

2024

Abitur

Original-Prüfung
mit Lösungen

**MEHR
ERFAHREN**

Gymnasium · Gesamtschule

Chemie



STARK

Inhalt

Vorwort

Stichwortverzeichnis

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

1	Ablauf der Prüfung	I
2	Inhalte der Prüfungsaufgaben	II
3	Leistungsanforderungen	IV
3.1	Inhaltsbezogene Anforderungen	IV
3.2	Methodenbezogene Anforderungen	IV
3.3	Aufgabenstruktur und Aufgabentypen	V
3.4	Bewertung der Aufgaben	VI
4	Anforderungsbereiche und Operatoren	VII
5	Methodische Hinweise und allgemeine Tipps zur schriftlichen Prüfung	X
5.1	Lösungsplan zur Bearbeitung der Aufgaben	X
5.2	Tipps zur Analyse von Tabellen, Diagrammen und Abbildungen	XII
5.3	Tipps zur Bearbeitung der experimentellen Aufgabe	XIII
5.4	Häufig anzutreffende Fehlertypen im Fach Chemie	XIV

Original-Abituraufgaben

Leistungskurs Abiturprüfung 2016

Vorschlag 1:	Alles Gold	LK 2016-1
Vorschlag 2:	Gewinnung und Reaktionen des Isobutens	LK 2016-8
Vorschlag 3:	Mit Farben messen	LK 2016-14
Vorschlag 4:	Eigenschaften und Verwendung von Polyelektrolyten	LK 2016-24

Leistungskurs Abiturprüfung 2017

Vorschlag 1:	Eine Batterie zwischen den Bergen	LK 2017-1
Vorschlag 2:	Synthese, Farbigkeit und Verwendung des Lebensmittelfarbstoffs Azorubin	LK 2017-9
Vorschlag 3:	Herstellung und Eigenschaften von Kunststoffen für den 3D-Druck	LK 2017-19

Leistungskurs Abiturprüfung 2018

Vorschlag 1: Vanillin	LK 2018-1
Vorschlag 2: Breaking Bad: Selbstbaubatterie zum Starten eines Motors	LK 2018-12
Vorschlag 3: Hydroxybuttersäure: Ein Mittel gegen Narkolepsie	LK 2018-19

Leistungskurs Abiturprüfung 2019

Vorschlag 1: Entroster	LK 2019-1
Vorschlag 2: Selbsttönende Brillengläser	LK 2019-7
Vorschlag 3: Von der Chlorgewinnung zum Herbizid	LK 2019-13

Leistungskurs Abiturprüfung 2020

Vorschlag 1: Polyvinylbutyral macht Scheiben sicher	LK 2020-1
Vorschlag 2: Recycling von Natriumsulfat durch Elektrodialyse	LK 2020-8
Vorschlag 3: Rotrost und Weißrost: Korrosionsvorgänge an Eisen und Zink	LK 2020-15

Leistungskurs Abiturprüfung 2021

Vorschlag 1: Galvanische Elemente nach GROVE und BUNSEN	LK 2021-1
Vorschlag 2: Blausäure – Eigenschaften und ihr Einsatz in der organischen Chemie	LK 2021-9
Vorschlag 3: Farbauffrischung mit Reactive Black 5	LK 2021-16

Leistungskurs Abiturprüfung 2022

Vorschlag 1: „Gezieltes Heilen“ durch Nano-Polyester	LK 2022-1
Vorschlag 2: Korrosionsprobleme im Bootssport	LK 2022-10
Vorschlag 3: Gelbe Farbstoffe in Safran und Kurkuma	LK 2022-19

Leistungskurs Abiturprüfung 2023

Aufgaben www.stark-verlag.de/mystark

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2023 freigegeben sind, können Sie sie als PDF auf der Plattform MyStark herunterladen (Zugangscode siehe Umschlaginnenseite).



Die Original-Prüfungsaufgaben der **Grundkurse** 2016–2023 samt Lösungen stehen wie der LK 2023 zum Download auf MyStark zur Verfügung.

Lösungen der Aufgaben

Michael Linkwitz: GK und LK 2022 und 2023

Gregor von Borstel: GK und LK 2016–2021

Vorwort

Liebe Schülerinnen, liebe Schüler,

das vorliegende Buch bietet Ihnen die Möglichkeit, sich optimal auf die **zentral gestellte, schriftliche Abiturprüfung 2024 in Nordrhein-Westfalen** im Fach Chemie vorzubereiten.

