

# Laccase für Polyphenolmanagement, Farbstoffabbau und Lignin-Modifikation

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

Laccase ist ein kupferhaltiges Oxidationsenzym, das vor allem phenolische, aromatische und ligninähnliche Verbindungen mit Sauerstoff als Elektronenakzeptor umsetzt. In der Praxis wird das Laccase-Enzym für Polyphenolmanagement in Getränken, oxidative Vernetzung in Lebensmitteln, Farbstoffabbau, phenolische Abwasserbehandlung sowie Lignin-Modifikation in Zellstoff-, Papier- und Biorefinery-Prozessen eingesetzt <sup>[1]</sup>.

Enzymes.bio bietet Laccase als B2B-Produkt in 1-kg-Einheiten direkt online an; CoA und SDS werden bei der Bestellung mitgeliefert. Enzymes.bio ist Lieferant, nicht Hersteller und nicht Labor.

## Was Laccase technisch leistet

Laccase gehört zu den Multikupfer-Oxidase. Das bedeutet nicht einfach „ein Enzym mit Kupfer“, sondern ein Protein, dessen Kupferzentren Elektronen vom Substrat aufnehmen und auf molekularen Sauerstoff übertragen. Die typische Laccase-Reaktion ist eine Ein-Elektronen-Oxidation: Ein phenolisches oder aromatisches Substrat wird zum Radikal oder Chinon-ähnlichen Zwischenprodukt oxidiert; Sauerstoff wird am Enzym reduziert, wobei Wasser entsteht <sup>[2]</sup>.

Für industrielle Anwender ist diese Chemie deshalb interessant, weil Laccase keine starke stöchiometrische Oxidationschemikalie ersetzt, sondern eine selektivere biokatalytische Oxidation ermöglicht. Das Ergebnis kann je nach Matrix sehr unterschiedlich sein: kleine Phenole können polymerisieren, Farbstoffchromophore können verändert werden, ligninähnliche Strukturen können funktionalisiert oder teilweise depolymerisiert werden, und bestimmte phenolische Kontaminanten können in weniger mobile oder leichter abtrennbare Produkte überführt werden <sup>[3]</sup>.

Der Suchbegriff „laccase mechanism“ führt oft zu stark vereinfachten Darstellungen. Prozessrelevant sind drei Schritte: erstens Bindung oder Annäherung eines oxidierbaren Substrats an die äußere Kupferstelle, zweitens Elektronenübertragung auf das Kupferzentrum und Bildung eines

Substratradikals, drittens Weiterreaktion dieses Radikals außerhalb des aktiven Zentrums. Dadurch erklärt sich, warum Laccase sowohl Polymerisation als auch Abbau bewirken kann: Das Enzym erzeugt reaktive Zwischenstufen, die chemische Folgereaktionen der jeweiligen Matrix auslösen [4].

## Struktur, Herkunft und Varianten

### Multikupfer-Zentren und Substratbreite

Die Laccase-Struktur ist entscheidend für ihre Funktion. Laccasen besitzen mehrere Kupferzentren, die in der Literatur typischerweise als Typ-1-, Typ-2- und Typ-3-Kupferstellen beschrieben werden. Das Typ-1-Zentrum ist für die erste Elektronenaufnahme vom Substrat wichtig; die Typ-2-/Typ-3-Zentren bilden den Sauerstoffreduktionsbereich. Diese Architektur erklärt, warum Laccase Sauerstoff direkt nutzen kann und warum keine Peroxidzugabe erforderlich ist, anders als bei Peroxidasen [2].

Die Substratbreite ist groß, aber nicht unbegrenzt. Laccase oxidiert besonders gut Verbindungen mit geeigneter Elektronendichte und passendem Redoxpotential, darunter viele Phenole, Polyphenole, aromatische Amine und Lignin-Bausteine. Nicht-phenolische oder sterisch schlecht zugängliche Moleküle reagieren häufig nur langsam oder benötigen ein Laccase-Mediator-System [3].

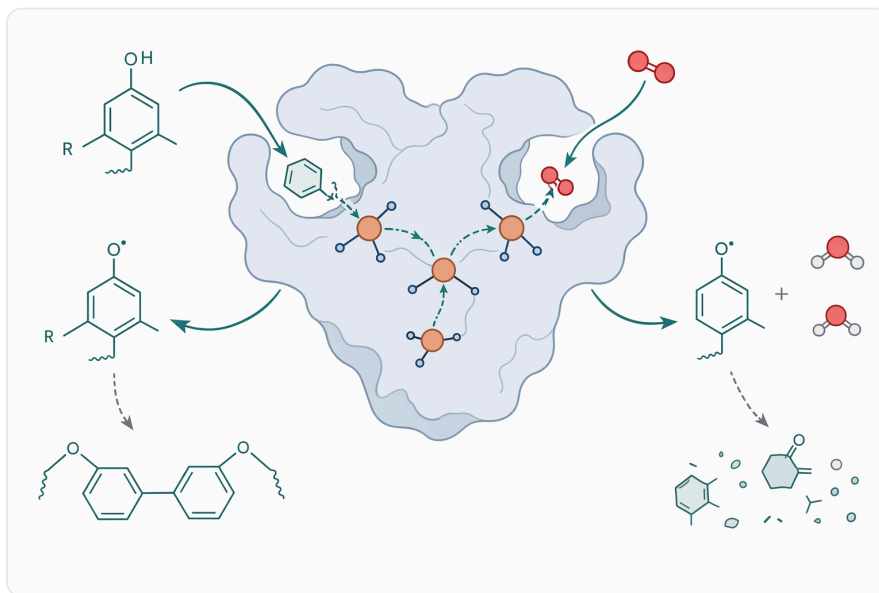


Figure 1. 라카아제는 페놀성 기질의 1전자 산화를 촉매하면서 산소를 물로 환원합니다.

