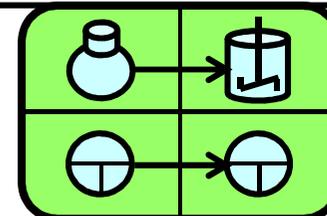


FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Die folgende Sammlung von PowerPoint®-Charts soll die einschlägigen Fachpublikationen zu den jeweils behandelten Sachthemen weiter verdeutlichen und ergänzen. Sie dient keinerlei kommerziellen Zwecken, sondern als Lernmaterial für Studierende.

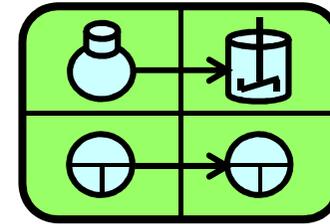
In einigen Literaturverzeichnissen sind ausgewählte Quellen zum vertieften Studium des jeweiligen Lernstoffs angegeben.

Die in den Fallstudien-Aufgaben aufgeführten chemisch-technischen Zielkomponenten, Formeln, Termine, „Umfeld-Informationen“, sowie die Daten in den „Profilboxen“ sind weitgehend praxisnah, aber dennoch rein fiktiv.

Sie dienen lediglich der Anschaulichkeit und als Übungsstoff.

Deckungsgleichheit mit realen Zielkomponenten Dritter wäre rein zufällig.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie

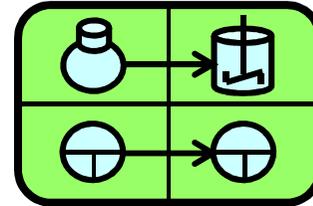


Zusatzmodul 03 für Chemiker (m/w/d)

Informationsmaterial zum Lerninhalt:
Elektrotauchlack, Elektrotauchlackierung.

**Elektrotauchlackierung für den
Korrosionsschutz von Autokarosserien.**

FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Lerninhalt

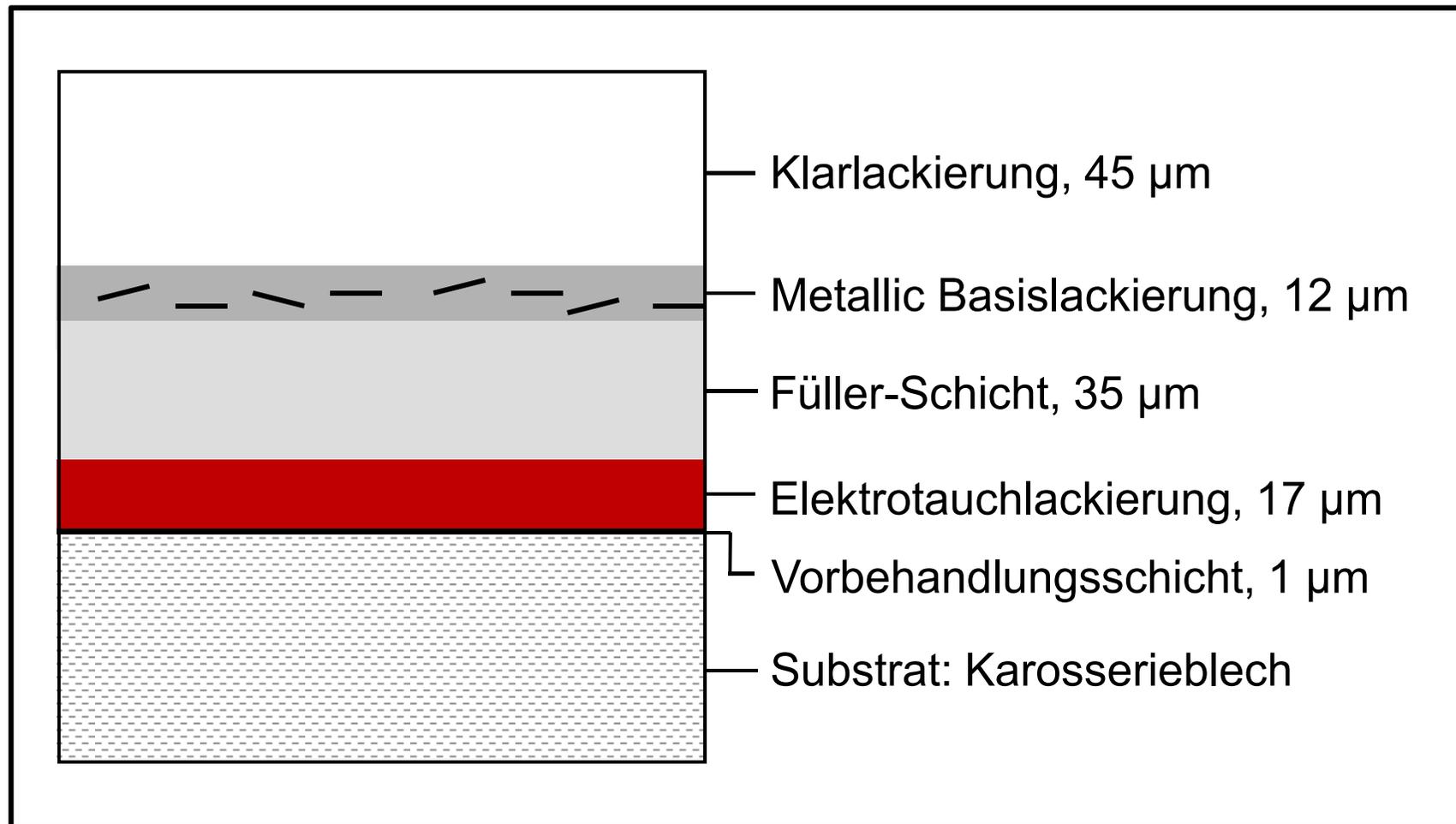


***Elektrotauchlack,
Elektrotauchlackierung***

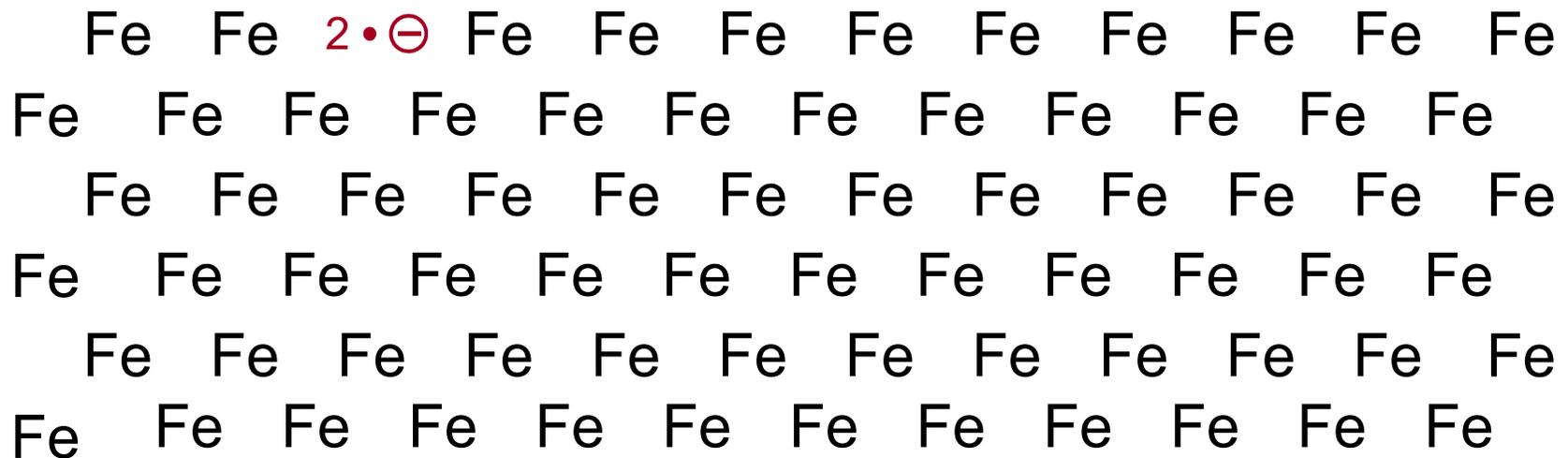
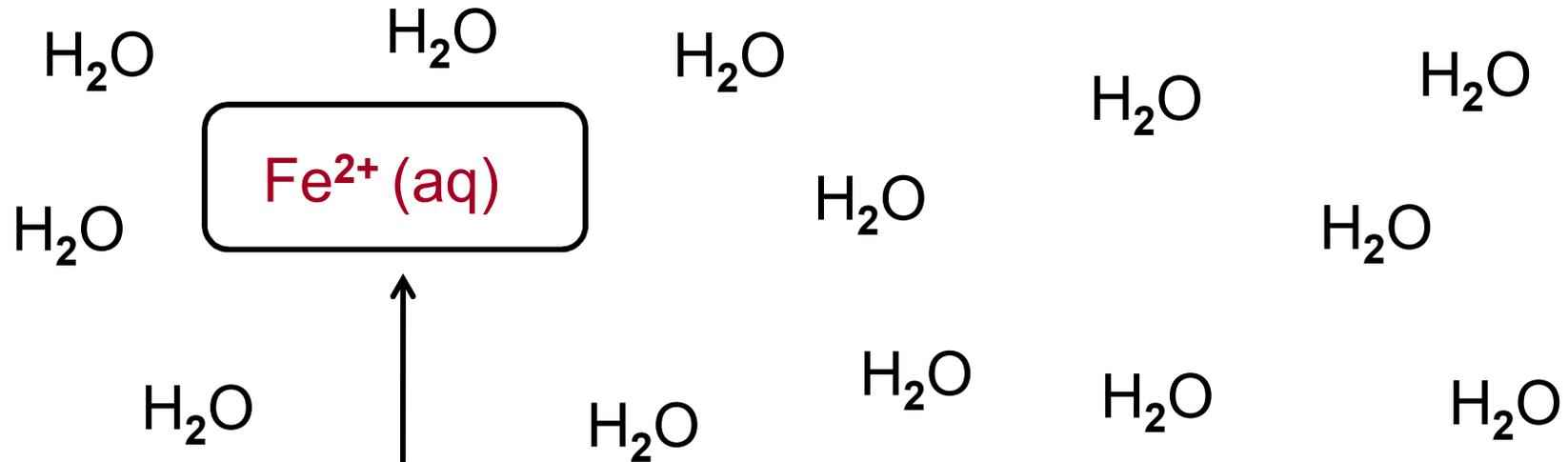
***Elektrotauchlackierung für den
Korrosionsschutz von Autokarosserien.***