Im Abschnitt „**Hinweise und Tipps zum Zentralabitur**“ bieten wir Ihnen dazu zunächst einen Überblick über:

- den **Ablauf** und die **Anforderungen** des **Zentralabiturs 2024 in NRW**. Dies hilft Ihnen, die formalen Rahmenbedingungen für das Zentralabitur kennenzulernen. Erläuterungen zu den Prüfungsanforderungen, zum Umgang mit den sogenannten Operatoren und zu den festgesetzten thematischen Schwerpunkten lassen Sie die Prüfungssituation besser einschätzen.
- die erfolgreiche Bearbeitung der Arbeitsaufträge und Materialien in den Prüfungsaufgaben. Die „**Tipps zum Umgang mit Prüfungsaufgaben**“ zeigen Ihnen konkret, wie Sie erfolgreich an die Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung herangehen können.

Dieses Buch enthält die **Original-Prüfungsaufgaben** 2016 bis 2023. Sobald die **Abschlussprüfungen 2023** des LK und des GK zur Veröffentlichung freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MyStark heruntergeladen werden. Zu allen Aufgaben bieten wir Ihnen **ausführliche, kommentierte Lösungsvorschläge mit Tipps und Hinweisen zur Lösungsstrategie**.



Da die Inhalte der Grundkursaufgaben 2016 bis 2022 denen der Leistungskurse stark ähneln, stehen diese **Original-Prüfungsaufgaben** sowie die ausführlichen Lösungen ebenfalls als Download zur Verfügung.

Lernen Sie gerne am **PC** oder **Tablet**? Nutzen Sie die Plattform MyStark, um mithilfe von **interaktiven Aufgaben** Ihr chemisches Fachwissen effektiv zu trainieren. Außerdem stehen Ihnen hier hilfreiche **Lernvideos** zu zentralen Themen zur Verfügung (Zugangscode siehe Umschlaginnenseite).



Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2024 vom Schulministerium NRW bekannt gegeben werden, sind aktuelle Informationen dazu online auf der Plattform MyStark abrufbar.

Das Autorenteam und der Verlag wünschen Ihnen für die Prüfungsvorbereitung und Ihre schriftliche Abiturprüfung viel Erfolg!

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

1 Ablauf der Prüfung

In Nordrhein-Westfalen findet die Abiturprüfung in Form des Zentralabiturs statt, d. h., alle Schülerinnen und Schüler mit Leistungskurs oder Grundkurs Chemie schreiben ihre Abiturklausur jeweils an demselben Tag. Landesweit erhalten alle Schulen dieselben Prüfungsaufgaben.

Die Schulen erhalten für den Grundkurs und für den Leistungskurs jeweils 3 Aufgaben. Eine davon wird als verbindlich festgelegt, zwischen den anderen beiden wählt die Fachlehrkraft eine Aufgabe aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten dann die beiden ihnen vorgelegten Aufgaben. Eine Auswahl durch die Schülerinnen und Schüler ist nicht vorgesehen.

Die Bearbeitungszeit beträgt für die Leistungskursklausur 270 Minuten und für die Klausur im Grundkurs 225 Minuten.

Als Hilfsmittel, die Sie während der Abiturprüfung verwenden können, sind

- ein wissenschaftlicher Taschenrechner (mit oder ohne Grafikfähigkeit oder ein CAS-Taschenrechner)
 - ein Periodensystem,
 - ein deutsches Wörterbuch
- zugelassen.

Aufgabenarten

Für die schriftliche Abiturprüfung sind folgende Aufgabenarten vorgesehen:

- Durchführung und Bearbeitung eines **Schülerexperimentes**
 - Bearbeitung eines **Demonstrationsexperimentes**
 - Bearbeitung einer Aufgabe, die auf sonstigen **fachspezifischen Vorgaben** basiert.
- Die Inhalte dieser Vorgaben können z. B. vermittelt werden in Form von Beschreibungen nicht vorgeführter Experimente, Texten, Bildern, Tabellen, Graphen, vorgegebenen Messreihen.

Mischformen der genannten Aufgabenarten sind möglich. Eine ausschließlich aufsatzartig zu bearbeitende Aufgabenstellung, d. h., eine Aufgabe ohne Material- oder Experimentbezug, ist nicht zulässig.

Die Arbeitszeit für die Bearbeitung der Prüfungsaufgabe mit einem Demonstrationsexperiment beginnt nach Durchführung des Experiments. Ist ein Schülerexperiment vorgesehen, wird die Arbeitszeit um die durch die Schüler*innen benötigte Zeit zur Durchführung des Experimentes verlängert.