### Pilzliche, bakterielle und weitere Laccasen

Viele technisch diskutierte Laccasen stammen aus Pilzen, insbesondere Weißfäulepilzen, weil diese Organismen Lignin in der Natur oxidativ angreifen. Der Begriff „laccase trametes versicolor“ ist deshalb in der Anwendungsliteratur verbreitet: *Trametes versicolor* ist ein häufig untersuchter laccasebildender

Pilz und dient in vielen Studien als Referenzorganismus für Lignin- und Farbstoffoxidation <sup>[1]</sup>.

Neben pilzlichen Laccasen werden bakterielle, pflanzliche und zunehmend auch Insekten-Mikroben-assoziierte Laccasen untersucht. Bakterielle Laccasen können in einigen Fällen eine höhere Toleranz gegenüber pH-Wert, Temperatur oder Prozessbelastungen zeigen, während pilzliche Laccasen oft durch hohe oxidative Leistungsfähigkeit gegenüber phenolischen und ligninähnlichen Substraten auffallen. Die Eignung hängt jedoch von der konkreten Enzymvariante ab, nicht nur von der Organismengruppe <sup>[5]</sup>.

Bezeichnungen wie „laccase C“ sind meist isoform- oder organismusspezifisch. Sie sagen ohne Kontext wenig über Anwendung, Stabilität oder Substratprofil aus. Auch das „laccase molecular weight“ ist keine feste Produkteigenschaft der Enzymklasse: Molekulargewicht und Glykosylierung variieren je nach Quelle, Sequenz, Expressionssystem und Aufarbeitung <sup>[4]</sup>.

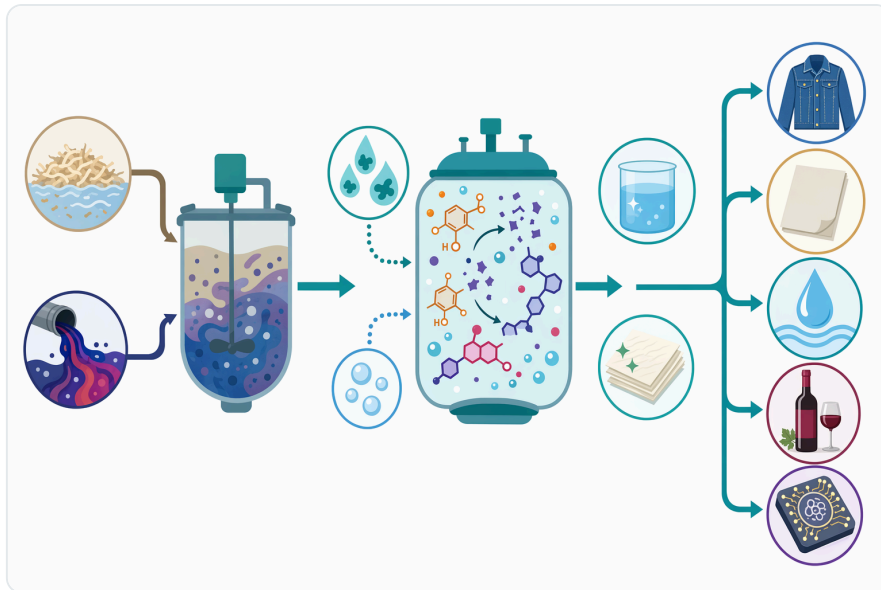
## Laccase-Reaktion: Was im Prozess wirklich passiert

---

### Oxidation phenolischer Verbindungen

In Fruchtsaft, Wein, Bier, pflanzlichen Extrakten und Prozesswässern liegen phenolische Verbindungen oft als komplexe Gemische vor. Laccase oxidiert solche Moleküle zu Phenoxyradikalen oder Chinon-ähnlichen Strukturen. Diese reagieren anschließend miteinander oder mit Matrixbestandteilen. Dadurch können höhermolekulare Produkte entstehen, die eine andere Löslichkeit, Farbe oder Filtrierbarkeit besitzen <sup>[6]</sup>.

Diese Reaktion erklärt den Einsatz von Laccase im Polyphenolmanagement. In Getränken können oxidierte Polyphenole zur Aggregation und anschließenden Entfernung beitragen; gleichzeitig kann eine zu weitgehende Oxidation sensorische Eigenschaften verändern. Laccase ist daher kein unspezifisches Klärmittel, sondern ein Werkzeug zur gezielten Veränderung oxidierbarer Pflanzeninhaltsstoffe <sup>[6]</sup>.



**Figure 2.** 산업용 라카아제 공정은 산소 기반 산화를 이용해 리그닌, 염료, 페놀류 및 기타 방향족 화합물을 변형합니다.

## Laccase-Mediator-Systeme

Der Begriff „laccase mediator“ bezeichnet kleine redoxaktive Moleküle, die von Laccase oxidiert werden und anschließend schwerer zugängliche oder höher redoxpotente Substrate oxidieren. Dadurch lässt sich das Reaktionsspektrum erweitern, etwa bei nicht-phenolischen Ligninstrukturen oder bestimmten persistenten organischen Stoffen. Der Mediator wirkt dabei als chemischer Shuttle zwischen Enzym und Zielsubstrat <sup>[2]</sup>.