Vierschicht-Automobillackierung (OEM), 2020

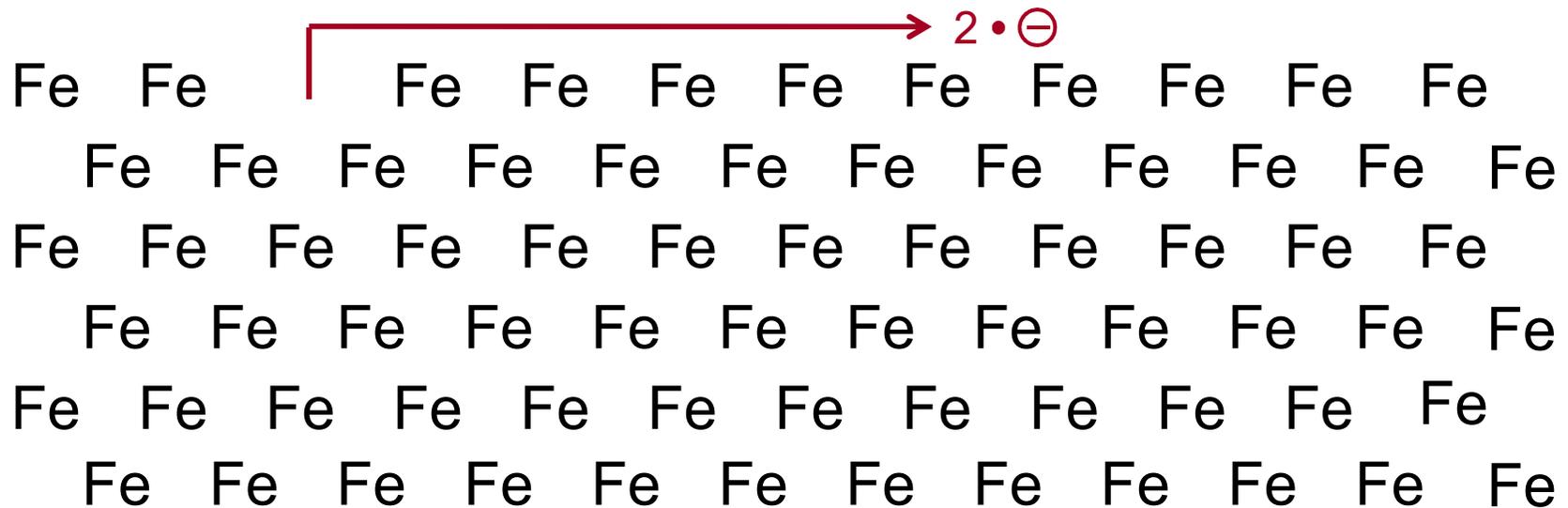
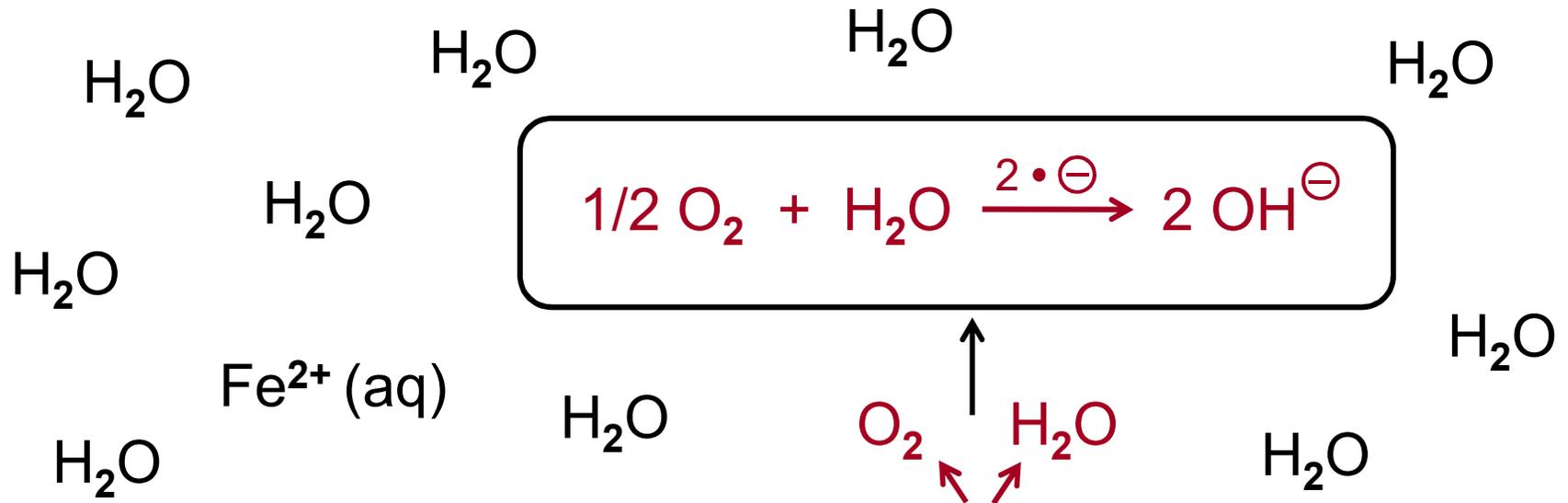
Typischer Aufbau, Standardtechnik für die Serienproduktion.



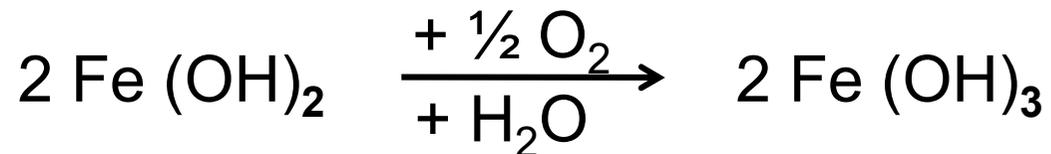
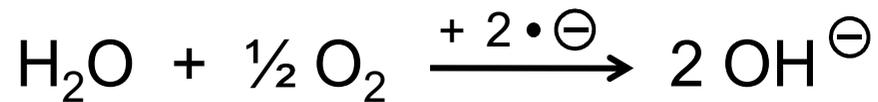
Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: Korrosionsvorgang: **Anodische Reaktion.**



Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: Korrosionsvorgang: Kathodische Reaktion.



Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: Korrosionsvorgang, Fe, Einzelschritte.

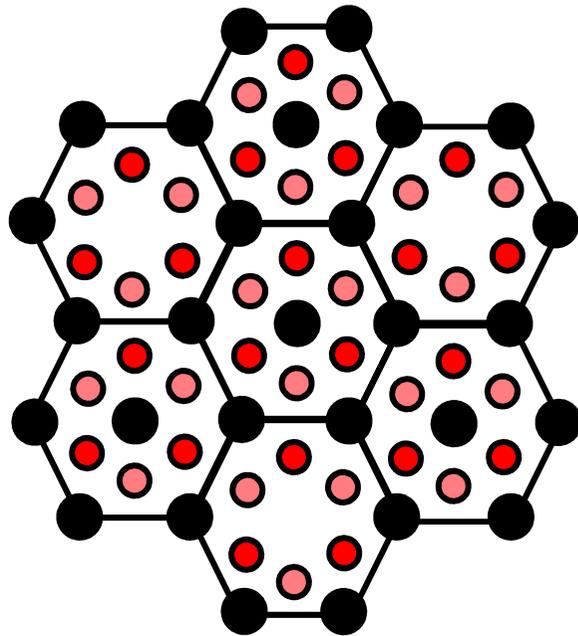


Rost: $x \text{FeO} \cdot y \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot z \text{H}_2\text{O}$

(x, y, z: Jeweils unabhängig voneinander: 1, 2, 3, 4, ...)

Beschichtung von phosphatiertem Eisen mit Epoxidharzen

Fe_2O_3 - Strukturausschnitt in vertikaler Projektion.



28X ● (Fe^{3+})

42X ● bzw. ○ (O^{2-})

(Unterschiedliche „Höhenlagen“)

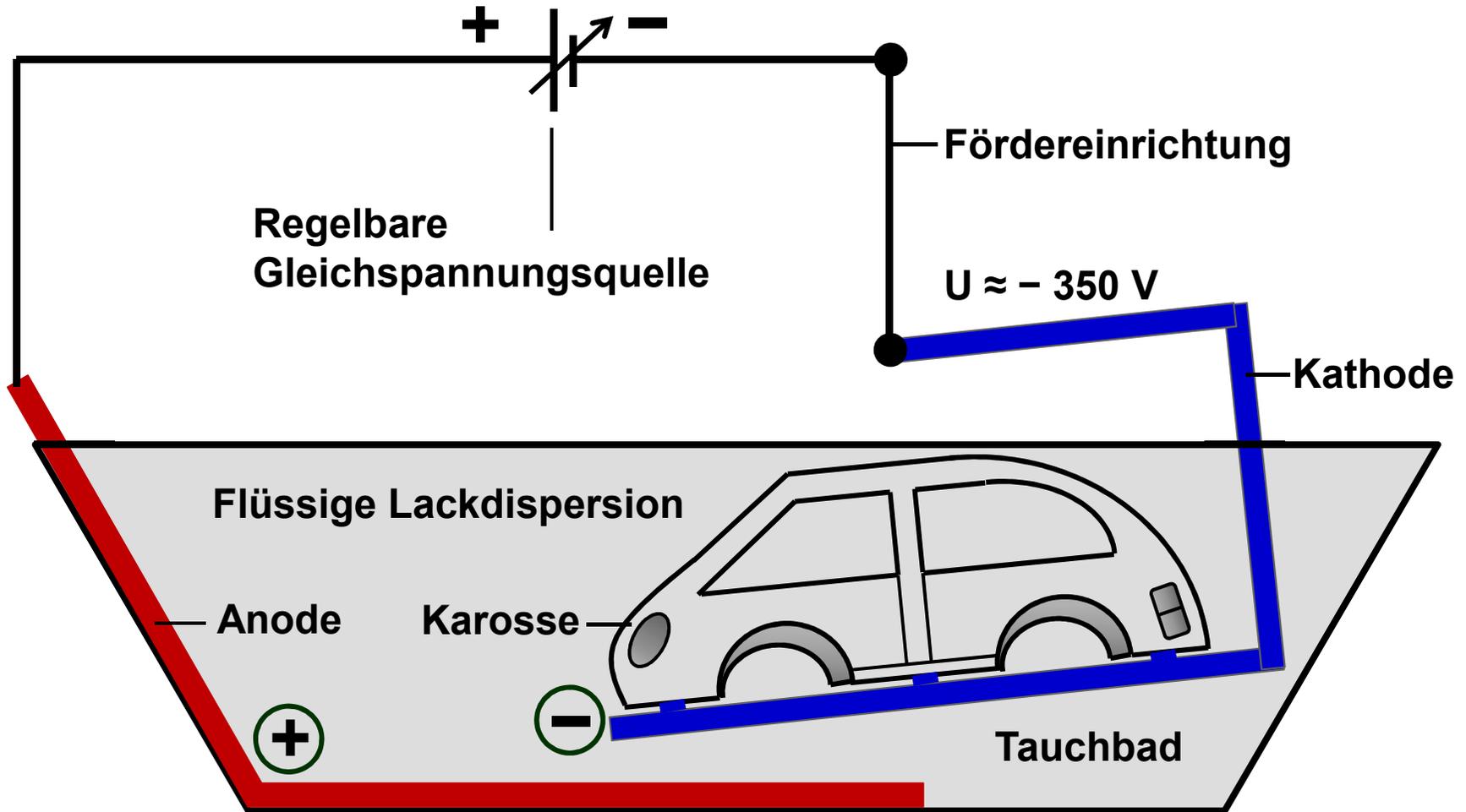
$$28 : 2 = 14$$

$$14 \times 3 = 42$$

(„Korund-Struktur“, Ausschnitt)

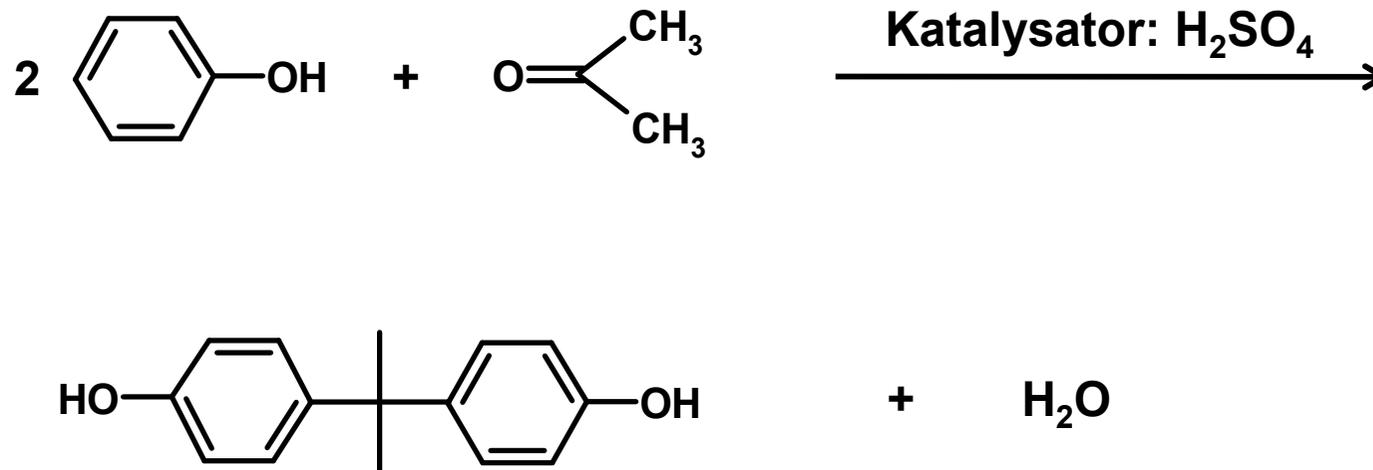


Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: Kathodische Tauchlackierung, Prinzip.



