

# Cellulase-Enzym für Papier- und Zellstoffindustrie: Fasermodifikation, Drainage und Deinking

Enzymes.bio Research-Team · Wellington, Neuseeland · June 18, 2026

Cellulase-Enzyme werden in Papier- und Zellstoffprozessen eingesetzt, um cellulosehaltige Faseroberflächen kontrolliert zu modifizieren, die Entwässerung zu unterstützen und Recyclingprozesse wie Deinking zu ergänzen. Für Papierhersteller ist dabei nicht der vollständige Abbau der Faser das Ziel, sondern eine begrenzte enzymatische Wirkung auf zugängliche Cellulosebereiche, Feinanteile und Faser-Faser-Wechselwirkungen. Enzymes.bio liefert Cellulase für industrielle Papier- und Zellstoffanwendungen als Onlineprodukt in 1-kg-Einheiten; CoA und SDS werden bei der Bestellung bereitgestellt .

## Was Cellulase in Papier- und Zellstoffprozessen tatsächlich leistet

Cellulase ist in der Papierindustrie vor allem ein Werkzeug zur **kontrollierten Faseroberflächenmodifikation**. Cellulose bildet das strukturelle Gerüst pflanzlicher Fasern; Papierfasern sind deshalb zugleich das Substrat und der Wertträger des Prozesses. Eine sinnvolle Cellulase-Anwendung muss also selektiv genug sein, um die Oberfläche, die Quellung, Feinanteile oder die Entwässerung zu beeinflussen, ohne die Faserfestigkeit unnötig zu beschädigen. Biotechnologische Verfahren für Zellstoff und Papier werden seit Jahren als Möglichkeit beschrieben, mechanische und chemische Prozessschritte gezielter zu unterstützen <sup>[1]</sup>.

In der Praxis ist Cellulase besonders relevant, wenn die Prozessgrenze **faser- oder cellulosebezogen** ist: schwer entwässerbarer Recyclingstoff, hohe Feinanteile, ungleichmäßige Raffination, schwierige Deinking-Bedingungen oder ein Faserstoff, der für die gewünschte Papierqualität stärker mechanisch behandelt werden müsste. Forschung und Anwendungsliteratur behandeln Cellulase daher nicht isoliert als „Abbauenzym“, sondern als Teil der enzymatischen Fasermodifikation in Zellstoff-, Papier- und Recyclingprozessen <sup>[2]</sup>.

Enzymes.bio ist dabei als **Lieferant** zu verstehen, nicht als Hersteller und nicht als Labor. Das Produkt wird für industrielle Anwendungen bereitgestellt, nicht für den menschlichen Verzehr. Spezifische Produktionsdetails, Laborleistungen oder kundenspezifische Methoden werden hier nicht behauptet; für die gelieferte Ware werden CoA und SDS bei der Bestellung bereitgestellt .

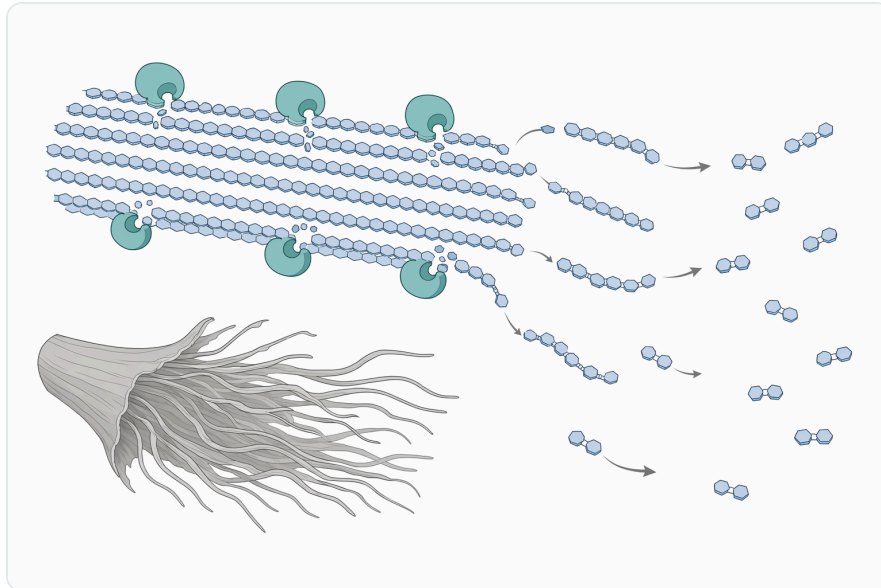
## Der biochemische Mechanismus: warum ein Cellulase-Enzym Papierfasern verändern kann

---

Cellulose besteht aus langen, linearen Ketten von Glucoseeinheiten, die über  $\beta$ -1,4-glykosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. In Papierfasern liegen diese Ketten nicht frei in Lösung vor, sondern in geordneten, teilweise kristallinen und teilweise amorphen Faserstrukturen. Für die Enzymwirkung ist entscheidend, dass Cellulase vor allem an zugänglichen Bereichen der Faseroberfläche, an geschädigten Zonen, an Feinanteilen und an weniger geordneten Celluloseabschnitten ansetzen kann. Allgemeine Arbeiten zur Enzymtechnologie beschreiben Cellulasen als wichtige industrielle Biokatalysatoren für cellulosehaltige Substrate <sup>[3]</sup>.

