswerten Beitrag an der Stickstofffracht im Abwasser.

## 7.4 Elimination organischer Stickstoffverbindungen

### N-Frachten – Werke ohne Nitri- /Deni-Stufe

Die folgende Abbildung zeigt die Stickstofffrachten in den Zu- und Abläufen der einzelnen Stufen der ARA für Werk C als Mittelwerte des Untersuchungszeitraums. Zusätzlich sind auch die Minimal- und Maximalwerte der im Untersuchungszeitraum gemessenen Frachten dargestellt. Die hohen Maximalwerte werden durch die Werte eines einzelnen Tages verursacht. An diesem Tag lagen alle Messwerte deutlich über den Werten der übrigen Tage.



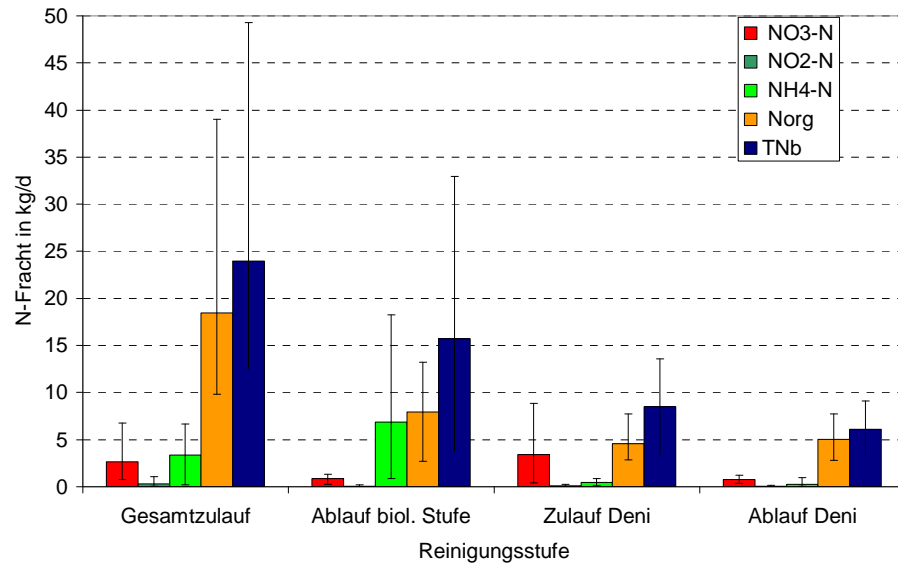
**Abb. 10:** Stickstofffrachten in den Zu- und Abläufen der Reinigungsstufen

Erwartungsgemäß liegt ein großer Teil des zufließenden anorganischen Stickstoffs in Form von NH<sub>4</sub> vor. In den Stufen der ARA findet eine Oxidation zum NO<sub>3</sub> statt. Die Summe des anorganischen Stickstoffs erhöht sich von 7,3 kg/d im Zulauf auf 9,2 kg/d im Ablauf. Möglicherweise wurden organische Stickstoffverbindungen oxidiert. Es ist bisher nicht bekannt, in welchem Zeitfenster dies geschieht, also ob bei den kurzen Verweildauern in den ARAs tatsächlich organische N-Verbindungen oxidiert werden.

Die organische Stickstofffracht wird über beide Reinigungsstufen um 66 % reduziert. Anhand der vorliegenden Daten kann keine Aussage darüber getroffen werden, welche N-Frachten welcher Fraktionen mit Überschussschlammströmen ausgetragen werden. Die TN<sub>b</sub>-Fracht wird um knapp 40 % reduziert.



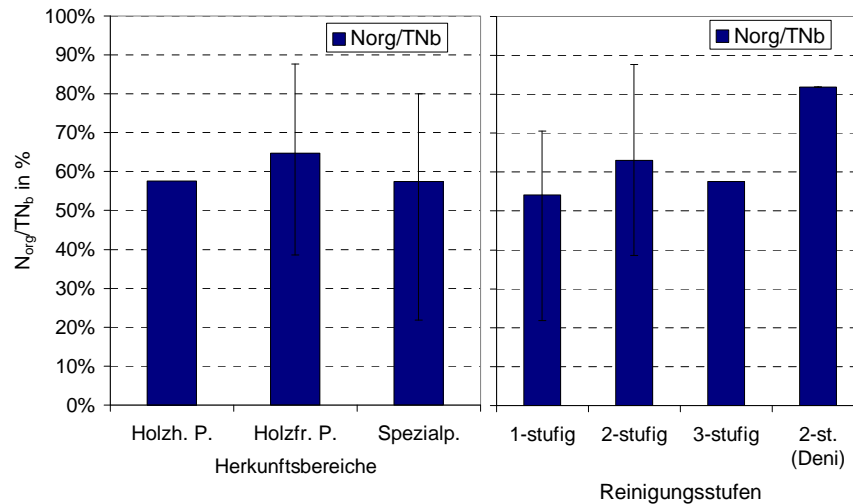
### N-Frachten – Werk mit Nitri- /Deni-Stufe



**Abb. 11:** Werk I – Stickstoffrachten in den Zu- und Abläufen der Reinigungsstufen

Abb. 11 zeigt die in den Zu- und Abläufen der jeweiligen Stufen im Untersuchungszeitraum für Werk I gemessenen Frachten. Dieses Werk betreibt eine Deni-Stufe zur weitergehenden Stickstoffelimination. Auch hier zeigen die Messwerte starke Schwankungen.

In der Deni-Stufe hat eine weitere Stickstoffelimination stattgefunden, insbesondere Nitrit und Nitrat wurden erwartungsgemäß eliminiert. In diesem Werk liegen im Vergleich zu den anderen untersuchten Werken Stickstoffrachten im Ablauf der biologischen Stufen auf dem niedrigsten Niveau.