Für technische Anwendungen ist das attraktiv, aber nicht automatisch unproblematisch. Mediatoren können Kosten, Regulatorik, Sensorik, Nebenproduktprofile und Abwasserlast beeinflussen. In Lebensmittel- oder Getränkematrizes ist ein Laccase-Mediator-System deshalb anders zu bewerten als in einer technischen Abwasser- oder Lignin-Modifikationsanwendung <sup>[6]</sup>.

## Laccase-Lignin-Wechselwirkung

„Laccase lignin degradation“ und „laccase lignin“ sind häufige Suchbegriffe, weil Laccase an der oxidativen Veränderung von Lignin beteiligt sein kann. Lignin besteht aus phenylpropanoiden Einheiten mit vielen phenolischen und nicht-phenolischen Strukturen. Laccase greift bevorzugt phenolische Ligninbereiche direkt an; nicht-phenolische Anteile werden oft erst über Mediatoren effizienter adressiert <sup>[1]</sup>.

In der Praxis kann Laccase Lignin nicht einfach vollständig „auflösen“. Je nach Substrat und Prozessbedingungen sind sowohl Depolymerisation als auch Polymerisation möglich. Bei lignocellulosischen Materialien kann dies zur Oberflächenaktivierung, zur Veränderung der

Faserchemie oder zur Unterstützung nachgeschalteter Verarbeitungsschritte führen [2].

## Vergleich: Laccase gegenüber verwandten Oxidationssystemen

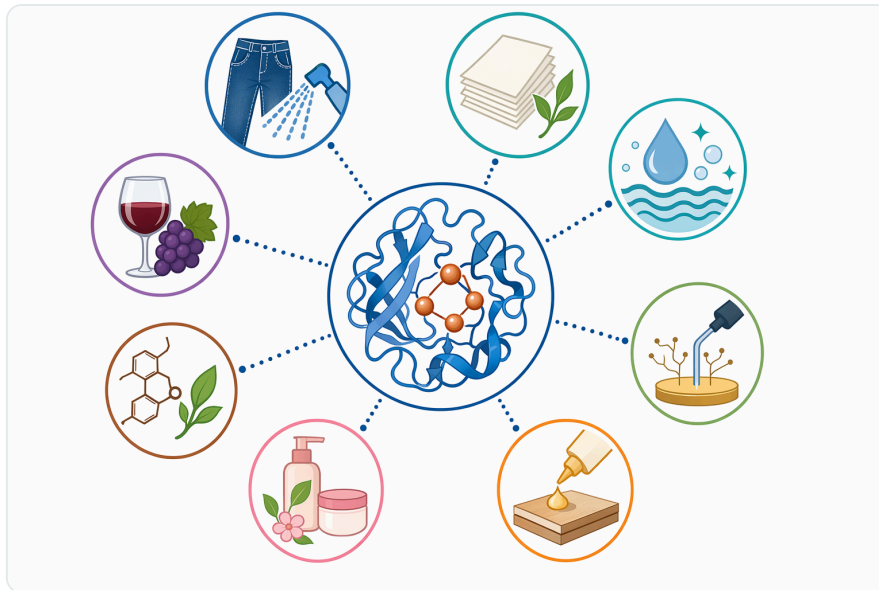
Kriterium	Laccase	Peroxidasen	Chemische Oxidationsmittel
Elektronenakzeptor	Molekularer Sauerstoff	Häufig Wasserstoffperoxid	Reagenzabhängig
Typische Substrate	Phenole, Polyphenole, aromatische Amine, ligninähnliche Strukturen	Phenole, aromatische Verbindungen, ligninähnliche Substrate	Sehr breit, oft weniger selektiv
Nebenproduktlogik	Sauerstoffreduktion zu Wasser	Peroxid wird umgesetzt; Überschuss kann Enzyme inaktivieren	Salz-, Säure-, Oxidations- oder Reduktionsnebenprodukte möglich
Prozessprofil	Milde enzymatische Oxidation, matrixabhängig	Stark abhängig von Peroxidführung	Hohe Reaktivität, oft höhere Material- und Sicherheitsanforderungen
Typische Anwendungen	Polyphenolmanagement, Farbstoffabbau, Lignin- Modifikation, phenolische Detoxifizierung	Lignin- und Farbstoffoxidation, Spezialbiokatalyse	Bleiche, Desinfektion, chemische Oxidation, Abwasserbehandlung
Hauptgrenze	Substrat-Redoxpotential, Sauerstofftransfer, Hemmstoffe	Peroxidkontrolle, Enzymstabilität	Selektivität, Nebenprodukte, Arbeitssicherheit

Diese Gegenüberstellung zeigt, warum Laccase häufig als „grüner“ Biokatalysator beschrieben wird: Sie nutzt Sauerstoff und kann unter relativ milden Bedingungen arbeiten. Der Vorteil gilt aber nur, wenn Substrat, pH-Wert, Sauerstoffverfügbarkeit und Matrix zur Enzymreaktion passen [2].

## Anwendungen in Lebensmitteln und Getränken

### Fruchtsaftklärung und Stabilisierung

In Fruchtsäften tragen Polyphenole, Proteine, Polysaccharide und Schwebstoffe gemeinsam zu Trübung und Stabilitätsproblemen bei. Laccase adressiert vor allem den phenolischen Anteil dieses Systems. Durch Oxidation können Polyphenole reaktiver werden, koppeln oder sich mit anderen Matrixkomponenten verbinden; daraus können Produkte entstehen, die leichter entfernt oder in ihrer Reaktivität verändert werden [6].