Beschichtung von phosphatiertem Eisen mit Epoxidharzen

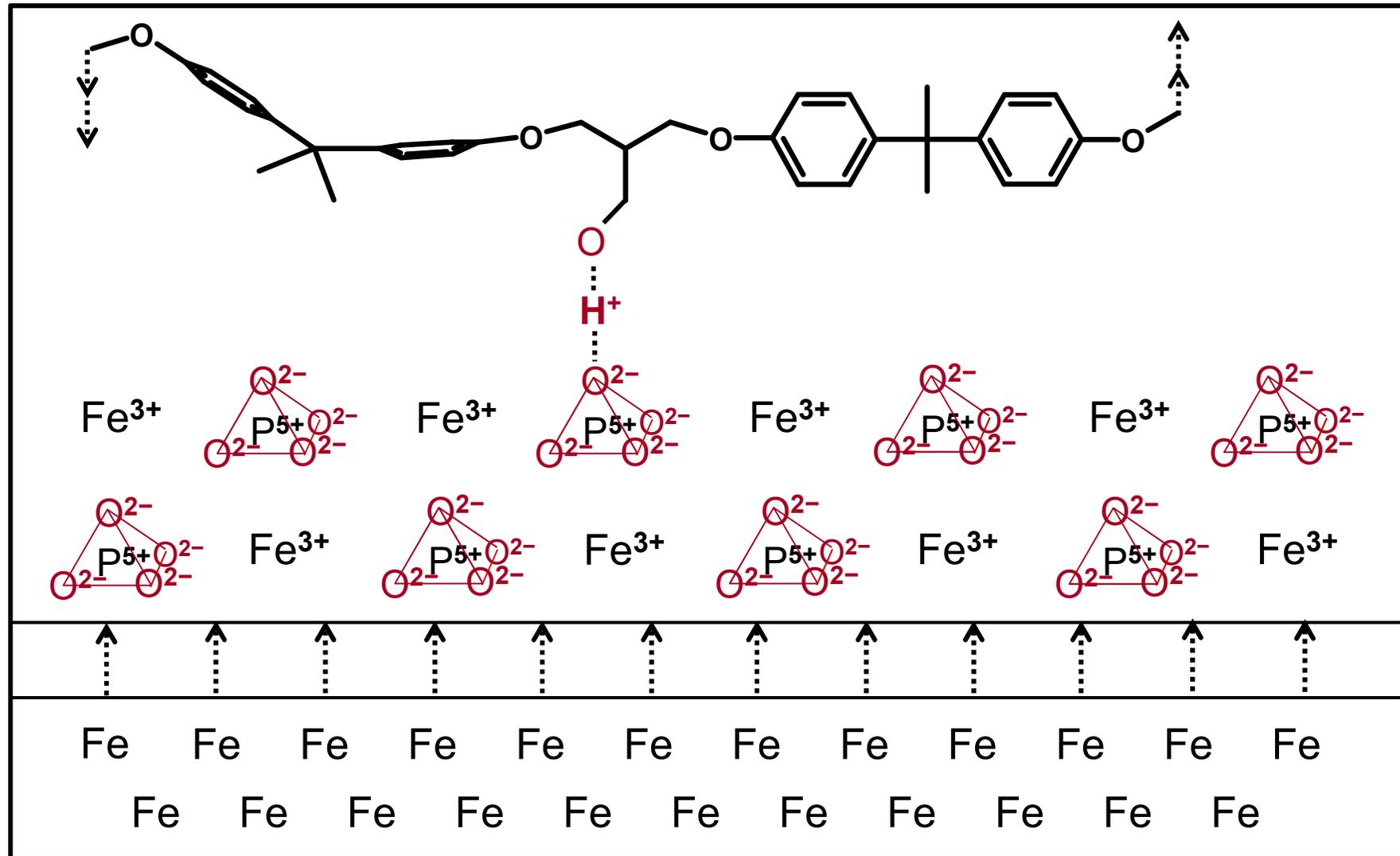
Bisphenol-A, Technische Synthese aus Aceton und Phenol.



Alternative Katalysatoren: HCl-Gas + CH₃SH (Hooker-Verfahren) Saure Ionenaustauscher (UCC-Verfahren).

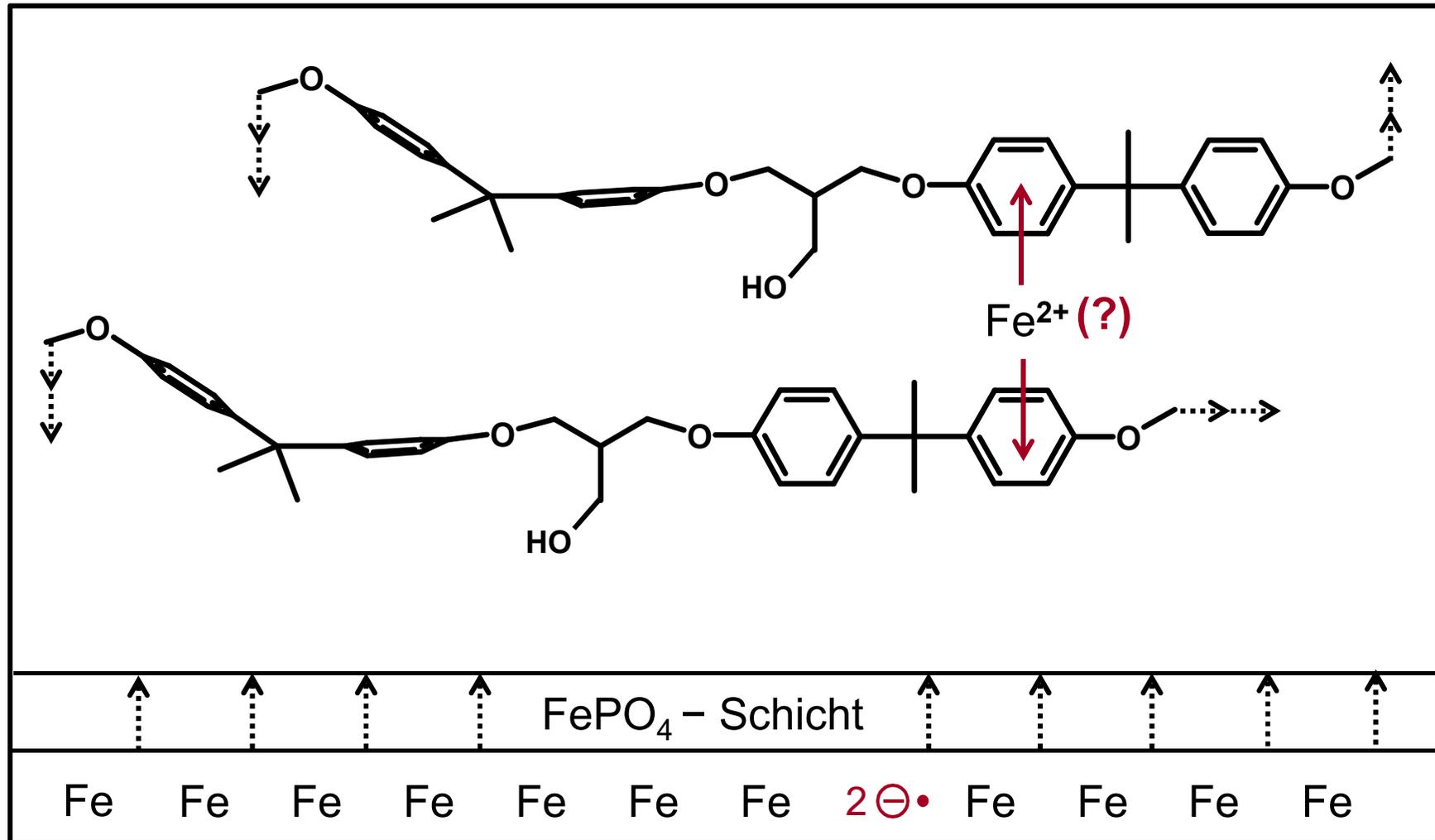
Beschichtung von phosphatiertem Eisen mit Epoxidharzen

Korrosionsschutz: Haftung an der Oberfläche durch **H⁺-Brücken**.



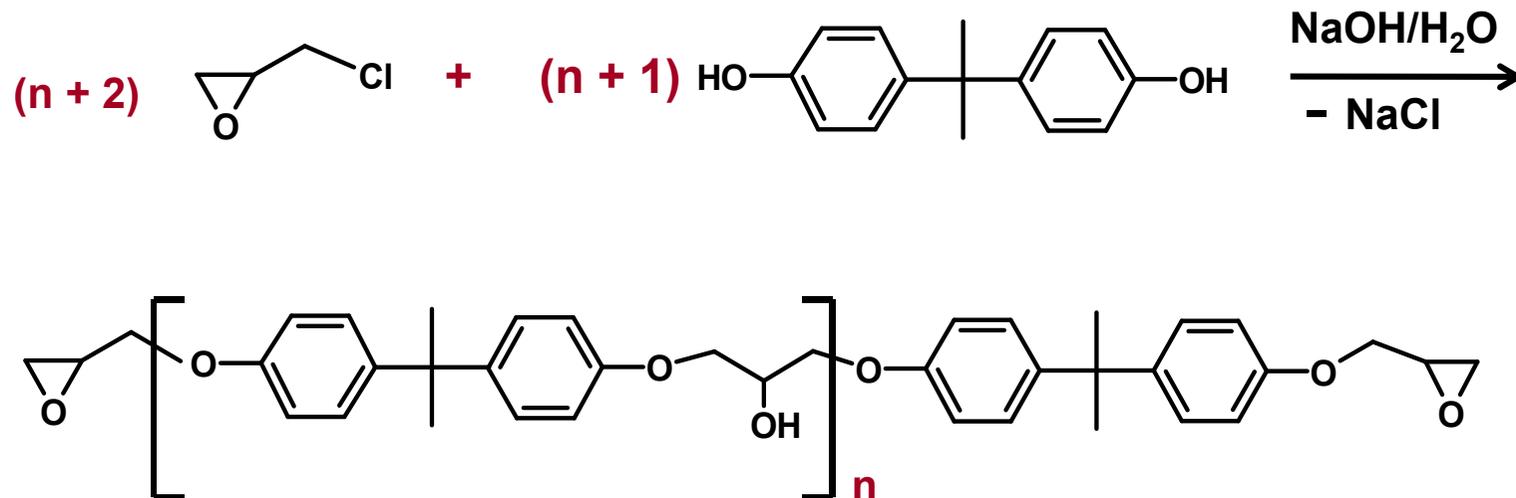
Beschichtung von phosphatiertem Eisen mit Epoxidharzen

Korrosionsschutz: Komplexbildung von „freien“ Fe^{2+} -Ionen zwischen elektronenreichen aromatischen Ringen (?) (**Idealisierte Darstellung**).