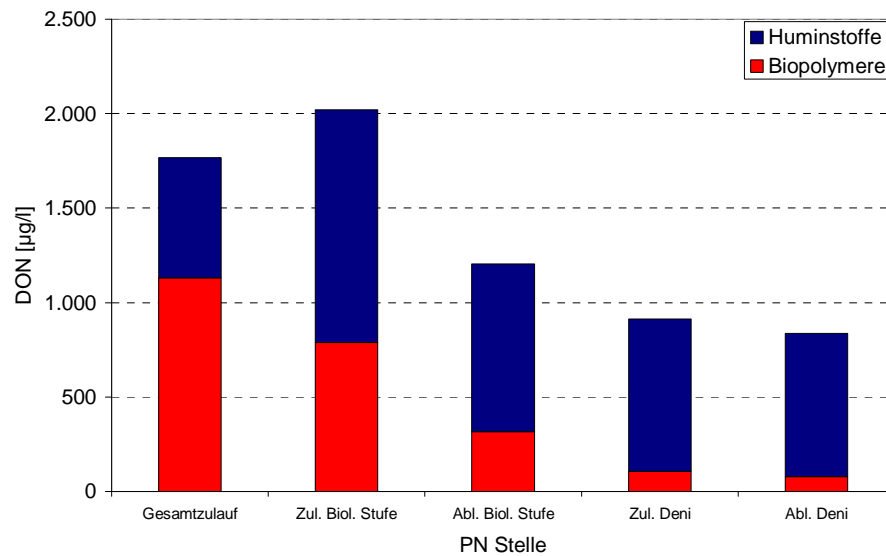
Anteil N<sub>org</sub>/TN<sub>b</sub>

**Abb. 12:** Anteile N<sub>org</sub> am TN<sub>b</sub>

Obige Abbildung zeigt die organischen Stickstoffanteile am TN<sub>b</sub> in den Abläufen der untersuchten Werke. Es sind die Mittelwerte der jeweiligen Herkunftsbereiche und der jeweiligen ARA-Typen dargestellt. Es zeigt sich kein Einfluss der Herkunftsbereiche sowie kein wesentlicher Einfluss der Reinigungsstufen. Der hohe organische Anteil im Werk mit der Deni-Stufe ist in der sehr hohen Elimination anorganischer Stickstoffverbindungen begründet. Alle Mittelwerte liegen über 50 %, einzelne Werte bzw. die Maximalwerte liegen sogar deutlich über 50 %. Der TN<sub>b</sub> besteht in dem einzuleitenden Abwasser also durchschnittlich zu (teilweise weit) über 50 % aus organischen Stickstoffverbindungen. Diese werden beim derzeitigen Grenzwert N<sub>ges</sub> nicht berücksichtigt. Der diskutierte neue Parameter TN<sub>b</sub> muss also mindestens das Doppelte des N<sub>ges</sub>-Grenzwertes betragen, wenn es zu keiner Verschärfung der Mindestanforderungen kommen soll. Bei der diskutierten Mindestanforderung von 20 mg/l an den TN<sub>b</sub> ist zu erwarten, dass sich der Sicherheitsbereich zwischen TN<sub>b</sub>-Konzentration im Abwasser und Grenzwert verkleinert und folglich die TN<sub>b</sub>-Grenzwerte weniger leicht einzuhalten sein werden als die N<sub>ges</sub>-Grenzwerte.

### Ergebnisse der LC-OCD-OND-Analytik

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Konzentrationen an organischem Stickstoff (DON = dissolved organic nitrogen) in den Molekulargewichtsfractionen Huminstoffe und Biopolymere. In den Proben der Werke B, E und H wurde ebenfalls organischer Stickstoff in den Molekulargewichtsfractionen nachgewiesen.



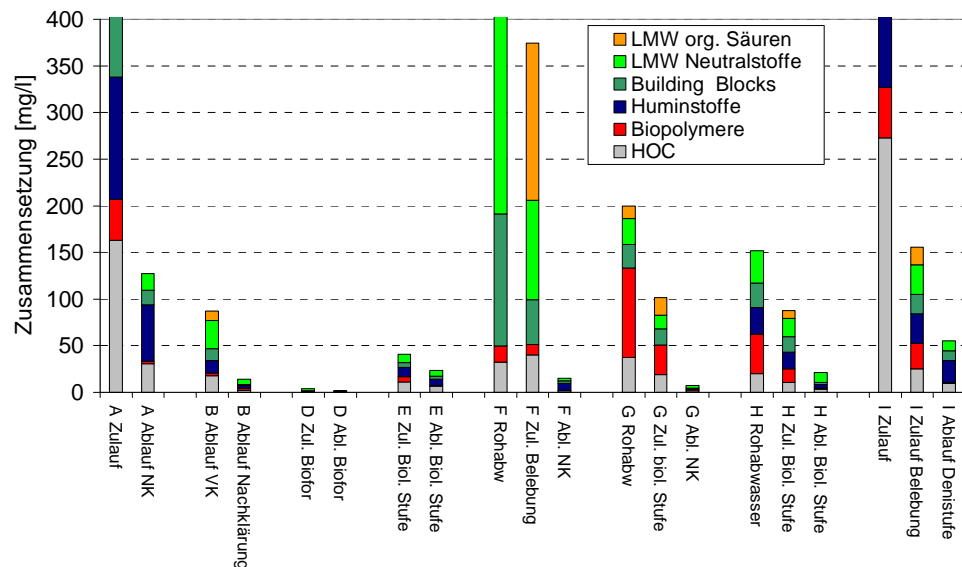
**Abb. 13:** Werk I – org. Stickstoff in den Molekulargewichtsfractionen

Die größte Reduzierung der Stickstoffbestandteile zeigt sich in beiden Fractionen in der biologischen Stufe. In der Deni-Stufe erfolgt keine nennenswerte Reduzierung der organischen Stickstoffbestandteile.

### Zuordnung zu Additiven

Es konnte nur in einem Teil der Werke Stickstoff in messbaren Konzentrationen in den Molekulargewichtsfractionen gefunden werden. Insgesamt waren die Konzentrationen sehr niedrig, so dass eine Zuordnung zu funktionell ähnlichen Gruppen und somit zu Additiven nicht möglich ist.

### Zusammensetzung des DOC



**Abb. 14:** Zusammensetzung des DOC in den Zu- und Abläufen der Biologischen Stufen

Die untersuchten Abwässer zeigen stark unterschiedliche Zusammensetzungen des DOC im unbehandelten Abwasser. Organische Säuren liegen in geringen Anteilen vor und werden in der Aerobie vollständig abgebaut. Huminstoffe werden zu unterschiedlichen, vergleichsweise geringen Anteilen aerob abgebaut, entstehen aber in Einzelfällen auch erst durch das Freisetzen von Biomasse. Die Aromatizität nimmt durch aerobe Reinigung zu, meist nimmt die mittlere Molmasse zu. Die Abwässer werden zunehmend humifiziert.

### Einfluss der Feststoffkonzentrationen auf N-Konzentrationen

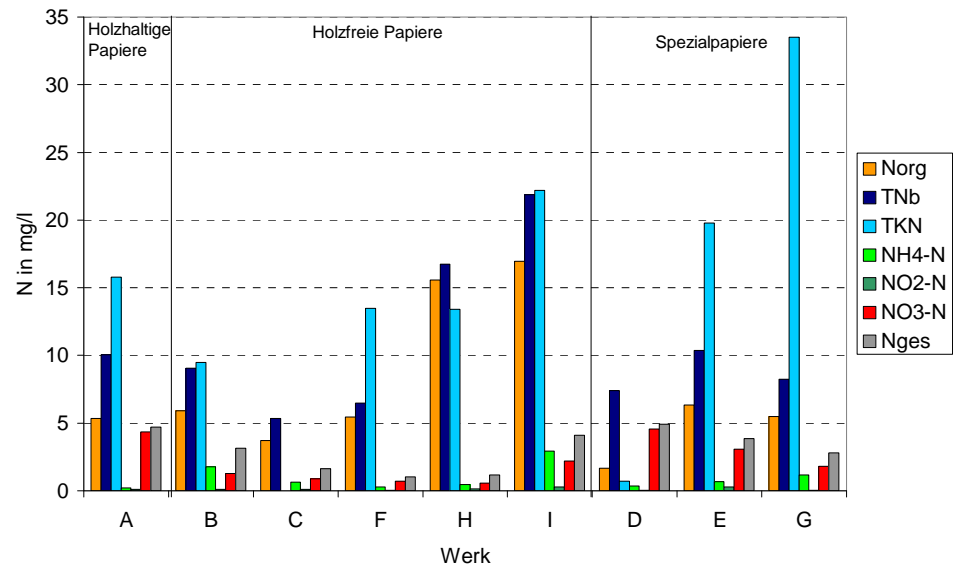
Es konnte für kein Werk in keiner untersuchten Probe für keinen Stickstoffparameter ein Zusammenhang gefunden werden zwischen den Feststoffkonzentrationen und den Stickstoffkonzentrationen.