**Figure 3.** 라카아제는 섬유, 펄프 및 제지, 환경 처리, 식음료 가공, 바이오 기반 소재 등 다양한 분야에서 사용됩니다.

Bei Apfel-, Trauben-, Beeren- oder Zitrusprodukten ist der Effekt nicht identisch, weil Phenolprofil, Säuregrad, Sauerstoffeintrag und Feststoffgehalt stark variieren. In einem klaren Saft kann die Zielgröße Filtrierbarkeit oder Trübungsstabilität sein; in einem naturtrüben Produkt kann dieselbe Oxidation unerwünschte Farb- oder Aromaveränderungen auslösen. Deshalb ist Laccase im Getränkebereich vor allem ein Steuerungswerkzeug für definierte Prozessziele <sup>[6]</sup>.

### Laccase in Wein und Brauprozessen

Der Suchbegriff „laccase wein“ ist fachlich relevant, weil Polyphenole in Wein sowohl erwünscht als auch problematisch sein können. Sie beeinflussen Farbe, Adstringenz, Oxidationsverhalten und Stabilität. Laccase kann phenolische Substrate oxidieren, wodurch sich Farb- und Trübungsverhalten verändern können. Diese Wirkung ist jedoch produktabhängig und muss mit dem gewünschten sensorischen Profil vereinbar sein <sup>[6]</sup>.

Auch im Brauprozess ist Polyphenolmanagement ein Thema, insbesondere bei kolloidaler Stabilität und Wechselwirkungen zwischen Polyphenolen und Proteinen. Laccase kann hier theoretisch zur oxidativen Veränderung phenolischer Komponenten beitragen. Entscheidend bleibt, ob der Prozess auf Klärung, Stabilisierung oder gezielte Veränderung des Rohstoffprofils ausgerichtet ist <sup>[6]</sup>.

### Backwaren und pflanzliche Matrices

In Backwaren kann Laccase phenolische Bestandteile in Mehl, Kleie oder pflanzlichen Zusätzen oxidativ vernetzen. Dadurch können indirekt Teig rheologie, Wasserbindung oder Struktur beeinflusst werden, insbesondere wenn phenolische Polymere und Zellwandbestandteile beteiligt sind. Die Laccase-

Funktion unterscheidet sich hier von Proteasen oder Amylasen: Sie spaltet nicht primär Proteine oder Stärke, sondern verändert oxidative Kopplungsreaktionen im pflanzlichen Netzwerk <sup>[1]</sup>.

Bei ballaststoffreichen Rezepturen, Vollkornsystemen oder pflanzenbasierten Zutaten kann dieser Mechanismus relevant sein. Zugleich sind Teige komplexe Mehrphasensysteme; eine gewünschte oxidative Vernetzung in einer Rezeptur kann in einer anderen zu einer zu festen, trockenen oder sensorisch veränderten Struktur führen. Laccase sollte daher als modulierendes Enzym verstanden werden, nicht als universeller Teigverbesserer <sup>[6]</sup>.

## Anwendungen in Textil, Farbstoff und Abwasser

### Farbstoffabbau und Entfärbung

Laccase wird intensiv für den Abbau industrieller Farbstoffe untersucht, weil viele Farbstoffe aromatische Strukturen besitzen. Das Enzym kann Chromophore oxidativ verändern; dadurch können Farbe, Löslichkeit oder weitere Abbaubarkeit beeinflusst werden. Immobilisierte Laccase-Systeme werden besonders häufig betrachtet, weil sie in kontinuierlichen oder wiederholten Behandlungen besser handhabbar sein können <sup>[7]</sup>.



**Figure 4.** 강한 화학적 산화와 비교하면, 라카아제 처리는 방향족 기질을 선택적으로 산화하면서 화학물질 사용량을 줄일 수 있습니다.

Eine Studie zur Immobilisierung von Laccase auf Chitosan-Ton-Kompositkügelchen zeigte, dass Trägermaterialien die katalytische Effizienz beim Abbau industrieller Farbstoffe verbessern können. Solche Ergebnisse sind wichtig, weil freie Enzyme in realen Abwässern durch pH-Wert, Salze, Tenside, Schwermetalle oder organische Nebenbestandteile beeinträchtigt werden können <sup>[8]</sup>.

## Phenolische Kontaminanten und Detoxifizierung

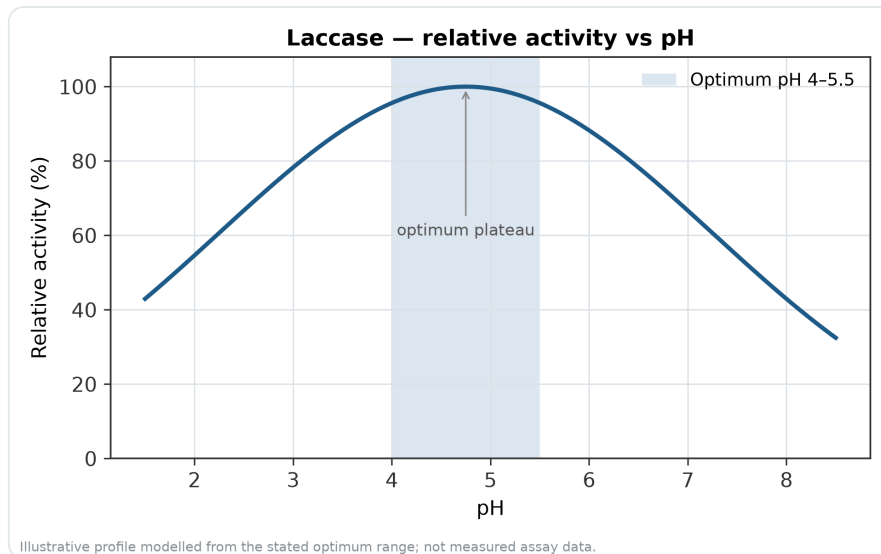
Phenolische Verbindungen sind in vielen Industrie- und Umweltströmen problematisch, weil sie toxisch, farbgebend, geruchsaktiv oder schwer biologisch abbaubar sein können. Laccase kann solche Stoffe oxidieren und damit deren Reaktivität, Bioverfügbarkeit oder Entfernbarkeit verändern. Reviews zu freier und immobilisierter Laccase beschreiben Detoxifizierungsmechanismen wie Polymerisation, Oxidation zu weniger toxischen Produkten und Bindung an Träger- oder Matrixstrukturen [3].