Beschichtung von phosphatiertem Eisen mit Epoxidharzen

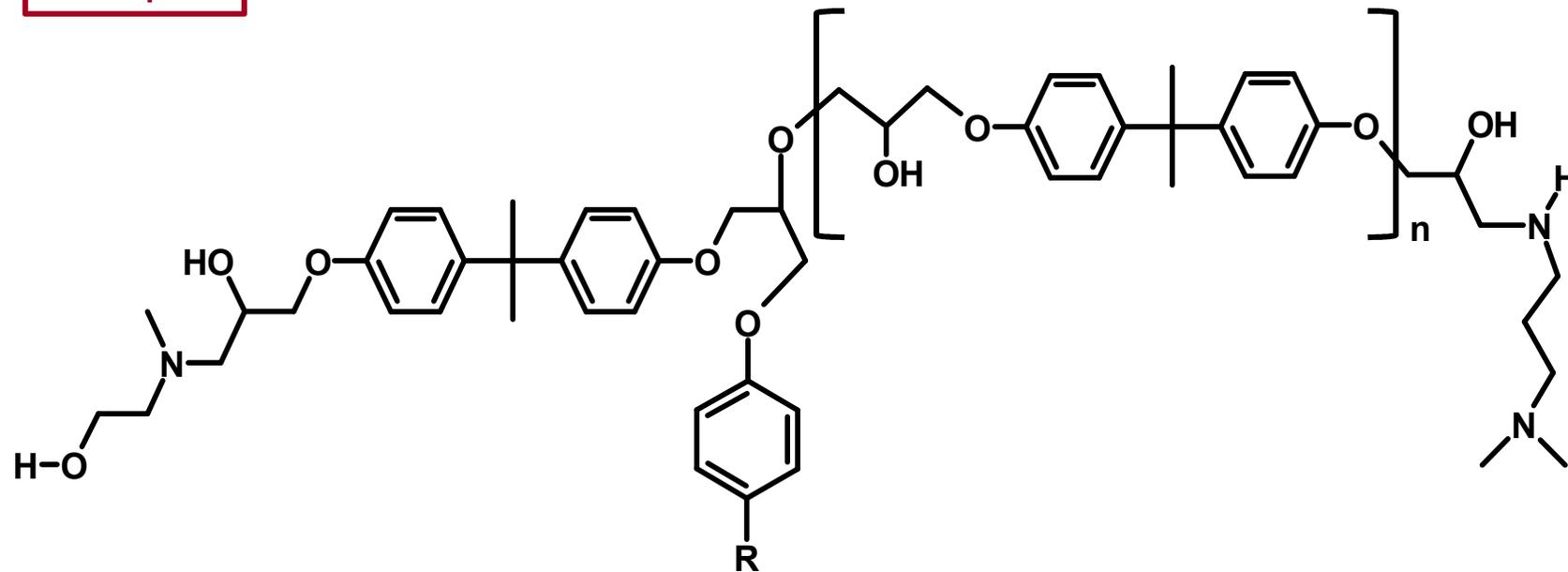
Epoxidharz-Synthese aus Bisphenol-A und Epichlorhydrin.
Steuerung der Molekulargewichtsverteilung über die **Molzahl n**.



$$n = 0, 1, 2, 3, \dots, 29, 30 \dots$$

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Basisharz (vereinfachte Darstellung).

Beispiel



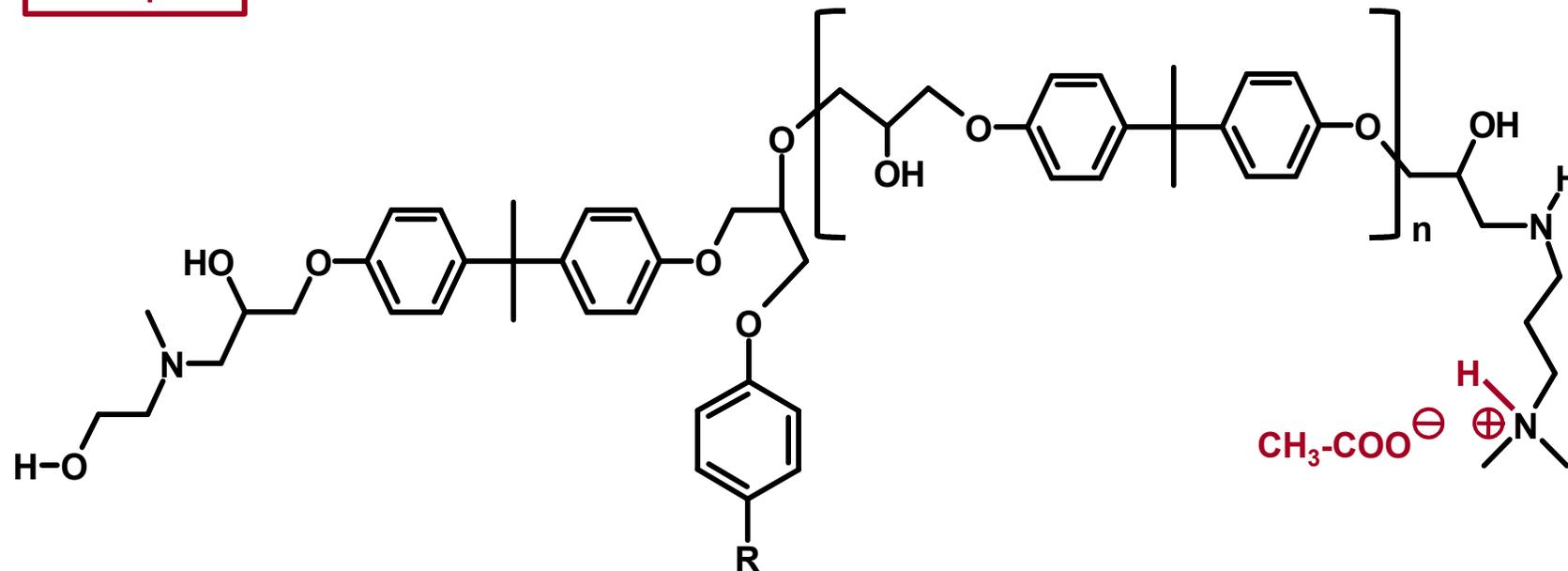
R = CH₃ (75%-100%); n-C₁₂H₂₅ (0%-25%)

n = 3,4,5,...

Das Amin-modifizierte Epoxidharz bildet nach **Essigsäure- oder Milchsäure-Zusatz** die entsprechende Ammoniumverbindung: →

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Basisharz (vereinfachte Darstellung).

Beispiel



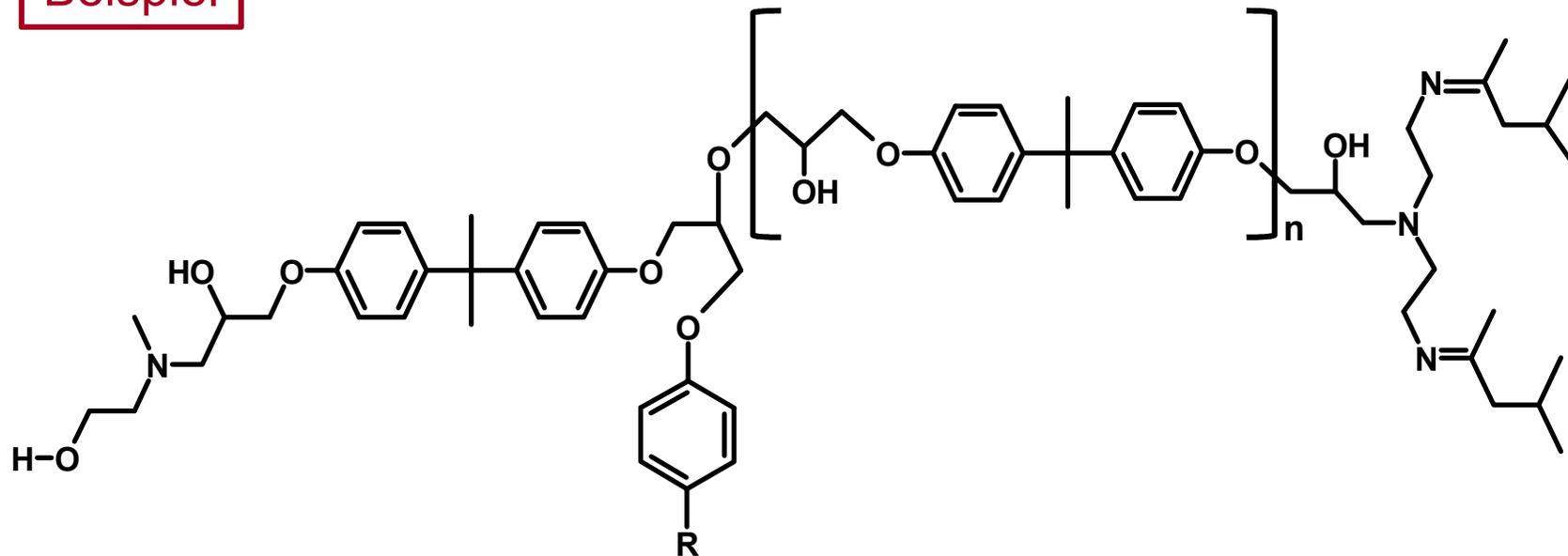
R = CH₃ (75%-100%); n-C₁₂H₂₅ (0%-25%)

n = 3,4,5,...

Das protonierte, Amin-modifizierte Epoxidharz bildet in Wasser eine stabile, elektrophoretisch koagulierbare Sekundärdispersion.

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Basisharz (vereinfachte Darstellung).

Beispiel



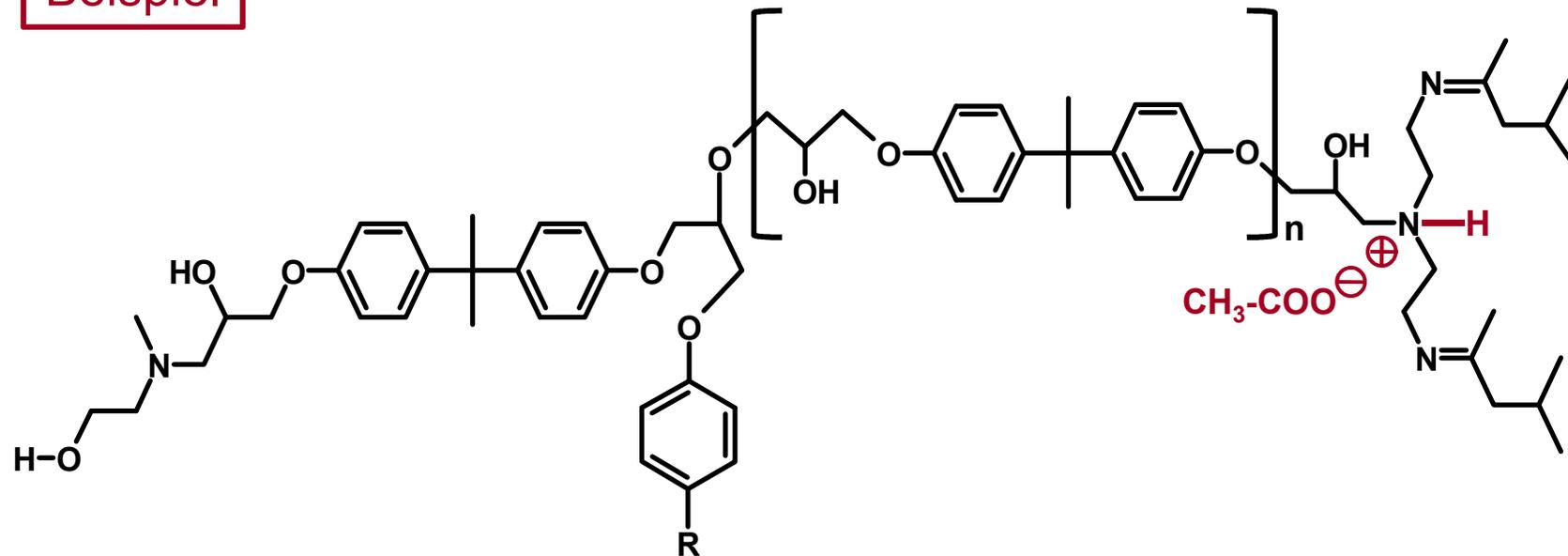
R = CH₃ (75%-100%); n-C₁₂H₂₅ (0%-25%)

n = 3,4,5,...