## 8 Datenbewertung und Ableitung der maximal möglichen TN<sub>b</sub>-Elimination

### 8.1 N-Konzentrationen in Abwässern verschiedener Herkunftsbereiche

#### ARA-Zulauf

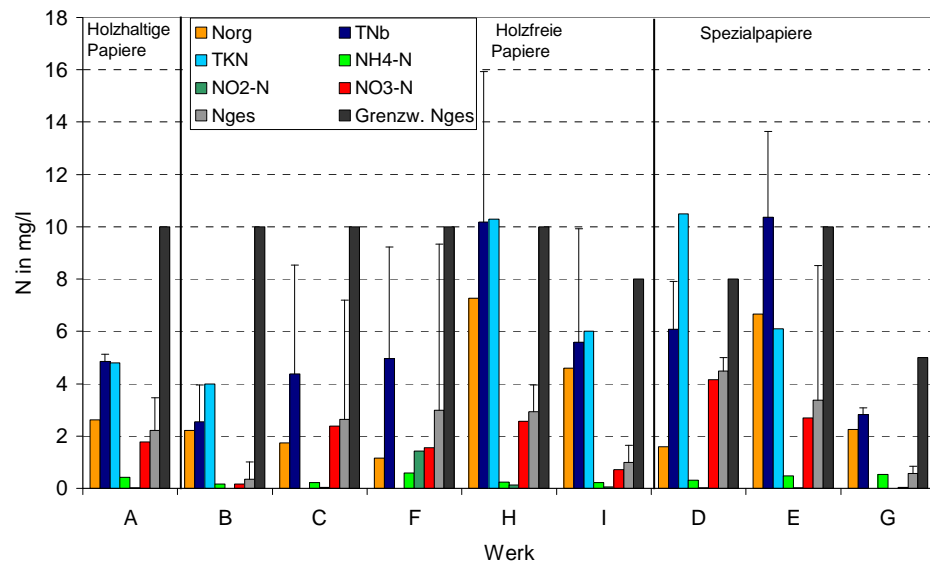
Die folgende Abbildung zeigt die in den Zuläufen der Werke gemessenen Stickstoffparameter. Es sind für alle Parameter die Mittelwerte der im Untersuchungszeitraum durchgeführten Analysen dargestellt; mit Ausnahme der TKN-Messungen, dies sind Einzelwerte.



**Abb. 15:** Stickstoffparameter in den Zuläufen der untersuchten Werke

**ARA-Ablauf**

In der folgenden Abbildung sind analog zu Abb. 15 die in den Abläufen der Werke gemessenen Stickstoffparameter dargestellt. Zusätzlich sind für die Ablaufparameter N<sub>ges</sub> und TN<sub>b</sub> durch die Fehlerindikatoren die einhaltbaren Grenzwerte dargestellt, berechnet aus Mittelwert + 2 · Standardabweichung.



**Abb. 16:** Stickstoffparameter in den Abläufen der untersuchten Werke

Die teilweise relativ hohen TKN-Werte in beiden Abbildungen sind wahrscheinlich dadurch verursacht, dass hier nur Einzelwerte zugrunde liegen. Analog zu Kap. 7.4 lässt sich auch anhand dieser Ergebnisse vermuten, dass der Abstand zwischen Abwasserkonzentration und Grenzwert für den Parameter TN<sub>b</sub> kleiner wird als er für N<sub>ges</sub> derzeit ist.

In der Umfrage ist Werk I (entsprechend Werk 41) durch einen sehr hohen TN<sub>b</sub>-Wert im Ablauf aufgefallen. Das bestätigen die in den entnommenen Proben gemessenen Werte hier nicht, hier sind alle Messwerte auf den gleichen Niveaus wie die der anderen untersuchten Werke.

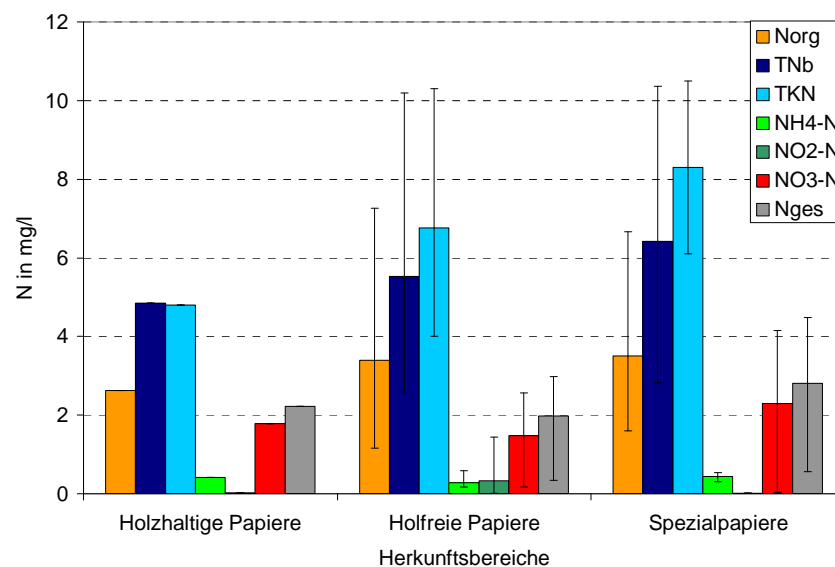
**Einhaltbare Grenzwerte**

Die aktuell geltenden Mindestanforderungen von 10 mg/l an den Parameter N<sub>ges</sub> bzw. ihre individuell geltenden Einleitgrenzwerte werden von allen untersuchten Werken problemlos eingehalten. Sollte der Parameter TN<sub>b</sub> mit der aktuell diskutierten Mindestanforderung von 20 mg/l in den Anhang 28 der Abwasserverordnung aufgenommen werden, so würden alle untersuchten Werke auch diesen Parameter nach dem aktuellen Untersuchungsstand einhalten können, ggf. mit geringerem Sicherheitsbereich. Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass Betriebszustände auftreten, die die Einhaltung der Grenzwerte zeitweilig erschweren oder gefährden.