2 Inhalte der Prüfungsaufgaben

Grundlage für die zentral gestellten schriftlichen Aufgaben der Abiturprüfung sind die verbindlichen Vorgaben der Kernlehrpläne für die gymnasiale Oberstufe aus dem Jahr 2014. Zusätzlich werden jedes Jahr die inhaltlichen Schwerpunkte des Kernlehrplans für den Unterricht in der Qualifikationsphase konkretisiert. Durch diese **Fokussierung** soll gesichert werden, dass alle Schülerinnen und Schüler, die im Jahr 2024 das Abitur ablegen, gleichermaßen über die notwendigen inhaltlichen Voraussetzungen für eine angemessene Anwendung der Kompetenzen bei der Bearbeitung der zentral gestellten Aufgaben verfügen.

Folgende fachspezifischen **Schwerpunktsetzungen** gelten **für das Jahr 2024**

(*kursiv* gesetzte Schwerpunkte gelten nur für den Leistungskurs):

Inhaltliche Schwerpunkte im Abitur 2024	Beispiele
Säuren, Basen und analytische Verfahren	
• Eigenschaften und Struktur von Säuren und Basen	LK 18 (V1) LK 20 (V2) LK 22 (V1)
• Konzentrationsbestimmung von Säuren und Basen (GK: durch Titration)	LK 17 (V1) LK 18 (V2) LK 18 (V3) LK 19 (V1) LK 20 (V2) LK 21 (V3)
• <i>Titrationmethoden im Vergleich</i>	LK 17 (V1) LK 18 (V1)
Elektrochemie	
• Elektrochemische Gewinnung von Stoffen	LK 19 (V3) LK 20 (V2)
• Mobile Energiequellen	LK 18 (V2) LK 21 (V1)
• <i>Quantitative Aspekte elektrochemischer Prozesse</i>	LK 16 (V1) LK 17 (V1) LK 18 (V2) LK 20 (V2) LK 21 (V1)
• <i>Korrosion und Korrosionsschutz</i>	LK 19 (V1) LK 19 (V3) LK 20 (V3) LK 22 (V2)

Organische Produkte – Werk- und Farbstoffe

• Organische Verbindungen und Reaktionswege	LK 19 (V2) LK 20 (V1) LK 22 (V1)
• <i>Reaktionsabläufe</i>	LK 17 (V2) LK 18 (V1) LK 20 (V1) LK 21 (V2) LK 21 (V3) LK 22 (V3)
• Organische Werkstoffe	LK 16 (V4) LK 17 (V2) LK 18 (V3) LK 20 (V1)
• Farbstoffe und Farbigkeit	LK 18 (V1) LK 19 (V2) LK 20 (V3) LK 21 (V3) LK 22 (V3)
• <i>Konzentrationsbestimmung durch Lichtabsorption</i>	LK 19 (V2) LK 20 (V3)

Zu den genannten Vorgaben werden **für das Jahr 2024** folgende **Fokussierungen** im Sinne einer Konkretisierung gemacht:

Grundkurs	Leistungskurs
Säuren, Basen und analytische Verfahren	
• Endpunkttitration • Leitfähigkeitstiteration	–
Elektrochemie	
• Säurekorrosion und Sauerstoffkorrosion	• Säurekorrosion und Sauerstoffkorrosion • Lokalelemente
Organische Produkte – Werk- und Farbstoffe	
• Ester und Veresterungen, Polyester • Anwendung des chemischen Gleichgewichtes • Synthese von Azofarbstoffen • Farbigkeit von Stoffen verschiedener Farbstoffklassen	• Ester und Veresterungen, Polyester • Anwendung des chemischen Gleichgewichtes • Synthese von Azofarbstoffen • Farbigkeit von Stoffen verschiedener Farbstoffklassen

Zur Auffrischung des relevanten Prüfungsstoffs kurz vor der Prüfung ist das „Abitur-Skript Chemie“ (Best.-Nr. 5573S1) ideal geeignet.

überprüfen	Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken.	I–III	–
übertragen	Einen bekannten Sachverhalt oder eine bekannte Methode auf etwas Neues beziehen.	II–III	LK 22/V1/3
untersuchen	Unter einer gegebenen Fragestellung wichtige Bestandteile oder Eigenschaften herausarbeiten, beinhaltet ggf. zusätzliche praktische Anteile.	II–III	LK 22/V1/4
verallgemeinern	Aus einem erkannten Sachverhalt eine erweiterte Aussage formulieren.	II	–
vergleichen	Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln.	I–III	LK 17/V1/4
zeichnen	Eine anschauliche und hinreichend exakte grafische Darstellung beobachtbarer oder gegebener Strukturen anfertigen.	I–II	LK 16/V1/1 LK 17/V3/4 LK 20/V2/1

5 Methodische Hinweise und allgemeine Tipps zur schriftlichen Prüfung

Um eine Prüfungsaufgabe effizient und erfolgreich zu bearbeiten, ist ein strukturiertes, sorgfältiges Vorgehen unumgänglich. Im folgenden Lösungsplan sind die hierfür wichtigen Arbeitsschritte erläutert. Darüber hinaus finden Sie wertvolle Tipps zur Materialienanalyse und zu den speziellen Erfordernissen bei der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe. Die abschließende Auflistung häufig anzutreffender Fehlertypen hilft Ihnen, Fehler zu vermeiden.