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Transformation und vollständiger Mineralisierung. Laccase kann einen Zielstoff umwandeln, aber daraus folgt nicht automatisch, dass der gesamte organische Kohlenstoff zu CO<sub>2</sub> abgebaut wird. Für Abwasserprozesse ist daher relevant, ob die Laccase-Reaktion die nachgeschaltete Behandlung verbessert, die Toxizität senkt oder problematische Farbstoff- bzw. Phenolfractionen besser abtrennbar macht [3].

## Immobilisierte Laccase in technischen Systemen

Immobilisierung bedeutet, dass das Enzym an oder in einem Trägermaterial fixiert wird. In der Literatur werden unter anderem kohlenstoffbasierte Träger, Chitosan-Komposite und metallorganische Gerüstmaterialien untersucht. Ziel ist meist eine bessere Wiederverwendbarkeit, höhere Betriebsstabilität oder einfachere Abtrennung des Biokatalysators aus dem Prozessstrom [9].

MOF-Träger, also metallorganische Gerüstmaterialien, werden als neuere Immobilisierungsplattform für Laccase diskutiert. Sie bieten hohe innere Oberflächen und einstellbare Porenstrukturen, können aber je nach Anwendung Kosten-, Stabilitäts- und Skalierungsfragen aufwerfen. Für industrielle Nutzer ist die Kernaussage: Immobilisierung kann Laccase robuster und prozesstechnisch attraktiver machen, ist aber eine eigene Technologieentscheidung und keine automatische Eigenschaft jeder Laccaseform [10].



**Figure 5.** pH에 따른 라카아제의 상대 활성으로, pH 4–5.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

## Zellstoff, Papier und Biorefinery

Laccase ist für Zellstoff- und Papierprozesse interessant, weil sie ligninverwandte Strukturen oxidativ modifizieren kann. In der Papierindustrie kann dies für Bleichunterstützung, Faserfunktionalisierung oder Änderung der Oberflächeneigenschaften relevant sein. Das Prinzip beruht nicht darauf, Cellulose direkt abzubauen, sondern auf der selektiveren Veränderung phenolischer Ligninbestandteile und ligninähnlicher Extraktstoffe [1].

In Biorefinerien geht es häufig darum, lignocellulosische Rohstoffe effizienter zu fraktionieren oder Lignin als funktionellen Rohstoff aufzuwerten. Laccase kann hier zwei gegensätzliche Ziele unterstützen: oxidative Aktivierung für Kopplung und Materialfunktionalisierung oder, unter geeigneten Bedingungen, Unterstützung des Ligninabbaus. Welche Richtung dominiert, hängt von Ligninquelle, pH-Wert, Sauerstoffeintrag, Mediatorchemie und Prozessführung ab [2].

Die technische Grenze liegt in der Heterogenität von Lignin. Kraft-Lignin, Organosolv-Lignin, ligninhaltige Faserstoffe und natürliche lignocellulosische Biomasse unterscheiden sich stark in Löslichkeit, funktionellen Gruppen und Zugänglichkeit. Laccase-Ergebnisse aus einer Modellverbindung lassen sich daher nicht direkt auf industrielle Ligninfraktionen übertragen [4].

## Produktions- und Nachhaltigkeitsperspektive

Aktuelle Übersichtsarbeiten beschreiben Laccase als Enzymklasse mit wachsender Bedeutung für nachhaltigere industrielle Prozesse. Themen sind effizientere Produktion, heterologe Expression, Prozessstabilität und der Ausbau biotechnologischer Anwendungen. Heterologe Expression ist

besonders wichtig, weil natürliche Produzenten nicht immer ausreichende Mengen, passende Isoenzyme oder reproduzierbare Eigenschaften für technische Prozesse liefern [4].

Diese Produktionsperspektive bedeutet für Anwender: „Laccase“ ist kein einzelnes, immer gleiches Material. Enzyme aus verschiedenen Quellen können unterschiedliche pH-Profile, Temperaturtoleranzen, Substratpräferenzen und Stabilitäten zeigen. Auch Begriffe wie „laccase enzym“, „laccase enzyme“ oder Markennamen aus dem Laborhandel, etwa im Umfeld von „laccase sigma“, beschreiben nicht automatisch dieselbe technische Eignung für industrielle Prozesse [4].

Nachhaltigkeit entsteht nicht allein durch den Enzymeinsatz. Ein Laccase-Prozess ist dann überzeugend, wenn er die gewünschte chemische Funktion mit weniger aggressiven Reagenzien, niedrigerer Prozessbelastung, besserer Abtrennbarkeit oder verbesserter Abwasserqualität erreicht. Wenn zusätzliche Mediatoren, lange Kontaktzeiten oder aufwendige Immobilisierung nötig sind, muss der Gesamtprozess bewertet werden [2].