Cellulase ist kein einzelner Reaktionstyp, sondern umfasst mehrere funktionelle Aktivitäten. **Endoglucanasen** schneiden bevorzugt innerhalb zugänglicher Celluloseketten und erzeugen neue Kettenenden. **Exoglucanasen** beziehungsweise Cellobiohydrolasen arbeiten von Kettenenden aus und lösen kleinere Celluloseeinheiten ab.  **$\beta$ -Glucosidasen** können lösliche Zwischenprodukte weiter umsetzen. In Papierprozessen ist diese vollständige Kaskade meist nicht bis zum Endabbau erwünscht; relevant ist die begrenzte Veränderung der Faseroberfläche und der Feinfraktionen <sup>[4]</sup>.

Der praktische Effekt entsteht aus vielen mikroskopischen Einzelereignissen. Wenn Endoglucanasen lokal in amorphen oder beschädigten Bereichen schneiden, kann sich die Oberfläche aufrauen, die Faser kann anders quellen, Feinanteile können in ihrer Größe oder Hydratation verändert werden, und die Wechselwirkung mit Wasser verändert sich. Dadurch können Drainage, Raffination und Faser-Faser-Bindung beeinflusst werden. Genau deshalb werden enzymatische Verfahren in der Papier- und Zellstoffbiotechnologie als Ergänzung zu mechanischer Behandlung, chemischer Aufbereitung und Recyclingprozessführung diskutiert <sup>[1]</sup>.



**Figure 1.** 셀룰라아제는 섬유벽 전체를 균일하게 분해하기보다 먼저 접근 가능한 셀룰로오스 표면, 피브릴, 미세분, 비정질 영역에 작용한다.

Wichtig ist die Grenze: Zu wenig Wirkung bringt keinen verlässlichen Prozessnutzen; zu starke Hydrolyse kann Festigkeit kosten. Bei Cellulase in Papier ist das Prozessziel daher nicht „mehr Abbau“, sondern **mehr Steuerbarkeit**. Studien zur Cellulasewirkung auf die Raffination von gebleichtem Kraftzellstoff zeigen, dass die Frage nicht nur lautet, ob Cellulose gespalten wird, sondern wie sich die Behandlung auf Raffinationsverhalten und Fasereigenschaften auswirkt <sup>[2]</sup>.

## Typische Anwendungsfelder in der Papier- und Zellstoffindustrie

### Recyclingpapier, Deinking und Sekundärfasern

Recyclingfasern sind bereits mechanisch, thermisch und chemisch vorbelastet. Sie können kürzer, weniger quellfähig, stärker verhärtet oder durch Druckfarbenreste, Füllstoffe und Kreislaufwasserbestandteile beeinflusst sein. Cellulase kann hier helfen, die Oberfläche cellulosehaltiger Fasern und Feinanteile so zu verändern, dass Deinking, Wäsche, Flotation oder Entwässerung besser in das Gesamtprozessfenster passen. Biotechnologische Ansätze für Zellstoff- und Papierprozesse behandeln solche enzymatischen Schritte als Teil einer nachhaltigeren Prozessführung <sup>[1]</sup>.

Beim Deinking ist Cellulase nicht das „Druckfarben-Enzym“ im engeren Sinn. Die Wirkung entsteht eher indirekt: Die Enzymbehandlung kann Faseroberflächen öffnen, Druckfarbenpartikel aus fasergebundenen Bereichen lösen helfen oder die Freisetzung und Abtrennung feiner Partikel

beeinflussen. Ob dies vorteilhaft ist, hängt vom Altpapiermix, der Druckfarbentechnologie, der Chemie der Deinking-Stufe und der nachgeschalteten Trennung ab. Deshalb ist Cellulase in Deinking-Systemen als Prozessbaustein zu verstehen, nicht als Ersatz für alle chemischen oder mechanischen Schritte <sup>[1]</sup>.