5.1 Lösungsplan zur Bearbeitung der Aufgaben

Folgende Einzelschritte sind bei der Bearbeitung der Aufgaben zu beachten:

- **Lesen der Gesamtaufgabe:**

Es ist sinnvoll, dass Sie sich zunächst einen Überblick über die in den zwei Prüfungsaufgaben angesprochenen unterschiedlichen Themengebiete der Chemie verschaffen: Für die weitere Bearbeitung setzen Sie sich einen Zeitplan, damit Ihnen nicht am Ende die Zeit für die letzte Aufgabe oder das Korrekturlesen fehlt. Fangen Sie dann mit der Bearbeitung der für Sie am besten geeigneten Teilaufgabe an. Dabei kann Ihnen ein systematisches Vorgehen entsprechend der nachfolgend dargestellten Schritte das Erarbeiten der zu den Anforderungen jeder Teilaufgabe passenden Lösung erleichtern.

- **Analysieren der Materialvorgaben:**

Zur Bearbeitung der Aufgaben werden Sie Fakten und Daten aus den Informationstexten und den Zusatzinformationen benötigen. Deshalb sollten Sie diese, bevor Sie mit der Bearbeitung der Aufgaben beginnen, gründlich lesen und sich wichtige Informationen unterstreichen.

- **Analysieren der Teilaufgaben:**

Die Teilaufgaben beziehen sich auf die nachgestellten Informationen. Deshalb ist es wichtig zu analysieren, welche Materialien für die Bearbeitung der Aufgaben benötigt werden. Nachdem Sie sich ein Bild von der Thematik der Aufgabe gemacht haben, sollten Sie sich gezielt mit den einzelnen Arbeitsaufträgen auseinandersetzen:

- Unterstreichen Sie die Arbeitsanweisungen/Operatoren.
- Verdeutlichen Sie in der Fragestellung und in den Einführungstexten Informationen, die für den zu bearbeitenden Sachverhalt wichtig sein könnten, durch Randbemerkungen und/oder optische Hervorhebungen.
- Markieren Sie wichtige Begriffe, die den zu bearbeitenden Sachverhalt betreffen.

- **Darstellen der Ergebnisse:**

- Verfahren Sie nach dem Prinzip: vom Allgemeinen zum Detail.
- Behalten Sie auch bei der Auseinandersetzung mit dem Detail immer den Gesamtzusammenhang im Auge.
- Stellen Sie die Ergebnisse logisch und nach erkennbaren Ordnungsprinzipien zusammen.
- Konzentrieren Sie Ihre Aussagen auf das Thema und vermeiden Sie weitschweifige Ausarbeitungen. Dadurch geht der rote Faden verloren!
- Beschreiben Sie bei der Auswertung von Grafiken oder Tabellen zunächst kurz die wiedergegebenen Inhalte unter Nennung besonders markanter Punkte oder Zahlenwerte und erklären Sie diese erst danach.
- Stellen Sie komplexe Sachverhalte, wenn angebracht, grafisch dar (Skizzen, Schaubilder, Fließdiagramme etc.).
- Berücksichtigen Sie bei der Ausformulierung Ihrer Antworten immer die vorgegebenen Operatoren, damit Sie die Lösung im Sinne der Aufgabenstellung erstellen. Sie sollten z. B. beim Operator „nennen/angeben“ keine weiteren Erklärungen geben, dies wäre auch nicht im Sinne einer sinnvollen Zeiteinteilung bei der Prüfung.
- Achten Sie auf sprachlich korrekte Formulierungen und eine klare, verständliche Ausdrucksweise. Alle Antworten sollten Sie, sofern es nicht ausdrücklich anders verlangt ist (z. B. die Lösung der Aufgabe in Form einer Tabelle oder Skizze), durchgehend in vollständigen Sätzen formulieren. Kurze Sätze sind besser als ineinander verschachtelte.
- Verwenden Sie sorgfältig die Fachsprache. Fachbegriffe müssen nur bei ausdrücklicher Aufforderung umschrieben werden (oder wenn Sie bei deren Verwendung unsicher sind).
- Schreiben Sie verwendete Abkürzungen, sofern es sich nicht um Standardabkürzungen wie PE oder PSE handelt, zumindest einmal aus (z. B. RG = Reagenzglas). Ungebräuchliche Abkürzungen gelten als Rechtschreibfehler.
- Achten Sie auf eine angemessene äußere Form (lesbare Schrift, eine übersichtliche Gestaltung durch das Einhalten eines Randes rechts und links, Absätze, Aufzählungszeichen, Unterstreichungen usw.). Sind Zeichnungen, Skizzen oder Ta-