### Herkunfts- bereiche

In allen untersuchten Herkunftsbereichen sind Werke mit sehr niedrigen anorganischen Stickstoffwerten vertreten: die Werke B und I, die holzfreie Papiere herstellen und das Werk G, das Spezialpapiere herstellt. Die Konzentrationen an organisch gebundenem Stickstoff liegen zwischen 1,5 mg/l und 7,3 mg/l. Sowohl unter den Herstellern von holzfreien Papieren als auch unter den Spezialpapierherstellern sind Werke mit sehr niedrigen und Werke mit höheren Werten vertreten.

Die folgende Abbildung zeigt die Mittelwerte der Stickstoffparameter in den ARA-Abläufen der untersuchten Herkunftsbereiche. Zusätzlich sind die Minimum- und Maximumwerte dargestellt. Dies entfällt für die Holzhaltigen Papiere, da hier nur ein Werk untersucht wurde.



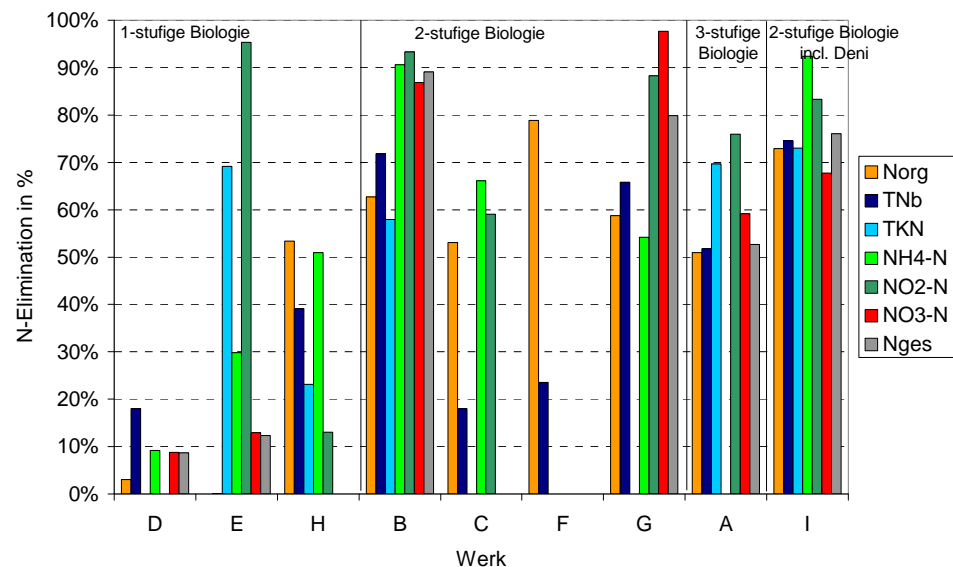
**Abb. 17:** Mittelwerte der Stickstoffparameter in den Abläufen der untersuchten Herkunftsbereiche

Sowohl die Mittelwerte als auch die Minimum- und Maximumwerte der einzelnen Parameter liegen für die untersuchten Herkunftsbereiche auf gleichem Niveau. Es zeigt sich also kein Einfluss des Herstellungsbereiches auf die Stickstoffkonzentrationen im Ablauf der ARA. Damit bestätigt sich hier nicht der Trend aus den Ergebnissen der Umfrage (AP 1), die tendenziell niedrigere N-Konzentrationen in den ARA-Abläufen der Werke gezeigt haben, die Spezialpapiere herstellen.



## 8.2 N-Elimination in verschiedenen ARAs

**N-Eliminationen** Abb. 18 zeigt die Eliminationen der einzelnen Stickstoffparameter in den ARAs der untersuchten Werke gruppiert nach Art der Abwasserreinigung. Dargestellt sind die Eliminationen in der gesamten ARA, also berechnet aus Gesamtzu- und -ablauf.



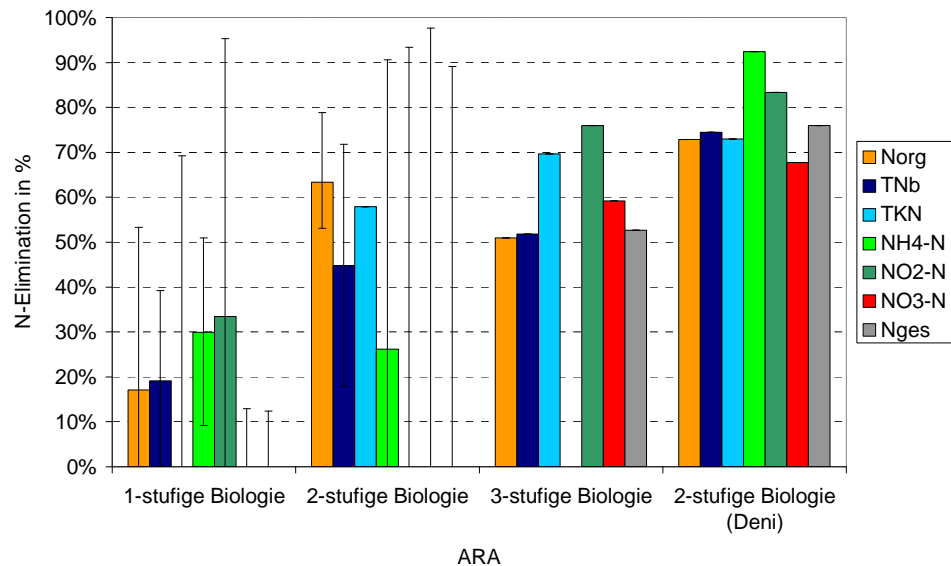
**Abb. 18:** Stickstoffeliminationen in den ARAs der untersuchten Werke

In einzelnen Fällen wurden negative Eliminationen berechnet. Dies war z. B. in Werk F bei allen anorganischen Stickstoffparametern der Fall und wurde wahrscheinlich durch die sehr niedrigen Stickstoffkonzentrationen im Zulauf und Messungenauigkeiten verursacht. In den ARAs der Werke C und H hat die Konzentration an NO<sub>3</sub>-N zugenommen, während die Konzentrationen an NO<sub>2</sub>-N und NH<sub>4</sub>-N abgenommen haben. Dies lässt auf eine Oxidation der anorganischen N-Verbindungen in den Belebungsstufen bis zum Nitrat schließen. Die negativen Werte sind im Diagramm nicht dargestellt.

Werk I zeigt hohe Eliminationen für alle Stickstoffparameter. Obwohl eine Deni-Stufe betrieben wird, lassen sich hier für die einzelnen Parameter allerdings nicht immer die höchsten Eliminationen beobachten. Oft wird die Eliminationsleistung bezüglich der N-Parameter von den ARAs der Werke B, G oder E übertroffen. Die Elimination an TN<sub>b</sub> ist für Werk I am höchsten, wobei der Vorsprung gegenüber Werk B nur gering ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Konzentrationen der N-Parameter oft bereits im Zulauf zur ARA auf niedrigen Niveaus lagen und so eine hohe Elimination oft rechnerisch bedingt ist.