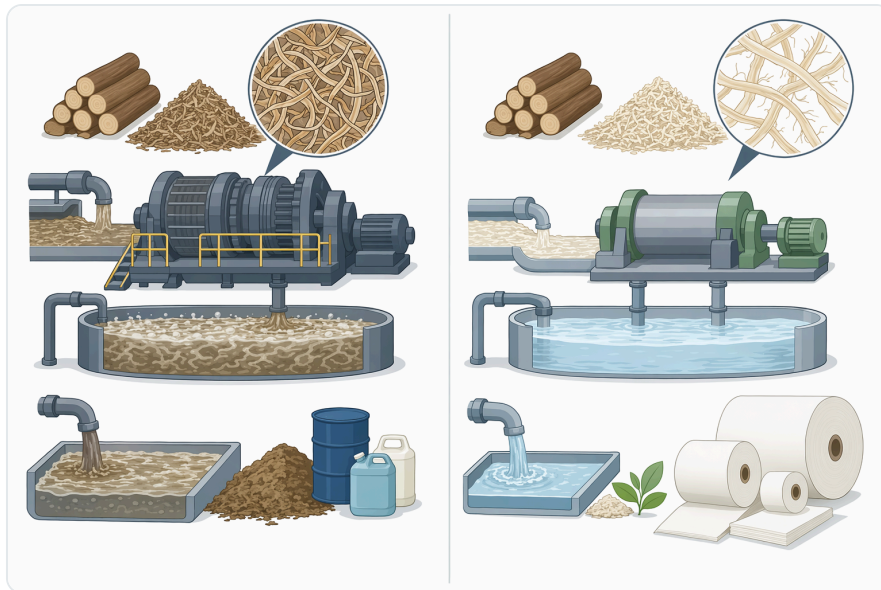
### **Drainage und Entwässerung**

Eine langsame Entwässerung begrenzt Papiermaschinen oft stärker als die reine Faserqualität. Wasser muss aus der Faserstoffsuspension, aus dem Fasernetz und später aus der Papierbahn entfernt werden. Cellulase kann an der Faseroberfläche und an Feinanteilen ansetzen und dadurch verändern, wie viel Wasser gebunden bleibt und wie leicht freies Wasser abläuft. In der Forschung zur Raffination von Zellstoff wird die Cellulasewirkung deshalb mit Blick auf Prozessierbarkeit und Faserverhalten untersucht <sup>[2]</sup>.

Der Drainageeffekt ist mechanistisch nicht nur „weniger Feinanteile“. Auch die Oberflächenladung, die Hydratation, die Flexibilität der Fasern und die Wechselwirkung mit Füllstoffen und Prozesschemikalien können die Entwässerung beeinflussen. Eine milde Cellulasebehandlung kann die Struktur des Faserstoffs so verschieben, dass Wasser leichter aus dem Netzwerk austritt. In geschlossenen Kreisläufen muss dieser Nutzen allerdings gegen mögliche Änderungen bei Retention, Festigkeit und Kreislaufwasserbelastung abgewogen werden <sup>[5]</sup>.

### **Raffinationsunterstützung und Fibrillation**

Raffination erzeugt innere und äußere Fibrillation, verbessert die Bindungsfähigkeit und beeinflusst die Blattfestigkeit. Sie kostet aber Energie und kann bei übermäßiger Behandlung Fasern schädigen. Cellulase kann eine Art biochemische Vor- oder Begleitmodifikation darstellen: zugängliche Oberflächenbereiche werden angegriffen, die Faser wird empfänglicher für mechanische Behandlung, und die gewünschte Fibrillation kann unter günstigeren Bedingungen erreicht werden. Eine aktuelle Arbeit untersuchte ausdrücklich die Wirkung von Cellulase auf den Raffinationsprozess von gebleichtem Nadelholz-Kraftzellstoff <sup>[2]</sup>.



**Figure 2.** 제지 산업에서 셀룰라아제의 활용은 가벼운 섬유 표면 개질부터 당 방출을 위한 강도 높은 가수분해까지 다양하며, 공정 목표와 위험 수준도 각각 다르다.

Dabei ist die Richtung des Effekts nicht automatisch identisch für alle Qualitätskennwerte. Bessere Raffinierbarkeit kann mit veränderten Festigkeitsprofilen, anderer Entwässerung oder veränderter Faserlängenverteilung einhergehen. Für technische Anwender ist deshalb die Unterscheidung zwischen „Faser leichter behandelbar“ und „Papier automatisch besser“ zentral. Enzymatische Fasermodifikation kann ein nützlicher Hebel sein, muss aber zum Rohstoff und zur Zielqualität passen <sup>[6]</sup>.