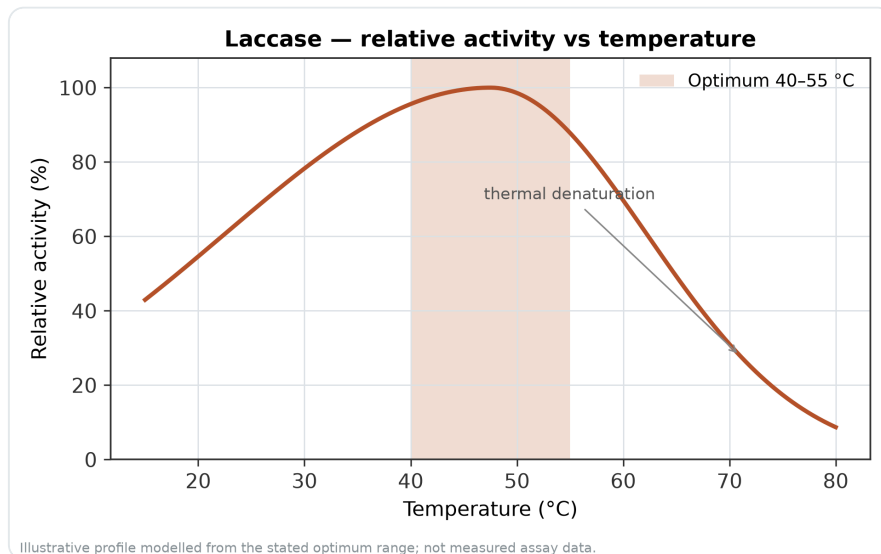


Figure 6. 온도에 따른 라카아제의 상대 활성으로, 40–55 °C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

## Praktische Einflussfaktoren im Prozess

### Sauerstoff, Durchmischung und Kontaktzeit

Da Sauerstoff der finale Elektronenakzeptor ist, kann Sauerstofftransfer zum limitierenden Faktor werden. In dünnflüssigen Systemen ist dies oft weniger problematisch als in hochviskosen, feststoffreichen oder schlecht durchmischten Matrices. Wenn Laccase zwar vorhanden ist, aber Sauerstoff nicht ausreichend nachgeliefert wird, kann die Reaktionsgeschwindigkeit sinken [2].

Kontaktzeit ist ebenfalls entscheidend. Laccase erzeugt reaktive Zwischenprodukte, deren Folgereaktionen nicht immer sofort abgeschlossen sind. Bei Polyphenolen kann sich Trübung oder Farbe zeitverzögert verändern; bei Farbstoffen kann eine partielle Entfärbung schneller sichtbar sein als die vollständige Transformation relevanter Nebenprodukte <sup>[3]</sup>.

### **pH-Wert, Temperatur und Matrixbestandteile**

Laccasen haben je nach Herkunft unterschiedliche pH- und Temperaturprofile. Viele Anwendungen bewegen sich in sauren bis schwach sauren Bereichen, doch bakterielle Varianten können andere Stabilitätsfenster aufweisen. Allgemeine Aussagen sind deshalb weniger belastbar als die konkrete Bewertung im vorgesehenen Prozess <sup>[5]</sup>.

Matrixbestandteile können Laccase fördern, neutral beeinflussen oder hemmen. Dazu gehören Salze, Metallionen, Lösungsmittelanteile, Tenside, hohe Phenolkonzentrationen, Proteine oder Feststoffe. In realen Abwässern und pflanzlichen Rohstoffen ist der Effekt oft nicht allein durch ein Modellsubstrat vorhersagbar <sup>[7]</sup>.

### **Substratzugänglichkeit**

Ein lösliches kleines Phenol ist für Laccase anders zugänglich als ein phenolischer Rest in einer Pflanzenzellwand, ein Farbstoffaggregat oder ein Ligninfragment auf einer Faseroberfläche. Daher kann dieselbe Laccase in einer Modelllösung aktiv erscheinen, in einem realen Material aber langsamer wirken. Immobilisierte Laccase kann zusätzlich durch Porengröße, Diffusion und Oberflächenchemie begrenzt oder stabilisiert werden <sup>[9]</sup>.

Dieser Punkt ist besonders wichtig bei Lignin-Modifikation und Textilbehandlung. Dort entscheidet nicht nur die chemische Oxidierbarkeit, sondern auch, ob das Enzym oder ein Mediator den relevanten Bereich physisch erreicht. Prozessmechanik, Vorbehandlung und Materialoberfläche beeinflussen die beobachtete Laccase-Funktion <sup>[1]</sup>.

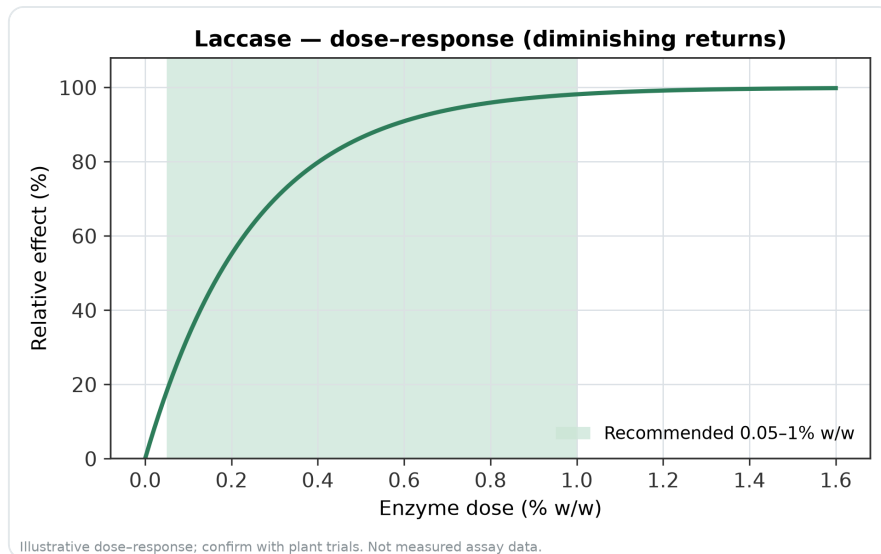


Figure 7. 권장 사용 범위(0.05–1% w/w)에서 라카아제의 예시적 용량-반응 관계.