Das Amin-modifizierte Epoxidharz bildet nach **Essigsäure- oder Milchsäure-Zusatz** die entsprechende Ammoniumverbindung: →

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Basisharz (vereinfachte Darstellung).

Beispiel



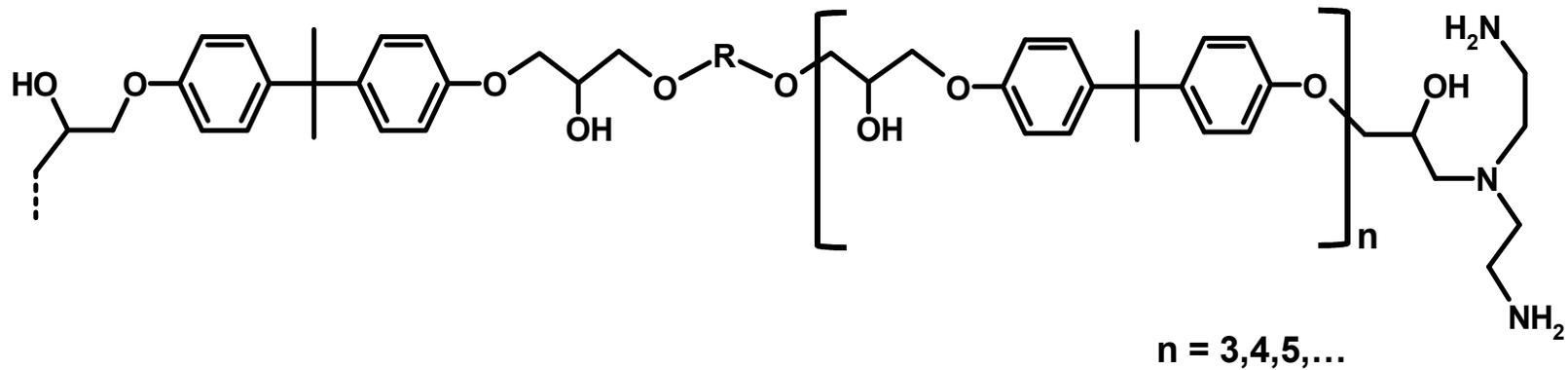
$\text{R} = \text{CH}_3$ (75%-100%); $n\text{-C}_{12}\text{H}_{25}$ (0%-25%)

$n = 3, 4, 5, \dots$

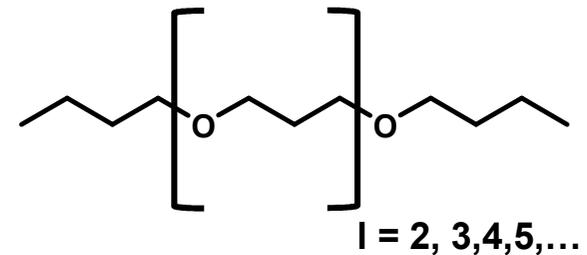
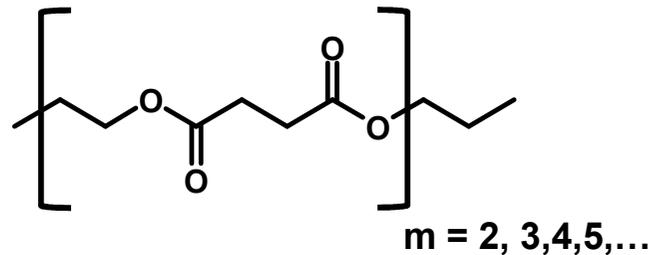
Das protonierte, Amin-modifizierte Epoxidharz bildet in Wasser eine stabile, elektrophoretisch koagulierbare Sekundärdispersion.

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Basisharz (vereinfachte Darstellung).

Beispiel



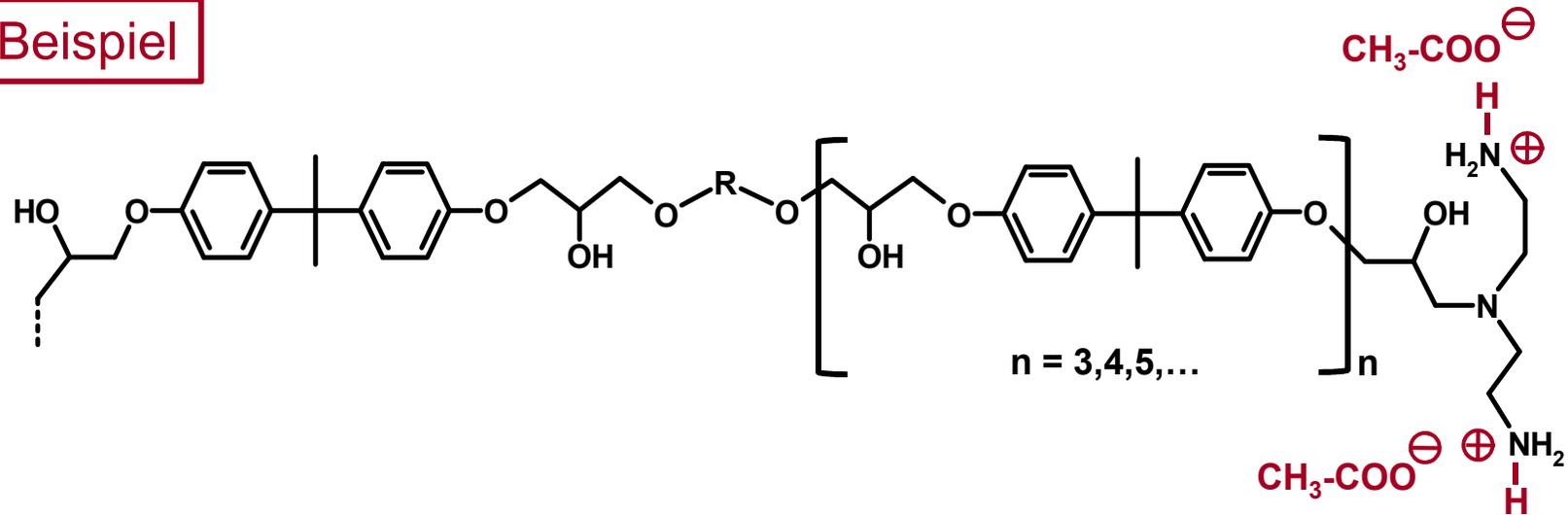
- R - = z. B. :



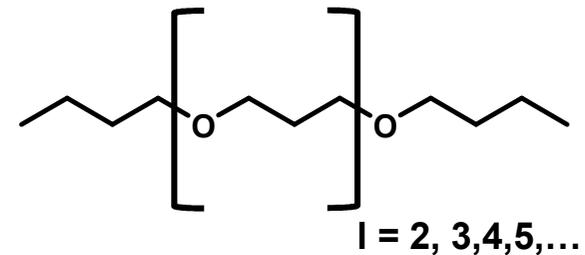
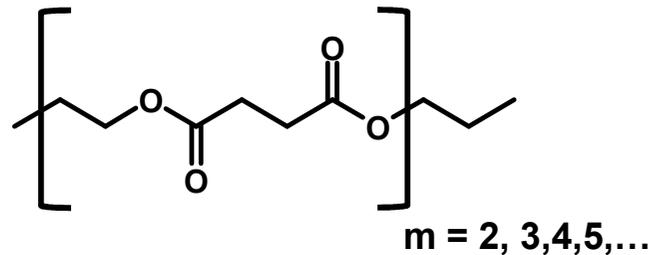
Das Amin-modifizierte Epoxidharz bildet nach **Essigsäure- oder Milchsäure-Zusatz** die entsprechende Ammoniumverbindung: →

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Basisharz (vereinfachte Darstellung).

Beispiel

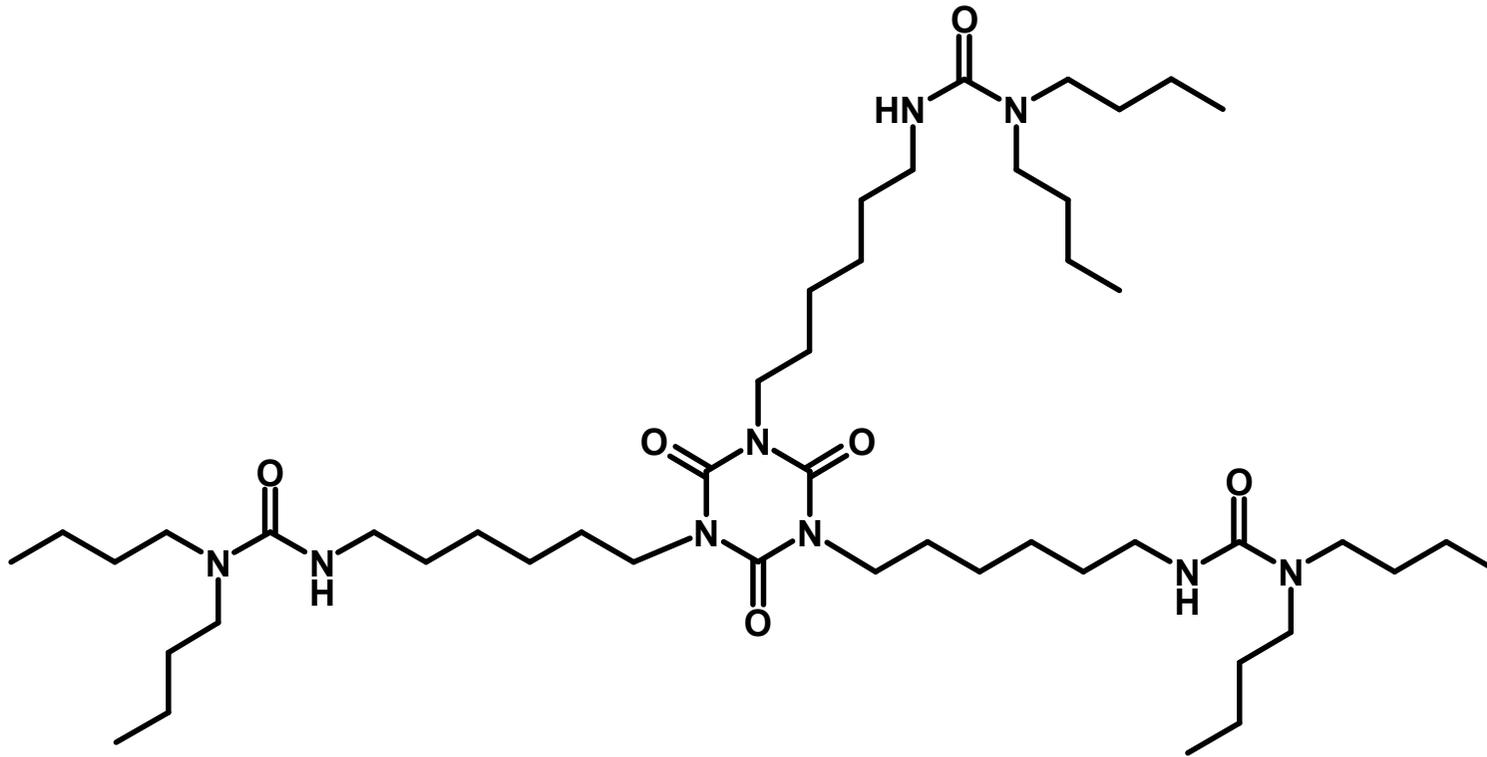


- R - = z. B. :