Chemie (NRW) – Abiturprüfung 2021
Leistungskurs: Vorschlag 3

Thema: Farbauffrischung mit Reactive Black 5

Aufgabenstellung

Punkte

- 1 Erklären Sie den Zusammenhang zwischen Struktur und Farbigkeit am Beispiel von Reactive Black 5. Geben Sie begründet einen Bereich für das zu erwartende Absorptionsmaximum und eine weitere relevante mesomere Grenzstruktur des Farbstoff-Moleküls anhand der geeigneten Kurzschreibweise an (siehe Zusatzinformationen). 14
- 2 Entwickeln Sie Reaktionsschemata für die Reaktionen vom Acetanilid zum p-Acetanilidsulfinat und ordnen Sie den ablaufenden Reaktionen Reaktionstypen zu. Begründen Sie den Ort der Zweitsubstitution bei der Chlorsulfonierung von Acetanilid. 18
- 3 Erläutern Sie unter Verwendung geeigneter vereinfachter Strukturformeln den Ablauf der Synthese von Reactive Black 5 ausgehend von Parabase-ester und H-Säure. Erklären Sie, warum die Synthese unter Kühlung stattfinden muss. 12
- 4 Geben Sie eine Reaktionsgleichung und den Reaktionstyp der Reaktion von Reactive Black 5 in alkalischer Lösung unter Verwendung geeigneter vereinfachter Strukturformeln an. Erläutern Sie anhand der Molekülstruktur und unter Angabe eines Reaktionsschemas mithilfe der Kurzschreibweise und des Reaktionstyps die Haftung des Farbstoffs Reactive Black 5 auf Baumwollfasern. Erläutern Sie die Haftung des Farbstoffs auf Polyesterfasern. Beurteilen Sie die Eignung des Farbauffrischers für Textilien aus den jeweiligen Gewebefasern hinsichtlich der Kriterien Haftung und Auswaschbarkeit. 22

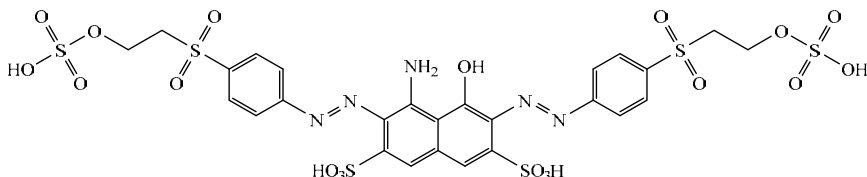
66

Fachspezifische Vorgaben

Nach zahlreichen Wäschen verblassen die Farben vieler Textilien. Mit Farbauffrischen kann dem entgegengewirkt werden, sodass das „Lieblingsstück“ länger erhalten bleibt. Ein für schwarze Textilien geeigneter Farbstoff ist Reactive Black 5.

Reactive Black 5:

Bei Reactive Black 5 handelt es sich um einen Reaktivfarbstoff, d. h., das Farbstoff-Molekül besitzt neben der farbgebenden Komponente eine reaktive Komponente, die mit den funktionellen Gruppen der Faseroberfläche reagieren kann. Mit Reactive Black 5 lässt sich ein blauer bis schwarzer Farbton erzielen.

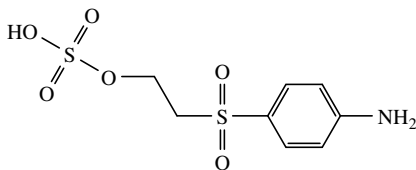


Synthese von Reactive Black 5:

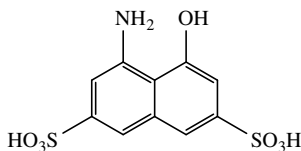
Der benötigte Parabaseester wird aus Acetanilid hergestellt.

- An Acetanilid wird durch eine Reaktion mit Chlorschwefelsäure (HSO_3Cl) eine Chlorsulfonylgruppe ($-\text{SO}_2\text{Cl}$) gebunden (Chlorsulfonierung).
- Nach Reduktion mit Natriumsulfit (Na_2SO_3), das zum Natriumsulfat oxidiert wird, entsteht *p*-Acetanilidsulfonat.
- Aus diesem Zwischenprodukt entsteht in weiteren Reaktionsschritten schließlich Parabaseester.