### Feinanteile, Weißwasser und Kreislaufführung

Moderne Papierfabriken fahren Wasserkreisläufe häufig enger, um Wasserverbrauch und Abwasserlast zu senken. Dadurch reichern sich Feinanteile, gelöste organische Stoffe, kolloidale Substanzen und Additivreste stärker an. Cellulase kann in solchen Systemen dort interessant sein, wo cellulosehaltige Feinfraktionen zur schlechten Entwässerung, Ablagerung oder instabilen Prozessführung beitragen. Arbeiten zu freien und immobilisierten Biokatalysatoren für Papierindustrieabwässer zeigen, dass enzymatische Verfahren nicht nur im Faserstoff, sondern auch in der Behandlung prozessnaher Abwasserströme diskutiert werden <sup>[5]</sup>.

Für Weißwasser und Kreislaufwasser ist die Prozesschemie besonders wichtig. pH-Wert, Temperatur, gelöste Salze, Füllstoffe, Polymere, Biozide, Stärke, Harzbestandteile und Scherbelastung können die Enzymwirkung und die beobachtete Prozessantwort beeinflussen. Cellulase kann cellulosehaltige Feinfraktionen verändern, aber sie entfernt nicht automatisch alle störenden gelösten oder kolloidalen

Substanzen. Studien zu Papier- und Kartonabwässern zeigen, dass biologische und enzymatische Behandlungsansätze immer in ein breiteres Wasser- und Abwasserkonzept eingebettet werden müssen [7].

## Vergleich: Cellulase und andere Enzymklassen in Papierprozessen

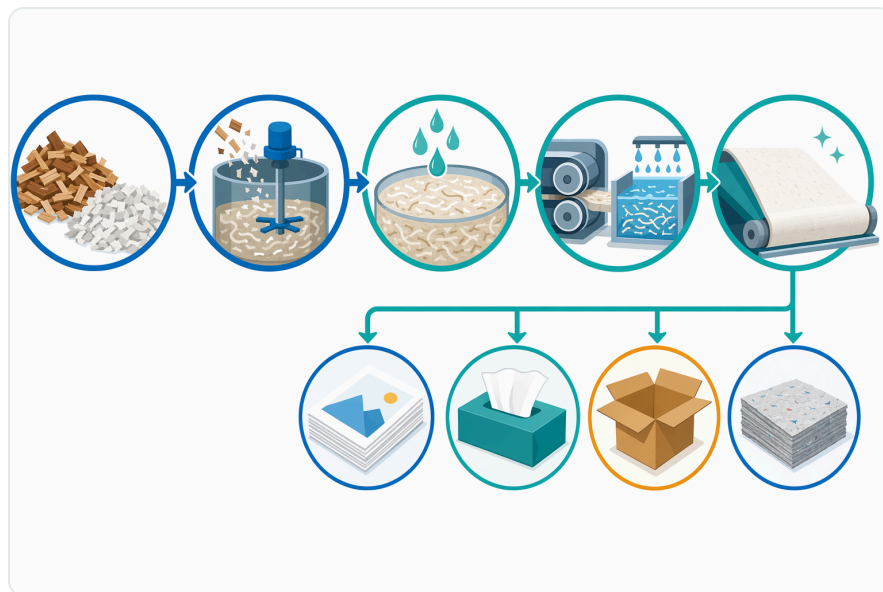
Cellulase wird manchmal zu breit eingeordnet. In Papier- und Zellstoffanwendungen ist es hilfreicher, das Enzym nach Substrat und Prozessziel zu unterscheiden. Eine Cellulase greift Cellulose an; andere Enzyme adressieren Hemicellulosen, Pektine, Stärke, Fette, Lignin-nahe Strukturen oder Abwasserbestandteile. Forschungsarbeiten zur enzymatischen Herstellung und Veredelung von Papier aus landwirtschaftlichen Reststoffen zeigen zum Beispiel, dass xylano-pektinolytische Strategien andere Prozessrollen übernehmen als Cellulase [8].

Prozessziel	Typisch relevante Enzymklasse	Primärer Angriffspunkt	Rolle von Cellulase
Fasermodifikation	Cellulase, teils Hemicellulase	Celluloseoberfläche, zugängliche Faserbereiche	Hauptenzym, wenn cellulosebezogene Oberflächenänderung gewünscht ist
Drainageverbesserung	Cellulase, Hemicellulase	Feinanteile, Faserhydratation, Faseroberfläche	Kann Entwässerung unterstützen, wenn Wasserbindung faserbedingt ist
Deinking-Unterstützung	Cellulase, Hemicellulase, teils weitere Enzyme	Faser-Druckfarben-Grenzflächen, Feinfraktionen	Ergänzend; nicht alleinige Lösung für alle Druckfarben- und Chemieeffekte
Bleaching-Unterstützung	Xylanase, Pektinase, ligninbezogene Systeme	Hemicellulose, Pektin, ligninassoziierte Strukturen	Meist nicht der primäre Hebel
Stickies/Pitch-Kontrolle	Lipase, Esterase, Cutinase und Spezialansätze	Fette, Ester, Harze, Klebstoffbestandteile	Nur indirekt relevant, wenn cellulosehaltige Feinanteile beteiligt sind
Abwasser- oder Schlammbehandlung	Verschiedene freie oder immobilisierte Biokatalysatoren	Organische Reststoffe im Prozesswasser oder Schlamm	Möglich bei cellulosehaltigen Fraktionen, aber nicht universell