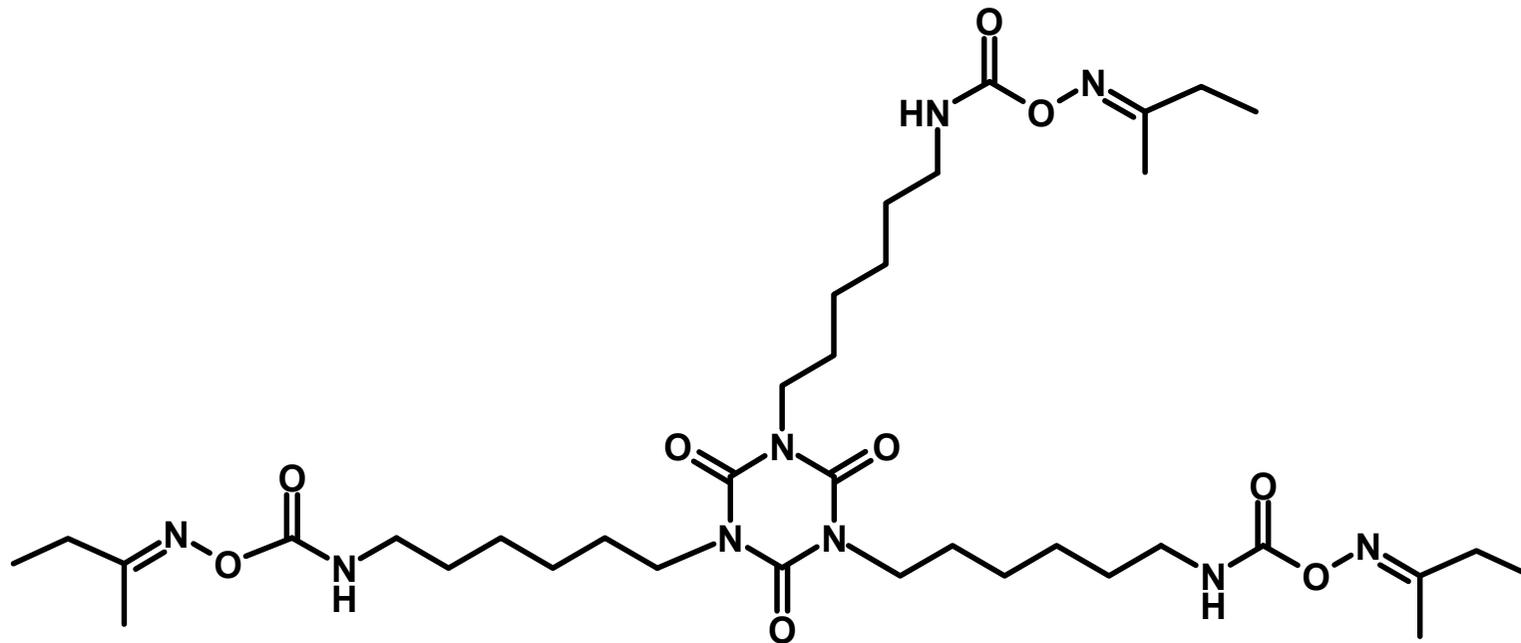
Das protonisierte, Amin-modifizierte Epoxidharz bildet in Wasser eine stabile, elektrophoretisch koagulierbare Sekundärdispersion.

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: Vernetzung, verkapptes Oligoisocyanat.



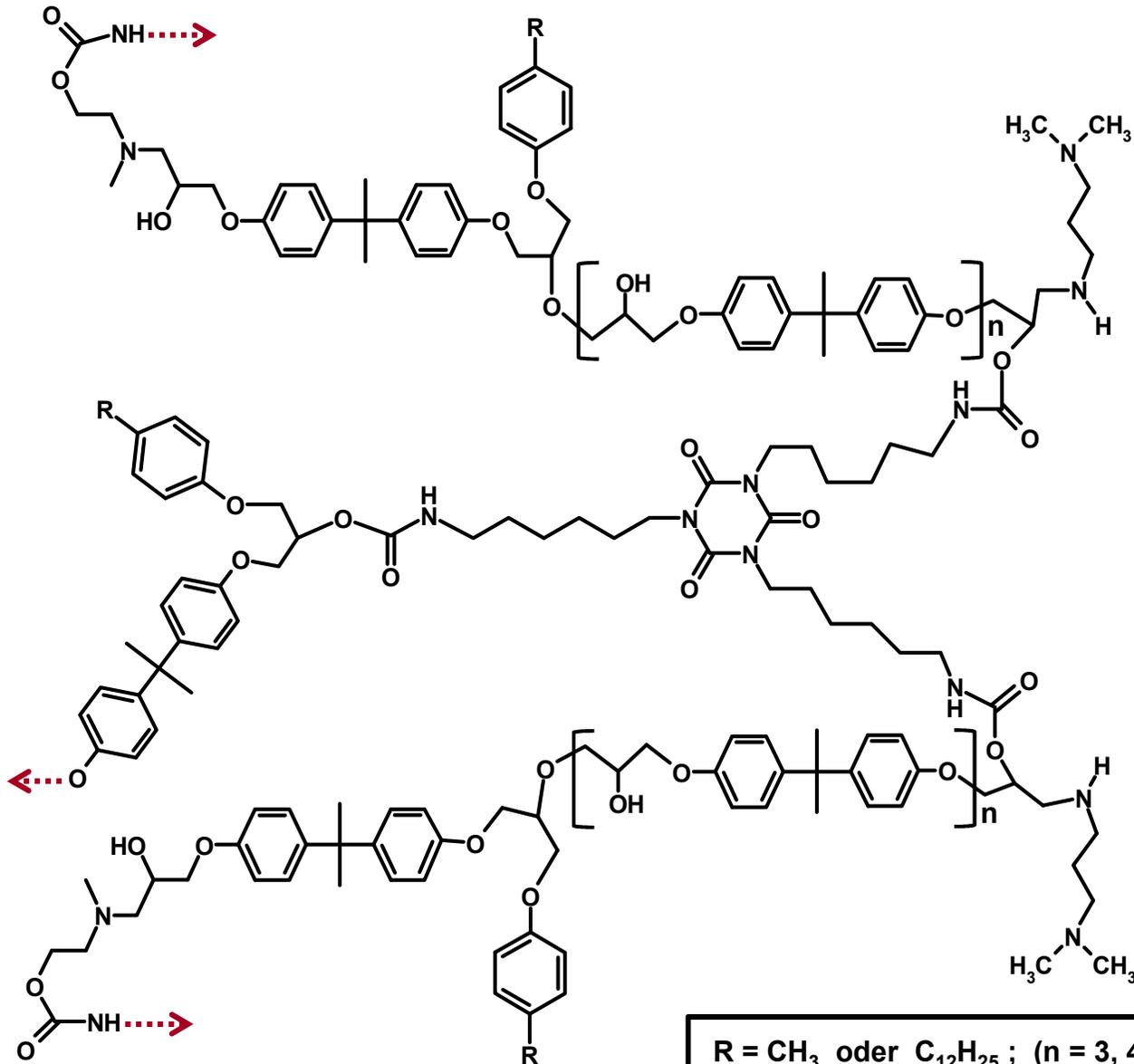
Temperaturbereich für die Deblockierung: **120°C – 160°C.**

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: Vernetzung, verkapptes Oligoisocyanat.



Temperatur für die Deblockierung: rund **150°C**.

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Harz nach der Härtung (Beispiel).



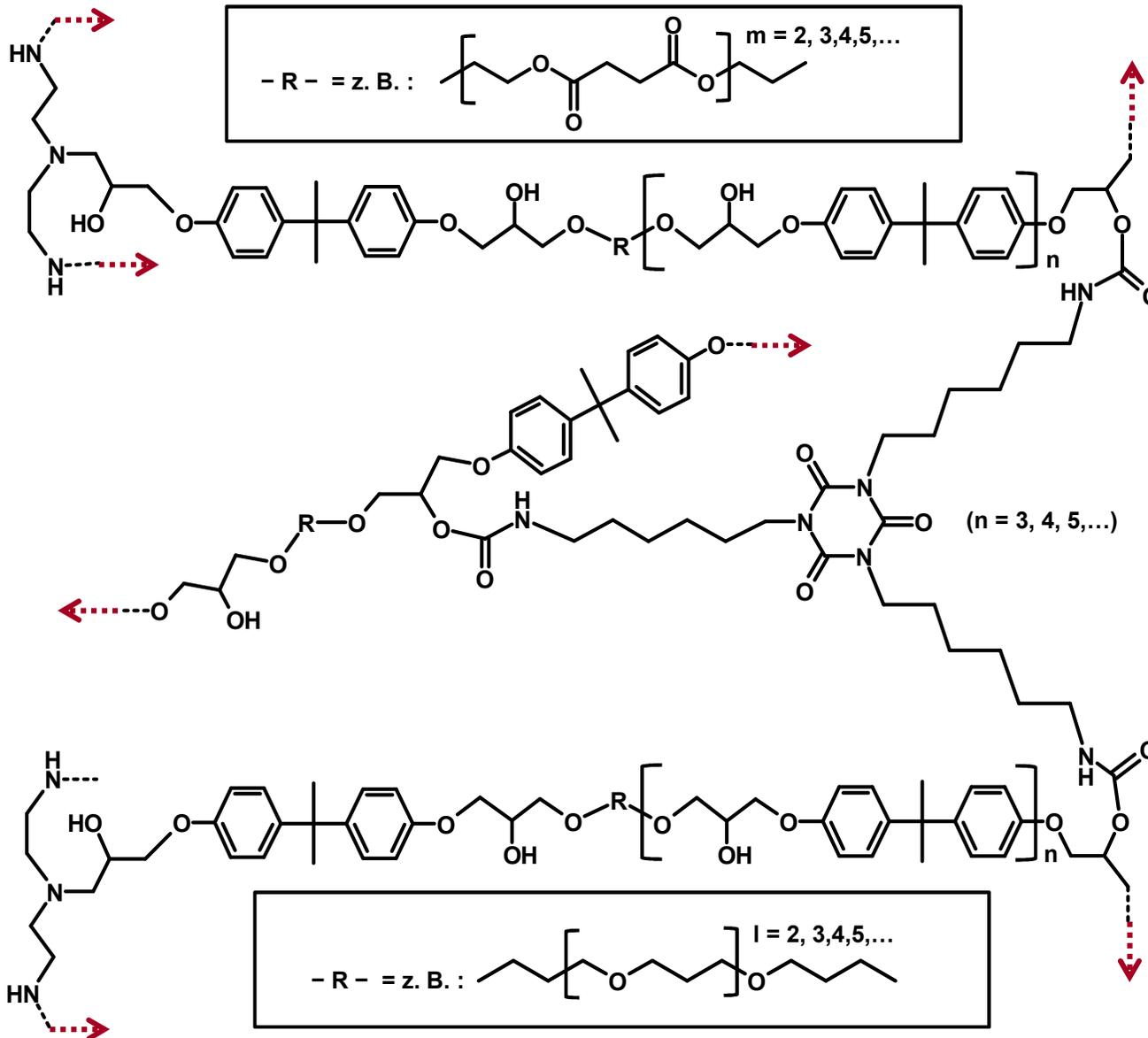
KTL-Duromer

KTL-Basisharz nach dem Vernetzen durch „Umurethanisierung“. Ausschnitt aus dem polymeren Verbund.

(Idealisierte Struktur)

$T_{\text{Härt.}} \approx 185^\circ\text{C}$

Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien: KTL-Harz nach der Härtung (Beispiel).



KTL-Duromer

KTL-Basisharz nach dem Vernetzen durch „Umurethanisierung“. Ausschnitt aus dem polymeren Verbund.

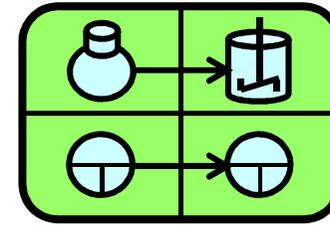
(Idealisierte Struktur)

$T_{\text{Härt.}} \approx 185^\circ\text{C}$

Weiterführende Literatur (Bücher, Fachartikel, Patentschrift) zum Thema: „Elektrotauchlackierung für den Korrosionsschutz von Autokarosserien“.