## Was Laccase nicht automatisch kann

Laccase ist kein universeller Entferner für alle organischen Stoffe. Aliphatische Moleküle ohne geeignete oxidierbare Gruppen, hochstabile nicht-phenolische Aromaten oder schlecht zugängliche Polymere können nur begrenzt reagieren. Ein Mediator kann den Substratbereich erweitern, bringt aber eigene chemische und regulatorische Fragen mit sich [3].

Auch bei Farbstoffen bedeutet Entfärbung nicht zwangsläufig vollständige Entgiftung. Ein Chromophor kann zerstört werden, während aromatische Abbauprodukte verbleiben. Deshalb beschreiben Reviews zu immobilisierter Laccase neben der Farbreduktion auch die Notwendigkeit, Toxizität, Nebenprodukte und Prozessintegration zu betrachten [7].

Bei Lebensmitteln und Getränken ist Laccase ebenfalls nicht automatisch positiv. Die Oxidation phenolischer Verbindungen kann Trübung reduzieren, aber auch Aroma, Farbe oder Mundgefühl verändern. Die gewünschte Wirkung hängt vom Produktziel ab: Stabilisierung, Klärung, sensorische Modifikation oder oxidative Vernetzung sind unterschiedliche Aufgaben [6].

## Vergleich wichtiger Einsatzfelder

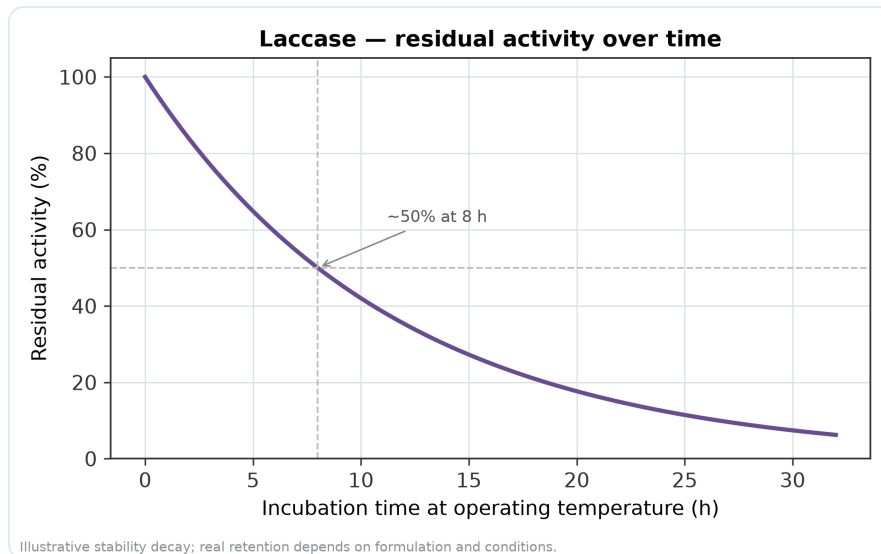
Einsatzfeld	Ziel der Laccase-Anwendung	Hauptsubstrate	Typischer Nutzen	Kritische Prozessfaktoren
Fruchtsaft	Polyphenolmanagement, Klärung, Stabilisierung	Polyphenole, oxidierbare	Veränderung von Trübung, Farbe	Sauerstoff, pH-Wert, Sensorik, Phenolprofil

Einsatzfeld	Ziel der Laccase-Anwendung	Hauptsubstrate	Typischer Nutzen	Kritische Prozessfaktoren
		Pflanzeninhaltsstoffe	oder Filtrierbarkeit	
Wein und Bier	Stabilitäts- und Polyphenolsteuerung	Phenole, Gerbstoffe, oxidierbare Aromaten	Kontrolle kolloidaler oder oxidativer Effekte	Produkttyp, Aroma, Farbe, Regulatorik
Backwaren	Oxidative Vernetzung	Phenolische Zellwandbestandteile, Pflanzenfasern	Struktur- und Texturmodulation	Rezeptur, Wassergehalt, Rohstoffschwankung
Textil/Farbstoff	Entfärbung, Farbstofftransformation	Aromatische Farbstoffe	Milderer oxidativer Behandlungsschritt	Farbstoffklasse, Salzlast, pH, Hemmstoffe
Abwasser	Detoxifizierung phenolischer Stoffe	Phenole, Farbstoffe, aromatische Kontaminanten	Transformation, Polymerisation, bessere Abtrennbarkeit	Nebenprodukte, Matrixkomplexität, Zielwerte
Zellstoff/Papier	Lignin-Modifikation, Faserfunktionalisierung	Lignin, phenolische Extraktstoffe	Unterstützung von Bleiche oder Materialfunktion	Substratzugänglichkeit, Mediatoren, Prozessintegration
Biorefinery	Ligninaufwertung oder -modifikation	Ligninfraktionen, lignocellulose Oberflächen	Funktionalisierung oder erleichterte Weiterverarbeitung	Lignintyp, Löslichkeit, Redoxchemie

Diese Tabelle verdeutlicht, warum ein kurzer „laccase wiki“-Überblick für industrielle Entscheidungen nicht ausreicht. Die Enzymklasse ist gut verstanden, aber die beobachtete Leistung entsteht aus dem Zusammenspiel von Enzymvariante, Zielsubstrat und Prozessmatrix <sup>[2]</sup>.