### Einfluss ARA auf N-Elimination

In der folgenden Abbildung sind die mit den verschiedenen ARA-Typen durchschnittlichen Eliminationen der Stickstoffverbindungen dargestellt sowie die Spannen zwischen Minimum- und Maximumwerten.



**Abb. 19:** Stickstoffeliminationen in den untersuchten ARAs

Tendenziell nimmt mit zunehmender Anzahl der biologischen Reinigungsstufen die durchschnittliche Stickstoffelimination zu. Die höchsten durchschnittlichen Eliminationen zeigt die Anlage mit der Deni-Stufe. Dass es sich hierbei lediglich um eine Tendenz handelt wird deutlich, wenn man die dargestellten Minimum- und Maximumwerte vergleicht. So wurden für die Parameter N<sub>org</sub>, NO<sub>2</sub>-N, TKN in 1-stufigen Anlagen höhere Eliminationen erzielt als in 2- oder 3-stufigen Anlagen. Auch lagen die maximalen Eliminationen 2-stufiger Anlagen für nahezu alle Parameter über denen der untersuchten 3-stufigen Anlage. Bei den untersuchten Werken A und I liegen die Eliminationen von N<sub>org</sub> und N<sub>ges</sub> auf ähnlichen Niveaus, bei den Werken B und G wird etwas weniger organischer Stickstoff eliminiert als anorganischer. In einigen ARAs wird also ähnlich viel organisch gebundener Stickstoff eliminiert wie anorganisch gebundener. Die TN<sub>b</sub>-Elimination liegt bei der ARA mit der Deni-Stufe am höchsten.

### 8.3 Fazit

**Benchmarking** Die Stickstoffeliminationsleistungen aller untersuchten ARAs sind sehr unterschiedlich und zeigen keine Systematik/Trends bei Vergleich nach den untersuchten Herkunftsbereichen oder der Art der betriebenen ARA. Dementsprechend konnten keine eindeutigen Zusammenhänge abgeleitet werden zwischen Art und Anzahl der Reinigungsstufen und der Stickstoffelimination. Es lassen sich also keine pauschalen Maßnahmen zur Verbesserung der N-Elimination in der ARA ableiten, tendenziell zeigen sich höhere Eliminationsleistungen, wenn mehrere Stufen betrieben werden. Aber auch der Vergleich mit der denitrifizierenden Anlage zeigt, dass dies keine Gewähr für maximale N-Elimination ist.

**Übertragbarkeit** Es konnte anhand der untersuchten Werke kein Zusammenhang aufgezeigt werden zwischen den eingesetzten Rohstoffen, den produzierten Sorten, der Art der Abwasserreinigung und der Höhe der Stickstoffelimination sowie der Ablaufkonzentrationen. Alle untersuchten Werke halten ihre aktuell geltenden Stickstoffeinleitgrenzwerte sicher ein und auch eine mögliche Mindestanforderung an den Parameter TN<sub>b</sub> von 20 mg/l könnte sicher eingehalten werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse auf den größten Teil der Werke, die Frischfasern einsetzen, übertragen werden können und auch dort Stickstoffeliminationsleistungen und Stickstoffablaufwerte in den Größenordnungen der in diesem Vorhaben untersuchten Werke zu erwarten sind. Aussagen zu Werken, die überwiegend Altpapier einsetzen, können anhand der Projektergebnisse nicht getroffen werden.

## 9 Kostenbetrachtung

**Abwasserabgabe – beispielhafter Fall** **Tab. 8:** beispielhafte Berechnung der Abwasserabgabe

		aktuell	aktuell, niedr. ÜW	neuer Anhang 28	neuer Anh. 28, niedrigerer ÜW
Abwassermenge	m <sup>3</sup> /a	840.000			
Abgabesatz	€/SE	35,79			
Ermäßigung Faktor	-	0,5			
Abgabesatz	€/SE	17,90			
N <sub>ges</sub> ÜW	mg/l	10	8	-	-
N <sub>ges</sub> -Fracht	kg/a	8.400	6.720	-	-
Schadeinheit (N <sub>ges</sub> )	kg/a	25		-	-
Sachadeinheiten (N <sub>ges</sub> )	SE	336	269	-	-
<b>Abgabe N<sub>ges</sub></b>	<b>€a</b>	<b>6.013</b>	<b>4.810</b>	-	-
TN <sub>b</sub> ÜW	mg/l	-	-	20	15
TN <sub>b</sub> -Fracht	kg/a	-	-	16.800	12.600
Schadeinheit (TN <sub>b</sub> )	kg/a	-	-	25	
Sachadeinheiten (TN <sub>b</sub> )	SE	-	-	672	504
<b>Abgabe TN<sub>b</sub></b>	<b>€a</b>	-	-	<b>12.025</b>	<b>9.019</b>
<b>Abgabe N<sub>ges</sub> und TN<sub>b</sub></b>	<b>€a</b>	<b>6.013</b>	<b>4.810</b>	<b>12.025</b>	<b>9.019</b>

In Tab. 8 wurde die Abwasserabgabe für ein beispielhaftes Werk für den derzeitigen Überwachungsparameter N<sub>ges</sub> und den geplanten TN<sub>b</sub> berechnet. Gemäß Abwasserabgabengesetz (AbwAG) entspricht derzeit eine Schadeinheit für Stickstoff 25 kg N<sub>ges</sub> und für eine Schadeinheit sind 35,79 € zu entrichten [16]. Derzeit ist noch nicht abzusehen, wie die Gebühren zukünftig für die beiden Stickstoffparameter N<sub>ges</sub> und TN<sub>b</sub> geregelt sein werden. Daher wird hier zur Abschätzung der Abwasserabgabe davon ausgegangen, dass die Gebühr für Stickstoff zukünftig für TN<sub>b</sub> zu entrichten ist und der Parameter N<sub>ges</sub> darin enthalten ist. Weiter wird davon ausgegangen, dass eine Schadeinheit für TN<sub>b</sub> weiterhin 25 kg entsprechen wird. Das Unterschreiten der Mindestanforderungen gemäß Anhang 28 wird vorausgesetzt, so dass der zu entrichtende Abgabesatz um den Faktor 0,5 vermindert werden kann. Die Überwachungswerte wurden anhand der erzielbaren Werte angenommen. Die Vorbelastung des Vorfluters wurde nicht berücksichtigt.

**Erklärung  
niedrigerer  
Überwachungs-  
werte**

Papierfabriken können ihre Abwassergebühren reduzieren, wenn sie gegenüber der Behörde einen niedrigeren Überwachungswert erklären als im Bescheid festgelegt ist.

Es wurde die aktuelle Abgabe für den geltenden Überwachungswert für N<sub>ges</sub> betrachtet mit der Erklärung eines niedrigeren Überwachungswertes (beide linken Spalten) und die Abgaben für den geplanten Überwachungswert TN<sub>b</sub> mit dem Fall niedriger erklärter Überwachungswerte (beide rechte Spalten).