- H-J. Streitberger, K-F. Dössel, Automotive Paints and Coatings, Wiley-VCH, Weinheim, 2008.
- H. Reuter, W. Jouck, G. Ott, US-Pat. 575372A, BASF Coatings AG, 1996.
- L. Besra, M. Liu: A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD), Progress in Materials Science. ScienceDirect, 52(1), 2007. 1–61.
- M. Brahm, Polymerchemie kompakt, Hirzel, Stuttgart, Leipzig, 2016.
- H. Fobbe in: Kittel, Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Band 9, Hirzel, Stuttgart, 2004.
- A. Goldschmidt, H-J. Streitberger, BASF Handbuch Lackiertechnik, Vincentz, Hannover, 2014.
- S. Koltzenburg, M. Maskos, O. Nuyken, Polymere, Springer Spektrum, Heidelberg 2014.
- B. Tieke, Makromolekulare Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
- M. Reichinger, W. Bremser, M. Dornbusch, Interface and volume transport on technical cathodic painting: A comparison of steel, hot-dip galvanised steel and aluminum alloy, Electrochimica Acta, 231, 135-152, 2017.
- T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke, Lehrbuch der Lacktechnologie, Vincentz, Hannover, 2017.
- P. F. W. Simon, A. Fahmi, Polymere - Chemie und Strukturen, Wiley-VCH, Weinheim, 2020.
- B. Müller, U. Poth, Lackformulierung und Lackrezeptur, Vincentz, Hannover, 2017.
- T. Brock, Elektrotauchlackierung, Chemie in unserer Zeit, 51, 300-307, 2017.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie

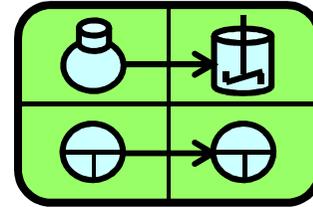


Zusatzmodul 03 für Chemiker (m/w/d)

Informationsmaterial zum Lerninhalt:
Innovation, Marktzuordnung

**Umformstabile „NAD-Goldlackierung“
zur Beschichtung von Konservendosen.**

FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



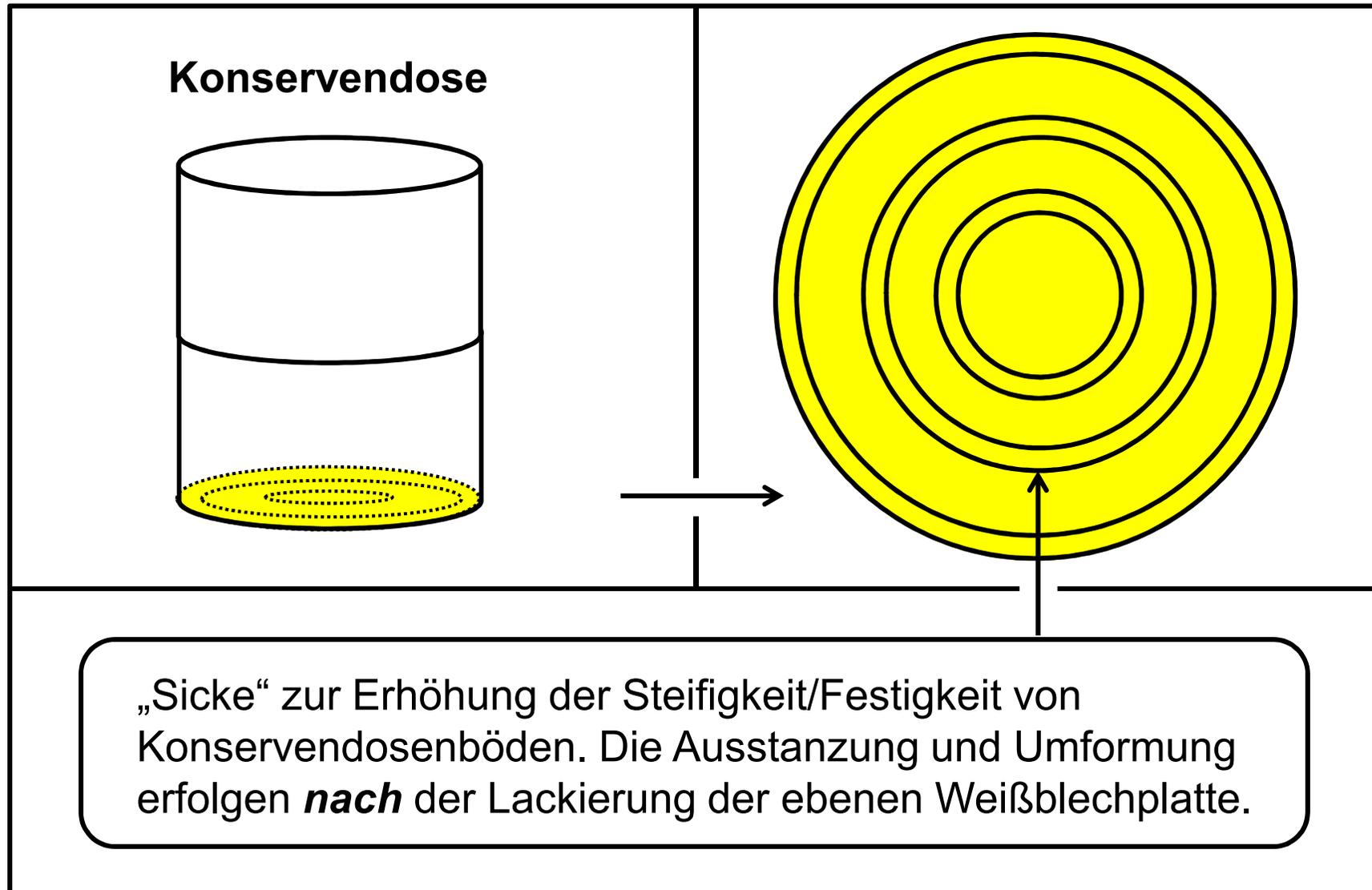
Lerninhalt



***Innovation,
Marktzuordnung***

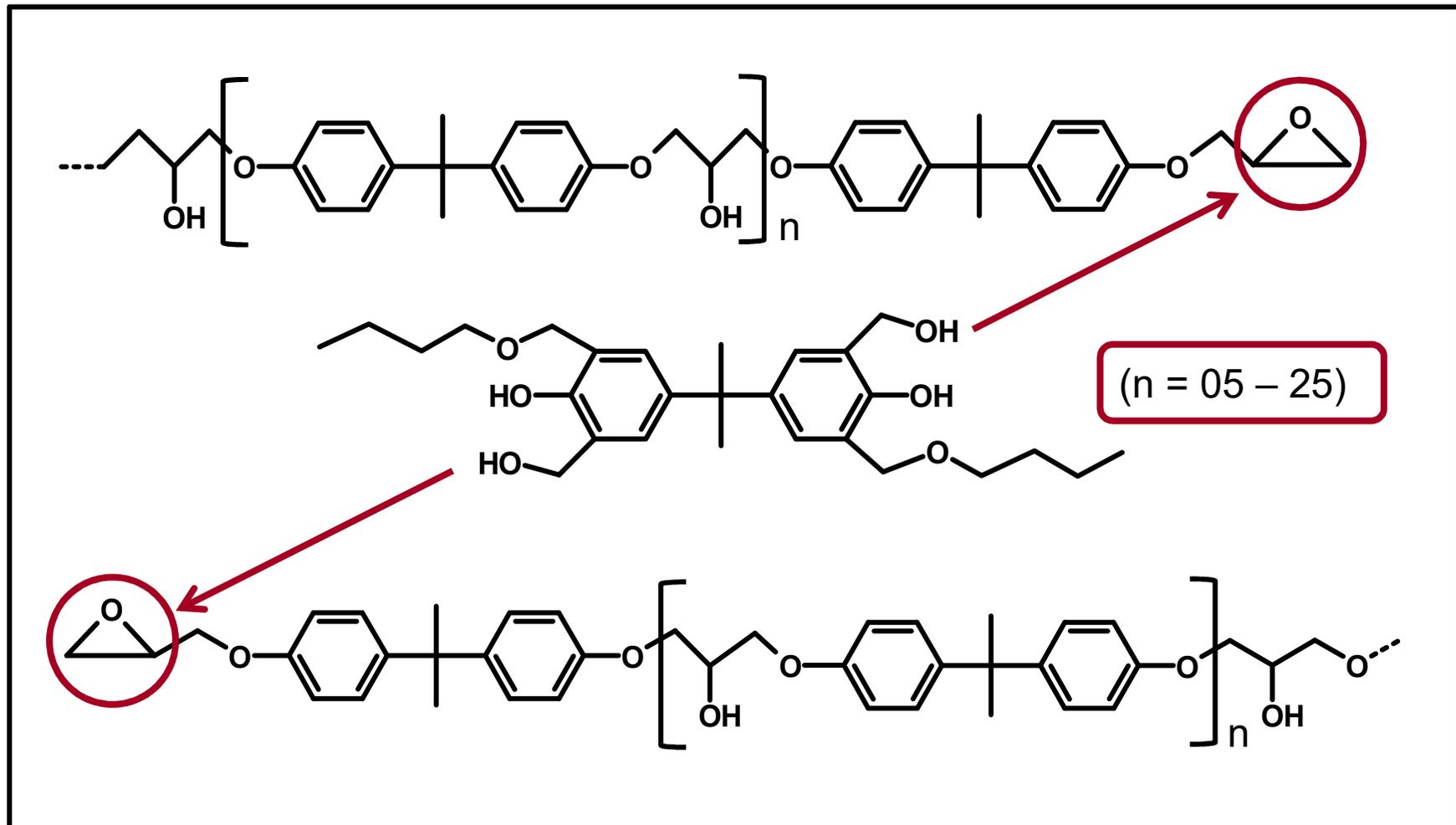
***Umformstabile „NAD-Goldlackierung“
zur Beschichtung von Konservendosen.***

„Goldlackierter“ und umgeformter Konservendosenboden.