Diese Abgrenzung verhindert falsche Erwartungen. Cellulase ist stark, wenn das Problem mit Cellulosefasern, Faseroberflächen, Feinanteilen oder Faserstoffentwässerung zusammenhängt. Für Bleaching, Pitch, Stickies oder Abwasserentfärbung können andere Enzymklassen besser passen. Untersuchungen zur enzymatischen Bleiche von Weizenstroh zu Papier zeigen beispielsweise, dass enzymatische Strategien im Papierbereich oft auf mehrere Nicht-Cellulase-Aktivitäten setzen, wenn Hemicellulose oder Pektin das Ziel sind <sup>[9]</sup>.

## Prozessparameter: welche Faktoren die Wirkung bestimmen

Cellulase wirkt nur dort, wo Enzym, Substrat und Prozessfenster zusammenpassen. Die entscheidenden Parameter sind Temperatur, pH-Wert, Verweilzeit, Stoffdichte, Scherung, Faserstoffzusammensetzung und die chemische Umgebung. In Papierprozessen kommen zusätzlich Füllstoffe, Retentionsmittel, Deinking-Chemikalien, Stärke, optische Aufheller, Tenside, Salze und Kreislaufwasserbestandteile hinzu. Biotechnologische Anwendungen in der Zellstoff- und Papierverarbeitung müssen daher immer als integrierte Prozessschritte betrachtet werden <sup>[1]</sup>.



**Figure 3.** 재활용지 탈목 공정에서 셀룰라아제는 세척이나 부유선별로 방출된 입자를 제거하기 전에 셀룰로오스가 풍부한 잉크 부착 부위를 느슨하게 만든다.

Die **Temperatur** beeinflusst sowohl die Reaktionsgeschwindigkeit als auch die Stabilität des Enzyms. Zu niedrige Temperaturen können die Wirkung verlangsamen; zu hohe Temperaturen können Proteine denaturieren oder die Wirkzeit verkürzen. Auch der **pH-Wert** ist entscheidend, weil die ionisierbaren Gruppen im aktiven Zentrum des Enzyms nur in einem passenden Bereich optimal arbeiten. Welche

Bedingungen geeignet sind, hängt von der konkreten Cellulaseformulierung und vom Prozess ab; dieses Dokument nennt bewusst keine produktspezifischen Aktivitätszahlen oder analytischen Definitionen.

Die **Kontaktzeit** bestimmt, ob die Modifikation mild bleibt oder in stärkere Hydrolyse übergeht. Kurze Einwirkung kann für eine Oberflächenänderung genügen, während längere Einwirkung mehr lösliche Abbauprodukte erzeugen kann. In der Papierpraxis ist das besonders relevant, weil dieselbe biochemische Reaktion je nach Ziel nützlich oder schädlich sein kann: Eine leichte Öffnung der Faseroberfläche kann Raffination und Drainage unterstützen, ein zu starker Angriff kann Fasern schwächen. Arbeiten zur Biomodifikation gebleichter Kraftzellstoffe zeigen, dass enzymatische Behandlung Zusammensetzung, Eigenschaften und Struktur des Zellstoffs verändern kann <sup>[6]</sup>.

Die **Rohstoffmatrix** ist ebenso wichtig. Frischfaser, gebleichter Kraftzellstoff, mechanischer Zellstoff, OCC, gemischtes Büropapier oder Zeitungspapier verhalten sich unterschiedlich. Recyclingfasern enthalten mehr Vorbelastungen und Prozesschemie; agrarische Rohstoffe wie Reisstroh oder Weizenstroh bringen andere Anteile an Hemicellulose, Pektin, Mineralstoffen und Lignin mit. Enzymatische Pulping- und Bleaching-Strategien für Reisstroh und Weizenstroh zeigen, dass die Enzymwahl stark vom Faserrohstoff abhängt <sup>[8]</sup>.