**Konsequenz der  
Aufnahme des  
TN<sub>b</sub>**

Der hier diskutierte Ansatz mit einer für den Parameter TN<sub>b</sub> identischen Schadeinheit i. v. H. 25 kg N<sub>TN<sub>b</sub></sub>/a = 25 kg würde unweigerlich dazu führen, dass sich die Abwasserabgabe zukünftig erhöht. Zwar spielt die Abwasserabgabe aktuell für N<sub>ges</sub> und zukünftig u. U. für TN<sub>b</sub> nicht die dominierende Rolle, doch sind weitere Kostensteigerungen, insbesondere für kmU nicht mehr tragbar. Eine Lösung für dieses Dilemma kann es nur geben, wenn die SE TN<sub>b</sub> zukünftig auch angepasst wird, beispielsweise auf 50 kg N<sub>TN<sub>b</sub></sub>/a.

Insofern leistet die hier vorgestellte Kostenbetrachtung einen Beitrag dazu, die Kostensteigerung auf Basis der Abwasserabgabe für TN<sub>b</sub> zu minimieren, da die Herabstufung der Überwachungswerte für TN<sub>b</sub> voraussichtlich höher ausfallen kann als für N<sub>ges</sub>.

Die ursprünglich befürchteten Mehrausgaben zur Erweiterung der ARA um Nitrifikations-/Denitrifikationsstufen zur Einhaltung des neuen TN<sub>b</sub>-Überwachungswertes erscheinen aufgrund der Vorhabensergebnisse und der Entwicklungen bei der Revision des Anhangs 28 aktuell nicht notwendig und müssen nur in Einzelfällen von betroffenen Papierfabriken in Betracht gezogen werden.

**Reduzierung der Abwasserabgabe**

Mit den dargestellten Annahmen und Berechnungen ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Reduzierungen der Abwasserabgabe durch die Erklärung niedrigerer Überwachungswerte gegenüber der Behörde derzeit und nach Inkrafttreten des neuen Anhangs 28 in der aktuell diskutierten Form. Die Ergebnisse zeigen für die untersuchten Werke ein hohes Potenzial zur Erklärung niedrigerer Grenzwerte.

**Tab. 9:** Reduzierung der Abwasserabgabe

Reduzierung (N <sub>ges</sub> )	€/a	1.203
Reduzierung (N <sub>ges</sub> )	%	20%
Reduzierung (TN <sub>b</sub> )	€/a	3.006
Reduzierung (TN <sub>b</sub> )	%	25%

**Kosten einer Denitrifikationsstufe**

Die Investitionskosten für eine Denitrifikationsstufe für einen Durchsatz von 60 m<sup>3</sup>/h ähnlich der, die in Werk I betrieben wird, belaufen sich auf ca. 60 T€, inkl. Steuerung und Rohrleitungen. Es fallen nur sehr geringe Betriebskosten an, beispielsweise für Druckluft. Diese sind vernachlässigbar.

Da es nach derzeitiger Datenlage und Stand der Diskussionen zum Anhang 28 keinen Bedarf an weitergehender N-Elimination gibt, und da für das untersuchte Werk mit Deni-Stufe keine signifikant höheren N-Eliminationen gefunden wurden als in den anderen untersuchten Werken, muss im Einzelfall geprüft werden, ob durch eine zusätzliche Stufe zur N-Elimination ein messbarer Effekt zu verzeichnen ist und ob eine derartige Erweiterung wirtschaftlich attraktiv ist und den legislativen Anforderungen an die Wasserqualität gerecht wird.

**kmU der Papierindustrie - kostengünstige TN<sub>b</sub>-Analytik zur Eigenüberwachung**

Die Gegenüberstellung der gemäß DIN EN 12260 in den entnommenen Proben gemessenen TN<sub>b</sub>-Werte und der mittels Küvettentest gemessenen Wert hat in Konzentrationsbereichen unter 40-50 mg/l eine gute Übereinstimmung der Messwerte gezeigt. Da der derzeit diskutierte Überwachungswert von 20 mg/l innerhalb des übereinstimmenden Bereiches liegt, erscheint der Küvettentest zur Eigenüberwachung der Ablaufwerte geeignet. Eine TN<sub>b</sub>-Bestimmung mittels Küvettentest kostet ca. 4 €. Bei arbeitstäglicher Messung fallen pro Jahr 350 Messungen an, was Kosten von 1.000 € bis 1.500 € nur für die Küvetten bedeutet. Ggf. sind einmalig ein Heizblock und ein Fotometer zum Aufschluss und zur Auswertung der Küvettentests anzuschaffen. Incl. Personalkosten für die Durchführung der Messungen belaufen sich die Kosten auf 7,5-8 T€ jährlich und liegen damit in derselben Größenordnung wie die jährlichen Gesamtaufwendungen für TOC-TN<sub>b</sub>-Online-Analysatoren. Eine detaillierte Kostenbetrachtung zur TOC- und TN<sub>b</sub>-Messung mittels Küvettentests und Online-Analysatoren wurde in [17] durchgeführt.

Es ist also für die untersuchten Werke nicht nötig, allein zur Überwachung des Anlagenablauf Online-Analysatoren anzuschaffen, Personal entsprechend zu schulen oder Analysen bei externen Labors durchführen zu lassen. Damit entfallen die Anschaffungskosten von 30.000 und 60.000 € für teure Analysegeräte. Ebenfalls entfällt der damit einhergehende Mehraufwand.

In einigen Papierfabriken wird bereits jetzt ein Online-TOC-Messgerät betrieben. Wird ein solches Gerät um die TN<sub>b</sub>-Option erweitert oder wird bei einer geplanten Anschaffung gleich ein Kombigerät installiert, kann die TN<sub>b</sub>-Messung wirtschaftlicher und/oder mit weniger zusätzlichem Aufwand als mit Küvettentests online gemessen werden. Da mit der Aktualisierung des Anhang 28 auch geplant ist, den CSB durch den TOC zu ersetzen, ist zu erwarten, dass zunehmend TOC-Online-Messgeräte bzw. TOC/TN<sub>b</sub>-Online-Messgeräte installiert werden. Ein Online-Analysator erfordert zwar eine im Vergleich zu den Küvettentests deutlich höhere Primärinvestition, bietet dafür aber als erheblichen Vorteil einen geringeren Personaleinsatz. Dies kann vor allem für kleine und mittlere Unternehmen entscheidend sein, da dort die Personaldecke im Kläranlagenbereich dünner ist als bei größeren Unternehmen oder die Aufgaben der Abwasserüberwachung von anderen Bereichen mit übernommen werden müssen.