Zur Synthese von Reactive Black 5 wird eine Lösung von Parabaseester mit Natriumnitrit (NaNO_2) und Salzsäure (HCl (aq)) versetzt. Die dabei entstehenden Diazonium-Ionen lässt man anschließend mit H-Säure zum Farbstoff reagieren.



Parabaseester

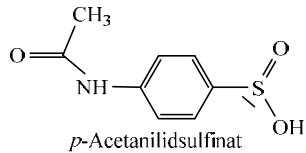
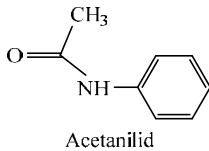


H-Säure

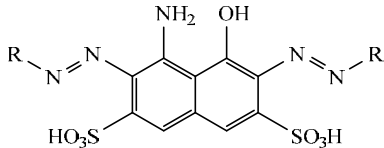
Färben mit Reactive Black 5:

Die zu färbenden Textilien werden zusammen mit Reactive Black 5 und Waschmittel in der Waschmaschine gewaschen. In dem vorherrschenden alkalischen Milieu spaltet das Reactive Black 5-Molekül formal Schwefelsäure ab und es entsteht ein Farbstoffmolekül der vereinfachten Formel $\text{R}-\text{SO}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$. Die Doppelbindung kann nun mit den OH-Gruppen der Baumwolloberfläche reagieren.

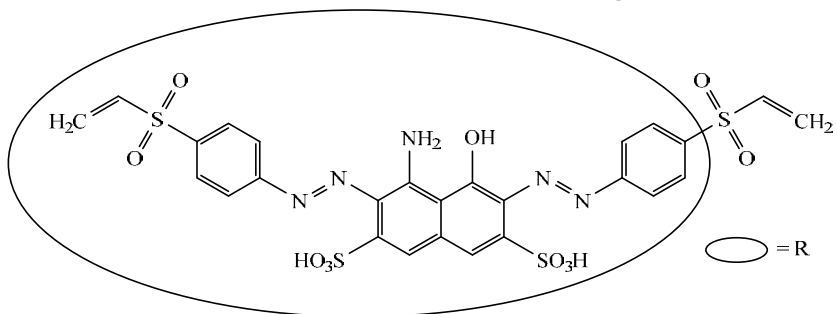
Zusatzinformationen



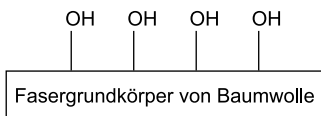
Kurzschreibweise des Farbstoffmoleküls zur Betrachtung der Farbigkeit:



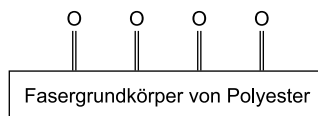
Kurzschreibweise des Farbstoffmoleküls zur Betrachtung der Reaktivität:



Vereinfachte Strukturmerkmale von Baumwolle



Vereinfachte Strukturmerkmale von Polyester



Wellenlänge λ in nm	Spektralfarbe	Komplementärfarbe
< 400	ultraviolett	farblos
400–435	violett	gelbgrün
435–480	blau	gelb
480–490	grünblau	orange
490–500	blaugrün	rot
500–560	grün	purpur
560–580	gelbgrün	violett
580–595	gelb	blau
595–605	orange	grünblau
605–770	rot	blaugrün

Tab. 1: Zusammenhang von absorbiertem Strahlung, zugehöriger Spektralfarbe und beobachteter Komplementärfarbe

Materialgrundlage:

simplicol Back to Black – Textilfarbe, Fa. Brauns-Heitmann, Warburg, Anwendungshinweise
<https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/reaktivfarbstoffe/7846> (Zugriff: 28.01.2021)
 EP0043796B1 – Verfahren zur Herstellung von Disazofarbstoffen, Europäisches Patentamt,
 08.05.1985

Lösung

- Die Moleküle zahlreicher organischer Verbindungen wie Reactive Black 5 sind in der Lage, aus dem sichtbaren Bereich des Lichtspektrums Strahlung bestimmter Wellenlängenbereiche zu absorbieren. Die nicht absorbierten, reflektierten Strahlungsanteile werden von Menschen als Komplementärfarbe wahrgenommen. Die für den Menschen blauschwarze Farbe von Reactive Black 5 lässt sich folglich damit erklären, dass das Reactive-Black-5-Molekül im **gesamten Bereich** des sichtbaren Spektrums Licht absorbiert. Dabei gibt es ein ausgeprägtes **Absorptionsmaximum** im Wellenlängenbereich zwischen **580 und 595 nm**, sodass der reflektierten Strahlung relativ gesehen am meisten die gelben Farbanteile fehlen. Dadurch wird die Komplementärfarbe Blau sichtbar. Die Absorption von Licht beruht auf der Anregung von **delokalisierten Elektronen** in dem organischen Molekül vom höchsten besetzten Molekülorbital (HOMO) (bzw. HBE, höchste besetzte Energiestufe) in das niedrigste unbesetzte Molekülorbital (LUMO) (bzw. NUE, niedrigste unbesetzte Energiestufe).