## Was die Forschung gut belegt — und was prozessabhängig bleibt

---

Gut belegt ist, dass Enzyme in der Papier- und Zellstoffindustrie technisch relevant sind. Die Forschung behandelt sie unter anderem für Fasermodifikation, Pulping-Unterstützung, Bleaching, Recycling, Abwasserbehandlung und Reststoffverwertung. Das spricht für die grundsätzliche industrielle Plausibilität von Cellulase, ersetzt aber nicht die prozessspezifische Bewertung einer konkreten Papierlinie <sup>[1]</sup>.

Für Cellulase selbst ist besonders die Rolle in Raffination und Faserbehandlung interessant. Die Untersuchung des Cellulaseeffekts auf den Raffinationsprozess von gebleichtem Nadelholz-Kraftzellstoff ist ein Beispiel dafür, dass die Enzymwirkung nicht nur biochemisch, sondern papiertechnisch bewertet wird. Entscheidend sind dabei nicht abstrakte Enzymkennzahlen, sondern die Antwort des Faserstoffs: Entwässerung, Fibrillation, Festigkeit und Maschinenverhalten <sup>[2]</sup>.

Ebenfalls relevant sind Arbeiten zu biomodifiziertem gebleichtem Kraftzellstoff. Sie zeigen, dass enzymatische Systeme aus pilzlichen Quellen die Zusammensetzung, Eigenschaften, Struktur und Anwendung des Zellstoffs beeinflussen können. Für Anwender ist diese Evidenz nützlich, weil sie die Richtung der möglichen Effekte bestätigt, aber sie erlaubt keine automatische Übertragung auf jeden Recyclingfaserstoff oder jede Papiermaschine <sup>[6]</sup>.

Bei Papierabwässern und Schlämmen ist die Evidenz breiter, aber weniger direkt auf Cellulase-Fasermodifikation übertragbar. Freie und immobilisierte Biokatalysatoren werden für Papierindustrieeffluents untersucht, und enzymatische Behandlungen von Überschussschlämmen aus der Papierindustrie zeigen, dass Enzyme organische Feststoffe und biologische Behandlungsprozesse beeinflussen können. Das ist für Nachhaltigkeit und Kreislaufführung relevant, aber ein anderes Prozessziel als Deinking oder Raffination <sup>[10]</sup>.

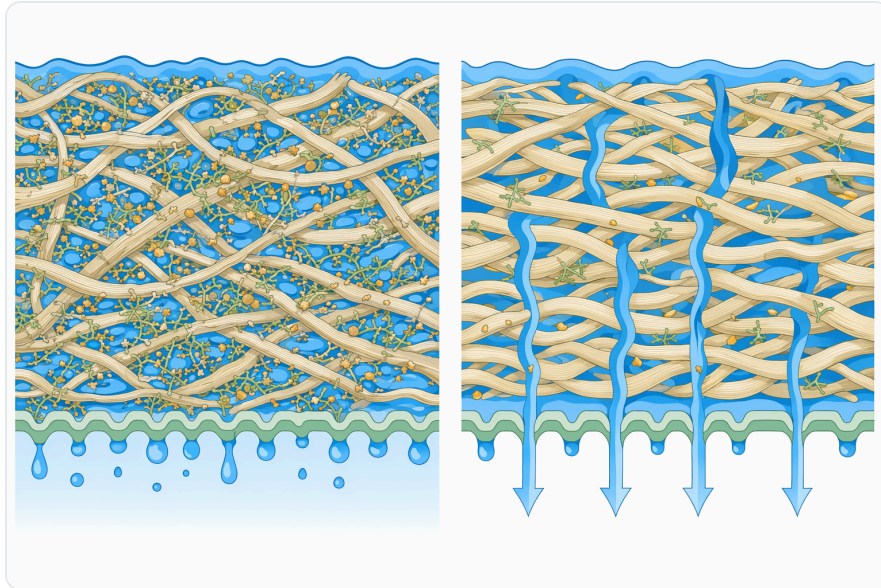


Figure 4. 셀룰라아제는 미세분, 피브릴, 섬유 팽윤, 기공 구조를 변화시켜 배수성과 보수성을 달라지게 할 수 있다.

## Nachhaltigkeitsnutzen ohne Übertreibung

Enzyme können Papierprozesse nachhaltiger machen, wenn sie Chemikalien, Energie, Wasser oder Abwasserlast in einem konkreten Prozessfenster reduzieren helfen. Der Vorteil entsteht aus Spezifität: Ein Enzym greift eine bestimmte Bindung oder Stoffklasse unter vergleichsweise milden Bedingungen an. Allgemeine Übersichtsarbeiten zur Enzymtechnologie beschreiben genau diesen biokatalytischen Charakter als Grund für das industrielle Interesse an Enzymen <sup>[3]</sup>.