## 10 Schlussfolgerungen

<b>einhaltbare Grenzwerte</b>	Die aktuell geltenden Mindestanforderungen von 10 mg/l an den Parameter N <sub>ges</sub> bzw. ihre individuell geltenden Einleitgrenzwerte werden von allen untersuchten Werken problemlos eingehalten. Sollte der Parameter TN <sub>b</sub> mit der aktuell diskutierten Mindestanforderung von 20 mg/l in den Anhang 28 der Abwasserverordnung aufgenommen werden, so würden alle untersuchten Werke auch diesen Parameter nach dem aktuellen Untersuchungsstand problemlos einhalten können.
<b>N-Elimination</b>	Tendenziell nimmt mit zunehmender Anzahl der biologischen Reinigungsstufen die durchschnittliche Stickstoffelimination zu. Die höchsten durchschnittlichen Eliminationen zeigt die Anlage mit der Deni-Stufe. Diese Tendenz zeigt sich nicht in allen Parametern bestätigt.
<b>Einfluss Herkunftsbereich und Anlagentechnik</b>	Die Stickstoffeliminationsleistungen und Ablaufkonzentrationen aller untersuchten ARAs sind sehr unterschiedlich und zeigen keine Systematik/Trends bei Vergleich nach den untersuchten Herkunftsbereichen, den eingesetzten Rohstoffen oder der Art der betriebenen ARA. Es lassen sich also keine pauschalen Maßnahmen zur Verbesserung der N-Elimination in der ARA ableiten, tendenziell zeigen sich höhere Eliminationsleistungen, wenn mehrere Stufen betrieben werden. Aber auch der Vergleich mit der denitrifizierenden Anlage zeigt, dass dies keine Gewähr für maximale N-Elimination ist.
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<p>Die ursprünglich befürchteten Mehrausgaben zur Erweiterung der ARA um Nitrifikations-/Denitrifikationsstufen zur Einhaltung des neuen TN<sub>b</sub>-Überwachungswertes erscheinen aufgrund der Vorhabensergebnisse aktuell nicht notwendig und müssen nur in Einzelfällen von betroffenen Papierfabriken in Betracht gezogen werden.</p> <p>In dem Bereich der diskutierten Mindestanforderung an den TN<sub>b</sub> ist der untersuchte Küvettentest für die tägliche Analytik genauso gut geeignet wie die DIN-Methode. So können im Vergleich zu TN<sub>b</sub>-Analysengeräten erhebliche Material- und Betriebskosten eingespart werden. Bei täglicher TN<sub>b</sub>-Messung fallen beim Küvettentest Materialkosten von 1.000 – 1.500 €/a an.</p> <p>Wenn bei Inkrafttreten des neuen Anhangs 28 ein Online-Messgerät zur Eigenüberwachung angeschafft werden soll, so kann ein Kombigerät sinnvoll sein, das TOC und TN<sub>b</sub> messen kann. Die jährlichen Gesamtaufwendungen hierfür liegen mit 7,5-8 T€ jährlich in der gleichen Größenordnung wie für die Küvettentests bei geringerem Arbeitsaufwand.</p>



## Glossar

Glossar			
AbwV	-		Abwasserverordnung
AbwAG	-		Abwasserabgabengesetz
AFS	mg/l		Abfiltrierbare Stoffe
ARA	-		Abwasserreinigungsanlage
B <sub>R,BSB5</sub>	kg/(m <sup>3</sup> *d)		BSB <sub>5</sub> -Raumbelastung
B <sub>R,CSB</sub>	kg/(m <sup>3</sup> *d)		CSB-Raumbelastung
BSB <sub>5</sub>	mg/l		Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
B <sub>TS,BSB5</sub>	kg/(kg TS*d)		BSB <sub>5</sub> -Schlammbelastung
B <sub>TS,CSB</sub>	kg/(kg TS*d)		CSB-Schlammbelastung
CSB	mg/l		Chemischer Sauerstoffbedarf
DOC	mg/l		Dissolved Organic Carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
DON	µg/l		Dissolved Organic Nitrogen (gelöster organischer Stickstoff)
HOC	-		Hydrophobic Organic Carbon (hydrophober organischer Kohlenstoff)
HRT	h		hydraulische Aufenthaltszeit
LC-OCD-OND	-		Liquid chromatography-organic carbon detection-organic nitrogen detection
LMW	-		Niedermolekulare organische Säuren
Max	-		Maximalwert
Min	-		Minimalwert
MW	-		arithmetischer Mittelwert
n	-		Anzahl der Werte
N-Dos./BSB <sub>5</sub>	g N/g BSB <sub>5</sub>		Stickstoffdosierverhältnis in Bezug zum BSB <sub>5</sub>
N <sub>anorg</sub>	mg/l		Anorganischer Stickstoff
N <sub>ges</sub>	mg/l		Summe aus Ammonium- Nitrit- und Nitrat-Stickstoff, entspricht N <sub>anorg</sub>
NH <sub>4</sub> -N	mg/l		Ammonium-Stickstoff
NO <sub>2</sub> -N	mg/l		Nitrit-Stickstoff
NO <sub>3</sub> -N	mg/l		Nitrat-Stickstoff
N <sub>org</sub>	mg/l		organischer Stickstoff
PM	-		Papiermaschine
SE	-		Schadeinheiten
TKN	mg/l, mg/g		Total Kjeldahl Nitrogen (gesamter Kjeldahl Stickstoff)
TN <sub>b</sub>	mg/l		Total Nitrogen bound (gesamter gebundener Stickstoff)
TOC	mg/l		Total Organic Carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
t <sub>TS</sub>	d		Schlammalter
ÜW	-		Überwachungswert