## Einordnung für den Einkauf über Enzymes.bio

Wer „laccase kaufen“ sucht, erwartet oft eine klare Verbindung zwischen Enzymname und Anwendung. Enzymes.bio stellt Laccase als B2B-Produkt für Prozessanwendungen bereit und verkauft in 1-kg-Einheiten direkt online; CoA und SDS werden bei der Bestellung mitgeliefert.



**Figure 8.** 라카아제의 예시적 열 안정성 감소—작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔류 활성이 감소합니다.

Wichtig ist die Rollenklärung: Enzymes.bio ist Lieferant, nicht Hersteller und nicht Labor. Dieses Dokument beschreibt die wissenschaftlich belegte Funktion der Enzymklasse und typische industrielle Einsatzlogik, ersetzt aber keine kundenseitige Prozessvalidierung für ein bestimmtes Produkt, Lebensmittel, Abwasser oder Material .

Für technische Anwender ist die zentrale Frage nicht, ob Laccase „aktiv“ ist, sondern ob die oxidative Laccase-Reaktion das gewünschte Prozessziel erreicht: weniger Trübung, veränderte Polyphenolreaktivität, Farbstofftransformation, phenolische Detoxifizierung oder Lignin-Modifikation. Diese Zielgröße sollte immer näher am realen Prozess liegen als eine reine Modellreaktion [3].

## Kernaussagen

Laccase ist ein Multikupfer-Oxidationsenzym mit besonderer Stärke bei phenolischen, aromatischen und ligninähnlichen Substraten. Die Laccase-Reaktion nutzt Sauerstoff, erzeugt oxidierte Zwischenprodukte und kann je nach Matrix Polymerisation, Entfärbung, Detoxifizierung, Vernetzung oder Lignin-Modifikation auslösen [2].

Die wichtigsten Anwendungsfelder sind Lebensmittel- und Getränkeprozesse, Textil- und Farbstoffbehandlung, phenolische Abwasserbehandlung, Zellstoff/Papier und Biorefinery. Die Evidenz ist stark für das biochemische Prinzip und die industrielle Relevanz, während konkrete Ergebnisse von Enzymvariante, Substrat, Sauerstofftransfer, pH-Wert, Temperatur, Matrixbestandteilen und gegebenenfalls Mediatoren abhängen [1].

Enzymes.bio liefert Laccase in 1-kg-Einheiten über den Online-Shop; CoA und SDS werden bei der Bestellung bereitgestellt. Die technische Bewertung sollte sich an der gewünschten Funktion im Prozess orientieren: Laccase ist kein universeller Oxidationsersatz, sondern ein spezifischer Biokatalysator für kontrollierte oxidative Umwandlungen.

## Laccase 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.

[Laccase kaufen →](#)

## Referenzen

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

1. Senthivelan, T., Kanagaraj, J., & Panda, R. C. (2016). [Recent trends in fungal laccase for various industrial applications: An eco-friendly approach - A review](#). *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 21, 19-38.
2. Dana, M., Khaniki, G., Mokhtarieh, A., & Davarpanah, S. J. (2017). [Biotechnological and Industrial Applications of Laccase: A Review](#). *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 4, 675-679.
3. Rostami, A., Abdelrasoul, A., Shokri, Z., & Shirvandi, Z. (2022). [Applications and mechanisms of free and immobilized laccase in detoxification of phenolic compounds — A review](#). *Korean Journal of Chemical Engineering*, 1-12.
4. Sodhi, A. S., Bhatia, S., & Batra, N. (2024). [Laccase: Sustainable production strategies, heterologous expression and potential biotechnological applications.](#) *International Journal of Biological Macromolecules*, 135745 .
5. Asemoloye, M., Gbadebo, A. M., Bello, T. S., Olowe, O., Akanmu, A. O., Temporiti, M. E. E., Odebode, A., ... et al. (2025). [Insect-Microbe-Based Laccase: Untapped Natural Resource for Industrial and Biotechnological Applications](#). *Advanced Sustainable Systems*, 9.
6. Zhai, T., Wang, H., Dong, X., Wang, S., Xin, X., Du, J., Guan, Q., ... et al. (2024). [Laccase: A Green Biocatalyst Offers Immense Potential for Food Industrial and Biotechnological Applications.](#) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
7. Naseem, S., Rawal, R., Pandey, D., & Suman, S. (2023). [Immobilized laccase: an effective biocatalyst for industrial dye degradation from wastewater](#). *Environmental science and pollution research international*, 30, 84898-84917.
8. Mehandia, S., Sharma, S. C., & Arya, S. (2020). [Immobilization of laccase on chitosan-clay composite beads to improve its catalytic efficiency to degrade industrial dyes](#). *Materials today communications*, 25, 101513.
9. Adamian, Y., Lonappan, L., Alokpa, K., Agathos, S., & Cabana, H. (2021). [Recent Developments in the Immobilization of Laccase on Carbonaceous Supports for Environmental Applications - A Critical Review](#). *Frontiers in Bioengineering and*

Biotechnology, 9.

10. Ren, S., Wang, F., Gao, H., Han, X., Zhang, T., Yuan, Y., & Zhou, Z. (2023). Recent Progress and Future Prospects of Laccase Immobilization on MOF Supports for Industrial Applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196, 1669-1684.

## 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.