Für Cellulase bedeutet das: Wenn eine Faserstofflinie mechanisch sehr intensiv raffiniert werden muss, kann eine passende enzymatische Vorbehandlung die Raffinationsantwort verändern. Wenn Recyclingstoff schlecht entwässert, kann eine gezielte Oberflächen- oder Feinanteilmodifikation die Drainage unterstützen. Wenn Deinking durch fasergebundene Druckfarbenanteile begrenzt wird, kann Cellulase den Prozess ergänzen. Solche Effekte sind realistisch, aber sie sind nicht garantiert und hängen stark von Rohstoff, Wasserchemie und Prozessführung ab <sup>[2]</sup>.

Auch im Abwasser- und Reststoffbereich kann Enzymtechnologie zur Ressourcennutzung beitragen. Biokatalysatoren für Papierindustrieeffluenten und biologische Behandlungskonzepte für Papier- und Kartonabwässer werden als Bausteine nachhaltiger Prozessführung untersucht. Cellulase ist dabei besonders dann relevant, wenn cellulosehaltige Reststoffe oder Faserschlämme eine Rolle spielen <sup>[5]</sup>.

## **Grenzen: wann Cellulase nicht die passende Hauptlösung ist**

---

Cellulase löst keine Probleme, die primär nicht-cellulosebasiert sind. Bei klebrigen Ablagerungen aus Haftklebstoffen, Harzen, Wachsen oder fettigen Bestandteilen können andere Enzymklassen oder chemisch-mechanische Kontrollstrategien sinnvoller sein. Bei Bleachingzielen sind häufig Hemicellulase-, Xylanase- oder pektinolytische Ansätze relevanter, wie Arbeiten zur enzymatischen Papierherstellung aus Reisstroh und Weizenstroh zeigen <sup>[8]</sup>.

Auch eine bessere Drainage kann Nebenwirkungen haben. Wenn Cellulase Feinanteile verändert, kann sich die Retention verschieben. Wenn die Faseroberfläche stärker geöffnet wird, können Festigkeit, Staubbildung, Nasspartie-Verhalten oder Additivbedarf beeinflusst werden. Die Forschung zur Cellulasewirkung auf Raffination und zur Biomodifikation von Kraftzellstoff macht deutlich, dass enzymatische Behandlung immer eine Kombination aus gewünschten und zu kontrollierenden Effekten ist <sup>[6]</sup>.

Schließlich ist Cellulase kein Ersatz für Rohstoffkontrolle, Sortierung, Prozesswasserführung oder Abwasserbehandlung. Enzyme können spezifische Engpässe entschärfen, aber sie korrigieren keine stark schwankende Altpapierqualität und keine instabile Nasschemie. Gerade in geschlossenen Wasserkreisläufen müssen enzymatische Effekte im Kontext von gelösten und kolloidalen Störstoffen bewertet werden <sup>[7]</sup>.



**Figure 5.** 제지 및 펄프 분야에서 셀룰라아제의 응용에는 탈묵, 백수 내 미세분 제어, 배수성 개선 지원, 고해 보조제 활용, 바이오표백 지원, 나노셀룰로오스 생산, 슬러지 자원화가 포함된다.

## Produktbezogene Einordnung für Enzymes.bio-Kunden

Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry ist für industrielle Anwendungen in Papier-, Zellstoff- und Recyclingprozessen positioniert. Typische Zielrichtungen sind Fasermodifikation, Drainageverbesserung, Raffinationsunterstützung und Deinking-Ergänzung. Die wissenschaftliche Grundlage liegt in der Fähigkeit von Cellulase, zugängliche Cellulosebereiche zu hydrolysieren und dadurch Faseroberflächen, Feinanteile und Wasserbindung zu beeinflussen <sup>[1]</sup>.

Enzymes.bio liefert das Produkt als B2B-Onlineartikel in 1-kg-Einheiten. Das Unternehmen ist in diesem Zusammenhang Lieferant, nicht Hersteller und nicht Forschungslabor. CoA und SDS werden bei der Bestellung mitgeliefert; dieses Dokument ersetzt diese Unterlagen nicht und enthält bewusst keine produktspezifischen Aktivitätseinheiten, Qualitätsstufen oder analytischen Methodendetails .

Für Leser aus der Papierindustrie ist die wichtigste technische Einordnung: Cellulase ist sinnvoll, wenn das Ziel mit cellulosehaltigen Fasern zusammenhängt. Sie kann Faseroberflächen begrenzt öffnen, Raffination beeinflussen, Entwässerung unterstützen und Recycling- oder Deinkingprozesse ergänzen. Sie ist dagegen nicht die universelle Lösung für Pitch, Stickies, Bleaching oder komplexe Abwasserchemie <sup>[5]</sup>.