**Ansprechpartnerin für weitere Informationen:**

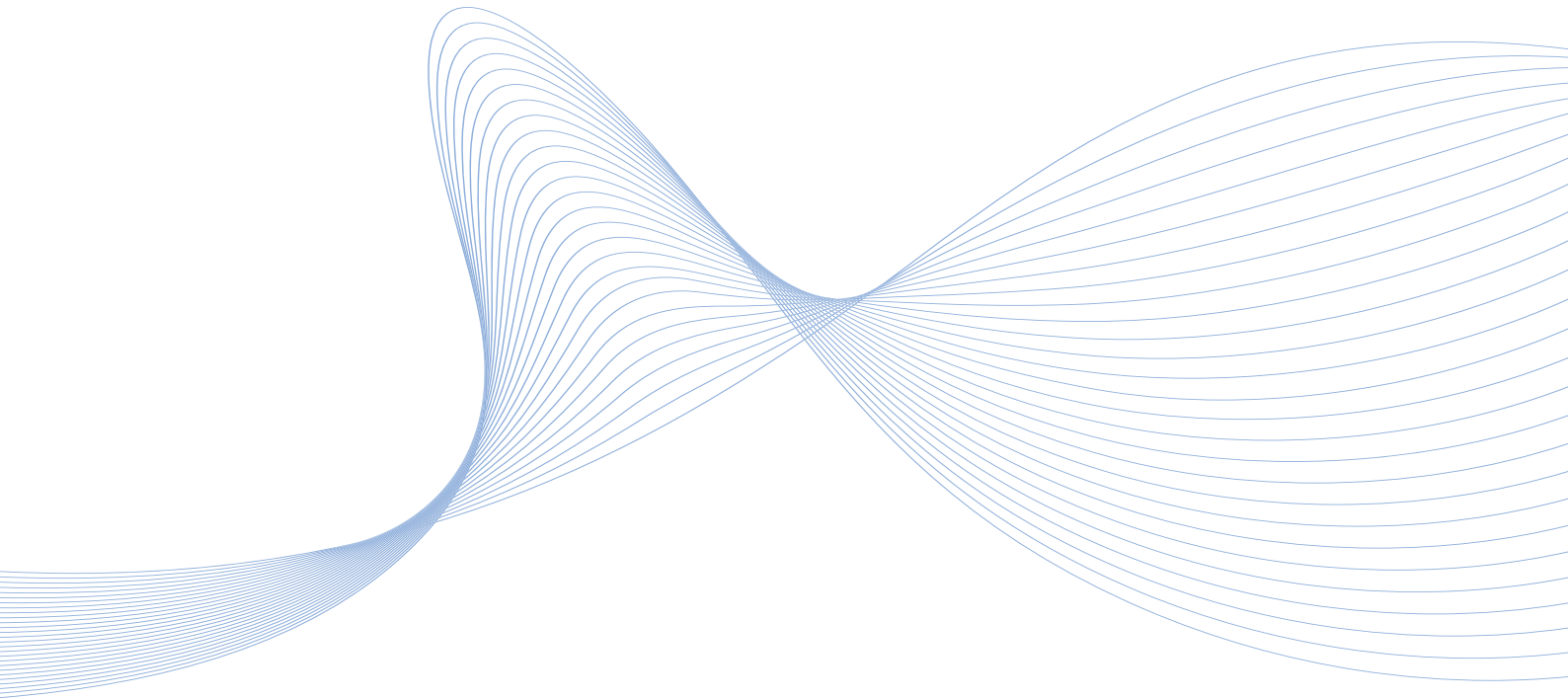
Dipl.-Ing. Svenja Bierbaum  
Tel. 089/12146-144  
Svenja.Bierbaum@ptspaper.de

Papiertechnische Stiftung PTS  
Papiertechnisches Institut PTI  
Heißstraße 134  
80797 München  
Tel. (089) 1 21 46-0  
Fax (089) 1 21 46-36  
e-Mail: info@ptspaper.de  
[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

## Literaturverzeichnis

- 1 N.N.  
Richtlinie 96/61 EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Abl. EG v. 10.10.1996 Nr. L 257/26; zuletzt geändert durch Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 (ABl. L 275 S. 32 vom 25. 10.2003)
- 2 N.N.  
Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung) (ABl. L 334/17 vom 17.12.2010)
- 3 N.N.  
Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie, WRRL) 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 (2000/60/EG) ABl. L 327/1; geändert durch Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 (ABl. L 331 vom 15.12.2001)
- 4 Verordnung über Anforderungen für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung AbwV)  
Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 8 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
- 5 N.N.  
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)  
Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 9 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist"
- 6 N.N.  
Workshop „Neue Anforderungen an Abwassereinleitung unter Berücksichtigung integrierter medienübergreifender Aspekte“, 28.-29.09.2004, BMU – Bonn, im Rahmen des UBA-Forschungsvorhabens „Studie und Workshop zum Stand der Technik der Abwasservermeidung und -behandlung“ Auftraggeber: Umweltbundesamt, 2004 -2005, FKZ: 204 26 321  
Quelle: <http://www.koeppke.com/de/workshop.htm>
- 7 THIEL R. (VDP e.V.), persönliche Mitteilung, 07.03.2007  
Entwurf „Leitfaden für branchenspezifische Arbeitsgruppen zur Überprüfung und Anpassung des Standes der Technik unter Berücksichtigung des integrierten, medienübergreifenden Ansatzes des § 7a WHG“ Überarbeitung vom 16.01.2006
- 8 SUHR M. (Umweltbundesamt), persönliche Mitteilung, 20.03.2007
- 9 Zu beziehen bei:  
Umweltbundesamt: Dipl.-Ing. Almut Reichart, Email: almut.reichart@uba.de  
PTS: Dr. Hans-Jürgen Öller, Email: hans-juergen.oeller@ptspaper  
VDP e. V.: Dr. Reinhardt Thiel, Email: r.thiel@vdp-online.de
- 10 N.N.  
Final report: Pulp, Paper and Paperboard, detailed study EPA 821-R-06-016;  
U.S. Environmental Protection Agency Engineering and Analysis Division Office of Water 1200 Pennsylvania Avenue, NW Washington, D.C. 20460, 2006

- 11 MÖBIUS C. H.  
„Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie - Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier- und Zellstoff“; Vierte, überarbeitete und ergänzte Auflage, Augsburg 2010 (Version 411, Dezember 2011), Quelle: <http://www.cm-consult.de>, Datei AbwasserCM\_411.pdf
- 12 JUNG, H., KAPPEN, J., HESSE, A. und B. GÖTZ:  
Wasser- und Abwassersituation in der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie - Ergebnisse der Wasserumfrage 2010  
Wochenblatt für Papierfabrikation 139, 337 - 339 (2011) Nr. 9
- 13 MAUR B. und H. JUNG  
Wasser- und Rückstandsumfrage in der deutschen Papierindustrie 2007; VDP; 2008  
Projektbericht INFOR-Projekt Nr. 124 an VDP, Dez. 2008 – auszugsweise publiziert in [14]
- 14 JUNG H., HENTSCHKE C., PONGRATZ J. und B. GÖTZ  
Wasser- und Abwassersituation in der deutschen Papier- und Zellstoffindustrie – Ergebnisse der Wasserumfrage 2007  
Wochenblatt für Papierfabrikation, Veröffentlichung eingereicht (Feb. 2009)
- 15 JUNG. H., DEMEL I. und B. GÖTZ  
Wasser- und Abwassersituation in der deutschen Papierindustrie – Ergebnisse der Wasserumfrage 2004  
Wochenblatt für Papierfabrikation 134, 478 - 481 (2006) Nr. 9
- 16 N.N.  
Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz – AbwAG)  
Abwasserabgabengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005 (BGBl. I S. 114), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163) geändert worden ist
- 17 ÖLLER H.-J.  
PTS -Forschungsbericht IG F 15403 Ableitung papiersortenabhängiger CSB:TOC-Faktoren als Voraussetzung zum Ersatz des Parameters CSB in der Abwassergesetzgebung, 47 S.  
[http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/AiF\\_15403.pdf](http://www.ptspaper.de/fileadmin/PTS/Dokumente/Forschung/Forschungsprojekte/AiF_15403.pdf)



[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

**Papiertechnische Stiftung**

Heßstraße 134 · 80797 München · Telefon +49 (0)89-12146-0 · Telefax +49 (0)89-12146-36

Pirnaer Straße 37 · 01809 Heidenau · Telefon +49 (0)3529-551-60 · Telefax +49 (0)3529-551-899