Für die Energie und die Wellenlänge von Photonen gilt:

$$E = h \cdot \nu \quad \text{mit Energie } E, \text{ Frequenz } \nu \text{ und der Konstante } h$$

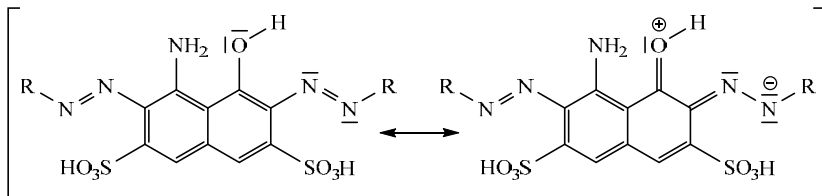
$$\text{und } \nu = \frac{c}{\lambda} \quad \text{mit Lichtgeschwindigkeit } c \text{ und Wellenlänge } \lambda$$

Bei organischen Molekülen mit **ausgedehnten konjugierten π -Elektronensystemen** sind ebendiese π -Elektronen über den gesamten Bereich des konjugierten Systems delokalisiert. Eine Folge daraus ist die Tatsache, dass der energetische Abstand zwischen HOMO und LUMO kleiner wird. Dadurch genügt bereits Licht vergleichsweise niedriger Energie zur Anregung der Elektronen aus dem HOMO-Niveau in das LUMO-Niveau. Ein Photon mit der passenden Energie (also mit einer Wellenlänge λ im sichtbaren Bereich) wird somit absorbiert und seine Energie anderweitig wieder freigesetzt.

Da Reactive Black 5 im ganzen sichtbaren Spektrum absorbiert, muss es streng genommen zahlreiche passende und mögliche Übergänge von besetzten Energiestufen zu unbesetzten geben. Diese Vorgänge sind komplizierter und übersteigen das Abiturniveau.

Im Zentrum des Moleküls von Reactive Black 5 liegt bereits ein ausgedehntes π -Elektronensystem mit zwei Phenylringen als Chromophor vor, das sich zudem über zwei Azogruppen jeweils über weitere Phenylringe erstreckt. Die Delokalisierung wird durch die Aminogruppe und die Hydroxygruppe als +M-Substituenten (**Auxochrome** bzw. Donatorgruppen) und die Azogruppen als –M-Substituenten (**Antiauxochrome** bzw. Akzeptorgruppen) verstärkt.

Folgende exemplarisch ausgewählte mesomere Grenzstrukturen zeigen, dass im Farbstoffmolekül ein **ausgedehntes System delocalisierter Elektronen** vorliegt:

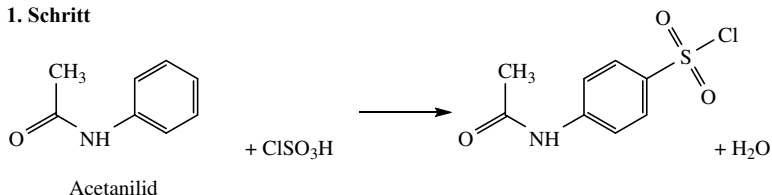


Dies ist nur eine von mehreren denkbaren Grenzstrukturen unter Einbeziehung der Hydroxygruppe. Es ist sinnvoll, bei der Zeichnung der Grenzstrukturen auch die relevanten freien Elektronenpaare zu zeichnen. Die Sulfonatgruppen dienen im Übrigen nicht nur der Wasserlöslichkeit, sondern sie tragen möglicherweise auch ein wenig zur weiteren Delokalisierung des π -Elektronensystems bei.

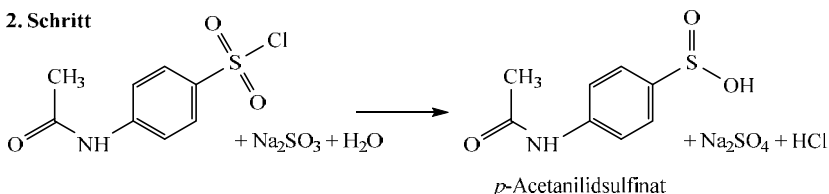
Zusammengenommen ermöglicht dies eine Lichtabsorption in den oben genannten Wellenlängenbereichen bzw. von Licht der passenden Energie.

- 2 Die Reaktionsschemata für die Reaktionen von Acetanilid zu *p*-Acetanilidsulfonat können in zwei Schritten notiert werden.