## Fazit

---

Cellulase ist in der Papier- und Zellstoffindustrie ein präzises, aber prozessabhängiges Werkzeug. Ihr Nutzen beruht auf einer kontrollierten Hydrolyse zugänglicher Cellulosebereiche: Faseroberflächen, Feinanteile und Faser-Wasser-Wechselwirkungen können sich dadurch so verändern, dass Raffination, Drainage und Deinking unterstützt werden. Die technische Literatur zu Zellstoff- und Papierbiotechnologie sowie aktuelle Arbeiten zur Cellulasewirkung auf Raffination und biomodifizierte Kraftzellstoffe stützen diese Einordnung <sup>[2]</sup>.

Für industrielle Anwender ist die realistische Erwartung entscheidend. Cellulase kann die Prozessierbarkeit von Faserstoffen verbessern, ersetzt aber keine stabile Rohstoffführung, keine durchdachte Nasschemie und keine geeigneten Trenn- oder Abwasserprozesse. Als von Enzymes.bio geliefertes 1-kg-Onlineprodukt ist Cellulase für Papier- und Zellstoffanwendungen vor allem dann relevant, wenn die Herausforderung faser-, feinanteil- oder drainagebezogen ist.

### Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry online bestellen

Verkauf in 1 kg-Einheiten, ab Lager und versandbereit. Bestellen Sie direkt in unserem Shop — bezahlen Sie online, wir bearbeiten Ihre Bestellung. Ein Analysenzertifikat und ein Sicherheitsdatenblatt liegen jeder Bestellung bei.

[Cellulase Enzyme For Paper And Pulp Industry kaufen →](#)

## Referenzen

---

Nummeriert nach Reihenfolge der Erstzitation. Open-Access-Quellen, jeweils zum Veröffentlichungszeitpunkt auf Erreichbarkeit geprüft; die Zitationsnummern im Text verlinken hierher:

1. Bajpai, P. (2018). [Biotechnology for Pulp and Paper Processing](#). *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*.
2. Park, S. G., Tak, J., Lee, J. Y., Shin, K. S., & Park, S. I. (2024). [Evaluation of cellulase effect on the refining process of softwood bleached kraft pulp](#). *BioResources*.
3. Khan, N. (2018). [Enzyme Technology - An Emerging Trend in Biotechnology](#).
4. Khan, M. F. (2025). [Recent Advances in Microbial Enzyme Applications for Sustainable Textile Processing and Waste Management](#). *The Scientist*.
5. Tite, T. E., Ngema, P., & Makhathini, T. P. (2024). [Exploration of Free and Immobilized Biocatalysts for the Treatment of Paper Industry Effluents](#). *Separation & Purification Reviews*, 54, 258 - 275.

6. Shevchenko, A. R., Tyshkunova, I., Chukhchin, D., Malkov, A., Toptunov, E. A., Telitsin, V. D., Rozhkova, A., ... et al. (2023). Production of Biomodified Bleached Kraft Pulp by Catalytic Conversion Using Penicillium verrucosum Enzymes: Composition, Properties, Structure, and Application. *Catalysts*.
7. Tawfik, A., Bakr, M. H., Nasr, M., Haider, J., Mesfer, M. K., Lim, H., Qyum, M., ... et al. (2021). Economic and environmental sustainability for anaerobic biological treatment of wastewater from paper and cardboard manufacturing industry. *Chemosphere*, 133166 .
8. Nagpal, R., Mishra, O., Bhardwaj, N., & Mahajan, R. (2022). Valorization of Agro-industrial Residue-Rice Straw for Manufacturing Better Quality Paper Using Cleaner, Ultrafiltered Xylano-Pectinolytic Enzymatic Pulping Strategy. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 4851 - 4859.
9. Sharma, D., Agrawal, S., Nagpal, R., Kaur, A., Bhardwaj, N., & Mahajan, R. (2023). Valorization of wheat straw into paper by ultrafiltered enzymatic bleaching approach. *Bioprocess and biosystems engineering (Print)*, 47, 289-297.
10. Zhang, K., Wu, C., Chen, J., & Yang, G. (2012). Enzymatic Treatment Effects on Waste Activated Sludge from Pulp and Paper Industry. *Advanced Materials Research*, 610-613, 20 - 24.


## Enzymes.bio kontaktieren


Fragen zu einer Bestellung? Unser Team hilft Ihnen gerne weiter.

E-MAIL [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFON (USA) **+1 (507) 428-6057**

[Kontakt aufnehmen →](#)

 **400+** B2B-Kunden

 **60+** universitäre Forschungspartner

 **54** weltweit beliefert

© 2026 Enzymes.bio · Enzymlieferant für Industrie & Lebensmittelverarbeitung · Nicht zum menschlichen Verzehr oder für den Einzelverkauf.