1. Schritt



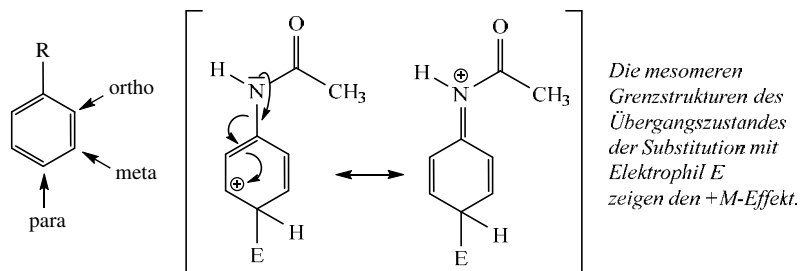
2. Schritt



Die 1. Reaktionsgleichung ist eine vereinfachte Darstellung. In Wirklichkeit reagieren zwei Chlorschwefelsäure-Moleküle und Acetanilid unter Bildung von HCl und H₂SO₄.

Die Chlorsulfonierung ist dem Reaktionstyp **elektrophile, aromatische Substitution** (genauer gesagt Zweitsubstitution) zuzuordnen. Die Herstellung von *p*-Acetanilidsulfonat erfolgt als Redoxreaktion.

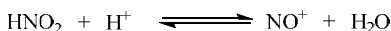
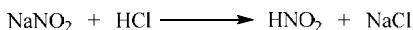
Bei der Zweitsubstitution könnte prinzipiell eine Substitution des Wasserstoffatoms in *ortho*-, *meta* oder *para*-Stellung zum Erstsubstituenten erfolgen. Die funktionelle Gruppe des Acetanilids ist allerdings bedingt durch ihren +M-Effekt *ortho*- und *para*-dirigierend.



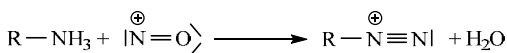
Da die beiden großen, „sperrigen“ Substituenten in *ortho*-Position sehr nah zueinander stehen würden, entsteht hauptsächlich das *para*-Produkt („räumliche bzw. sterische Effekte“).

- 3 Die Synthese von Reactive Black 5 ausgehend von Parabaseester und H-Säure erfolgt wie alle Darstellungen von Azofarbstoffen durch die Reaktion der Diazokomponente mit der Kupplungskomponente in Form einer elektrophilen, aromatischen Substitution.

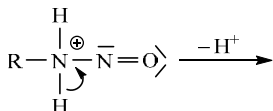
Zur Bildung der Diazokomponente wird zunächst eine Lösung von Parabaseester mit **Natriumnitrit** (NaNO_2) und **Salzsäure** ($\text{HCl}_{(\text{aq})}$) versetzt. NaNO_2 dissoziiert zu Na^+ und NO_2^- . Das Nitrit-Ion wird im sauren Milieu zu H_2NO_2^+ protoniert, das durch Wasserabspaltung wiederum mit dem **Nitrosyl-Ion** NO^+ im Gleichgewicht steht:



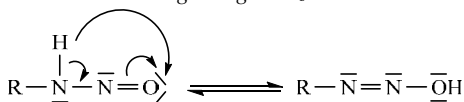
Das Nitrosyl-Kation ist ein **Elektrophil**. Es addiert also elektrophil an die NH_2 -Gruppe des Parabaseesters und Wasser spaltet sich ab. Dabei entsteht das Diazonium-Ion:



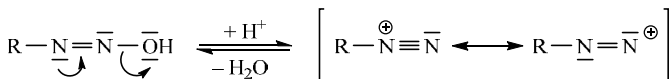
Der Prozess lässt sich noch genauer beschreiben. Nach der Abspaltung eines Protons ...



... und der Umlagerung des zweiten Protons ...



... kann durch Hinzufügen von Säure das Abspalten eines Wasser-Moleküls erfolgen und es bildet sich das Diazonium-Ion:



Die eigentliche Bildung des Farbstoffes erfolgt nun in **zweifacher Azokupplung** durch den elektrophilen Angriff des Diazonium-Ions an das Molekül der H-Säure. Dabei werden mehrere Schritte durchlaufen: Zuerst erfolgt die Bildung eines **π -Komplexes**, dann eines mesomeriestabilisierten **σ -Komplexes** und schließlich wird das aromatische System durch Abspaltung eines Protons wiederhergestellt („**Rearomatisierung**“).

Dies soll für eine Azokupplung genauer gezeigt werden, die andere verläuft analog.



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH
ist urheberrechtlich international geschützt.
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung
des Rechteinhabers in irgendeiner Form
verwertet werden.

STARK