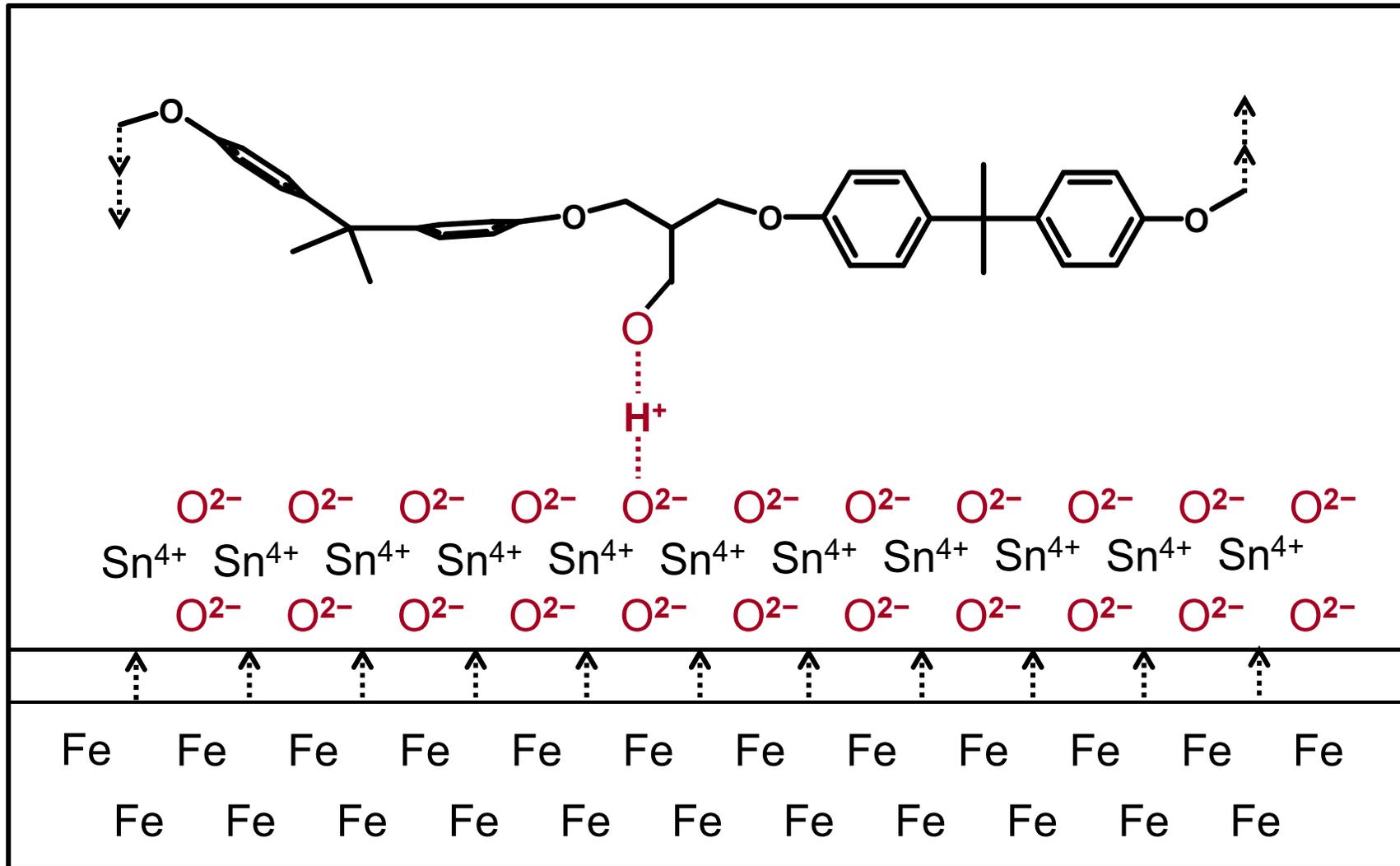
„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

„Goldlackharze“ vor dem Einbrennvorgang (Vernetzung):
Epoxidharze und Phenolformaldehydharz (idealisiert).



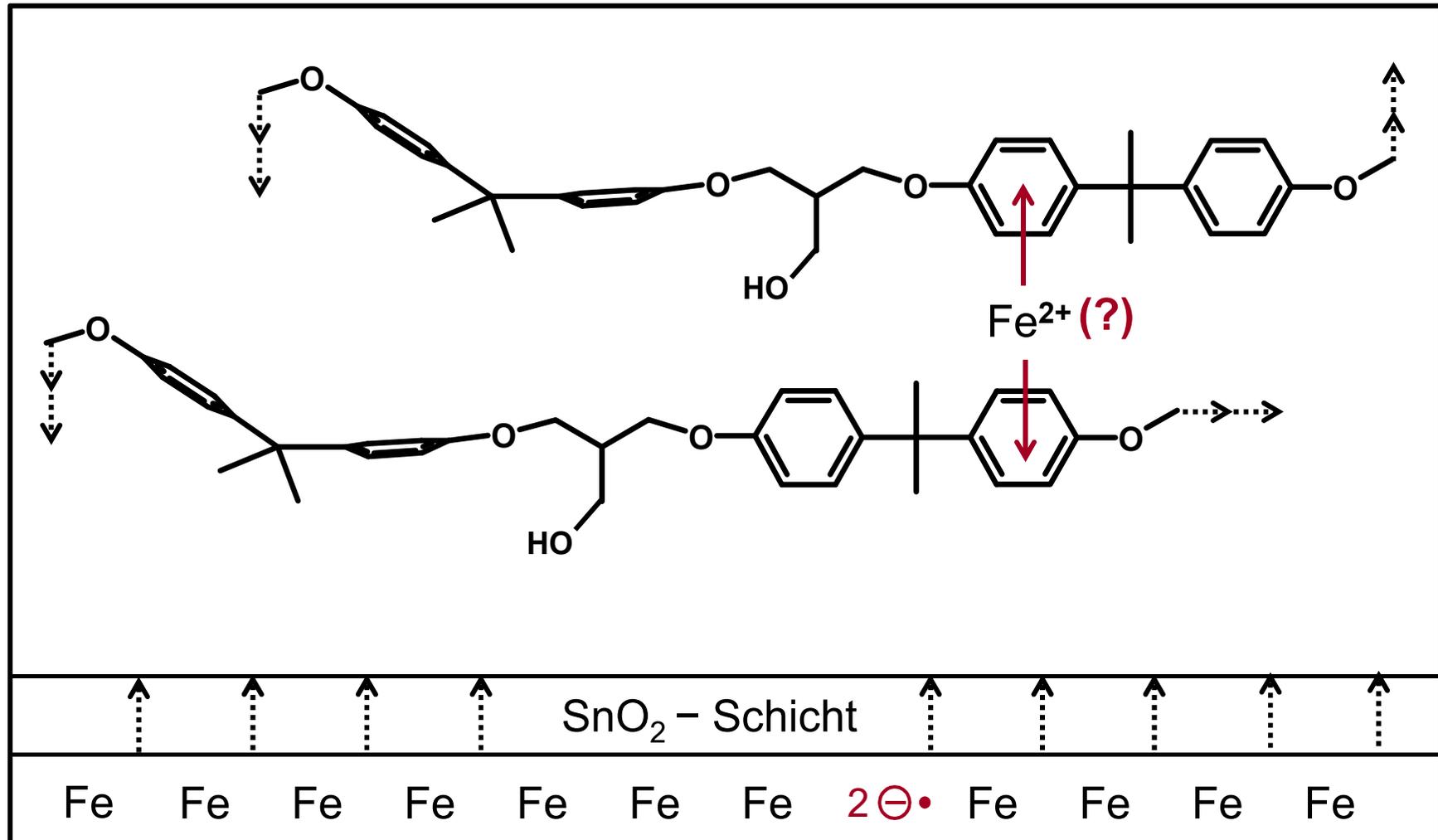
„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

Beschichtung von Weißblech mit Epoxid-Phenolharz-Duromer.
Korrosionsschutz: Haftung auf der SnO₂ - Schicht per H⁺-Brücken.



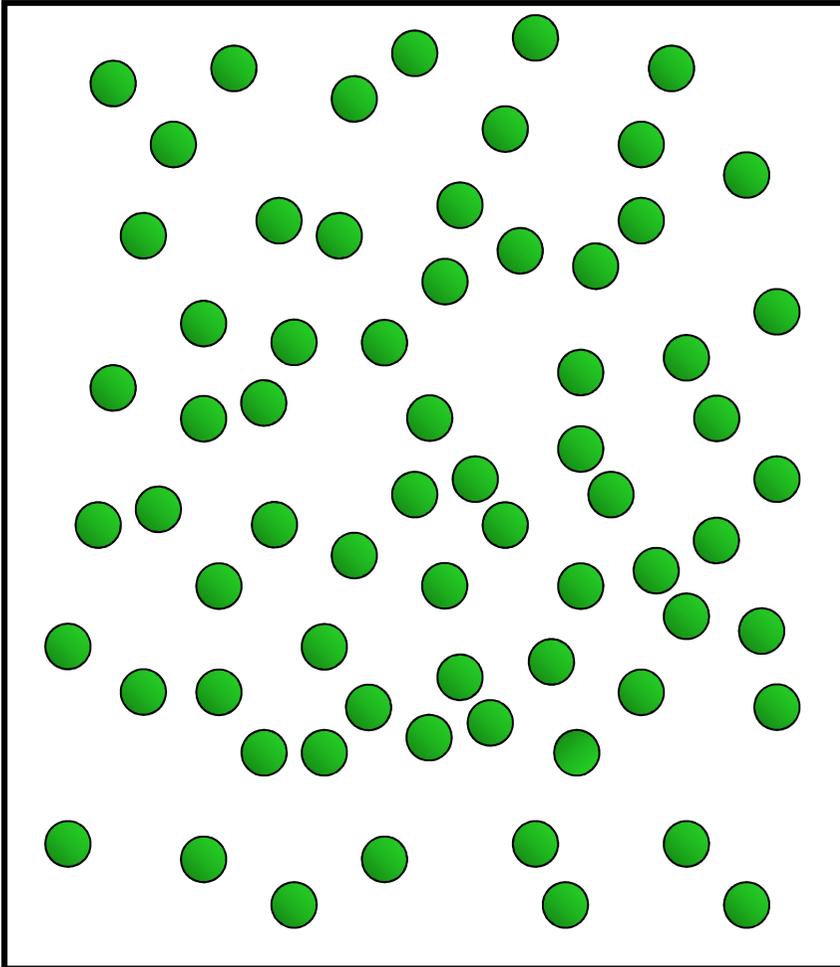
„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ...von Konservendosen“

Korrosionsschutz: Komplexbildung von „freien“ Fe^{2+} -Ionen zwischen elektronenreichen aromatischen Ringen (?) (**Idealisierte Darstellung**).

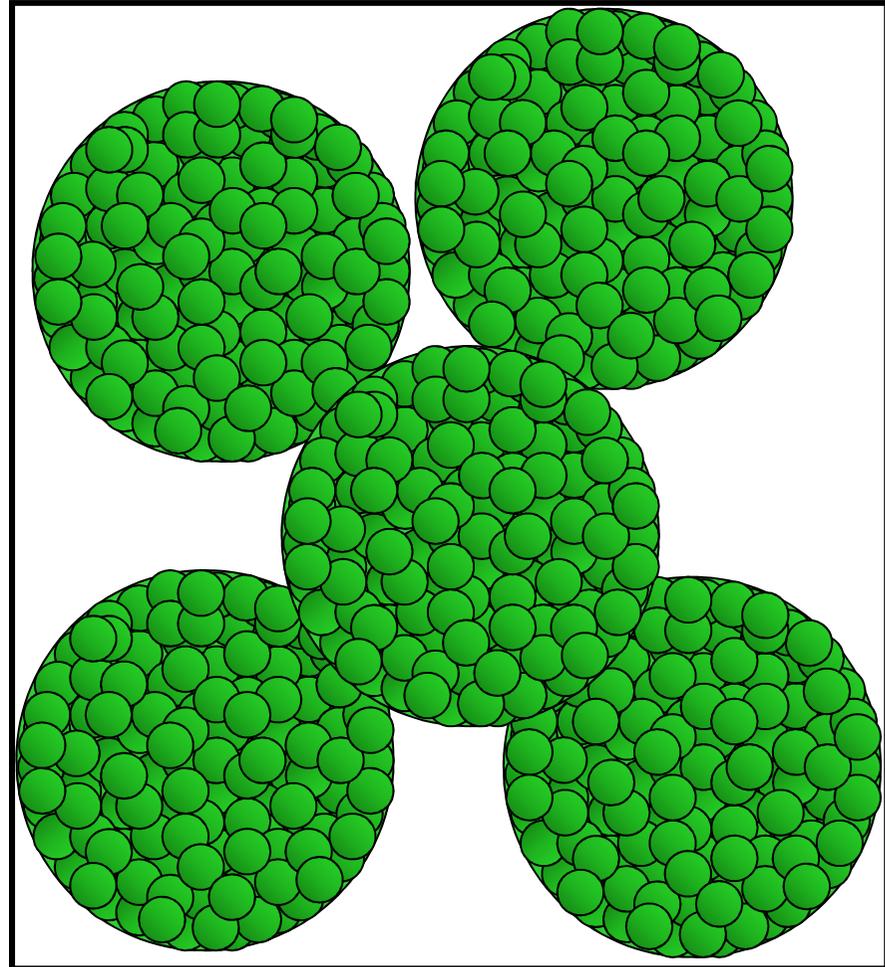


„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

PVC-Dispersion als „Lackadditiv“ zur Anhebung des „Festkörpers“.



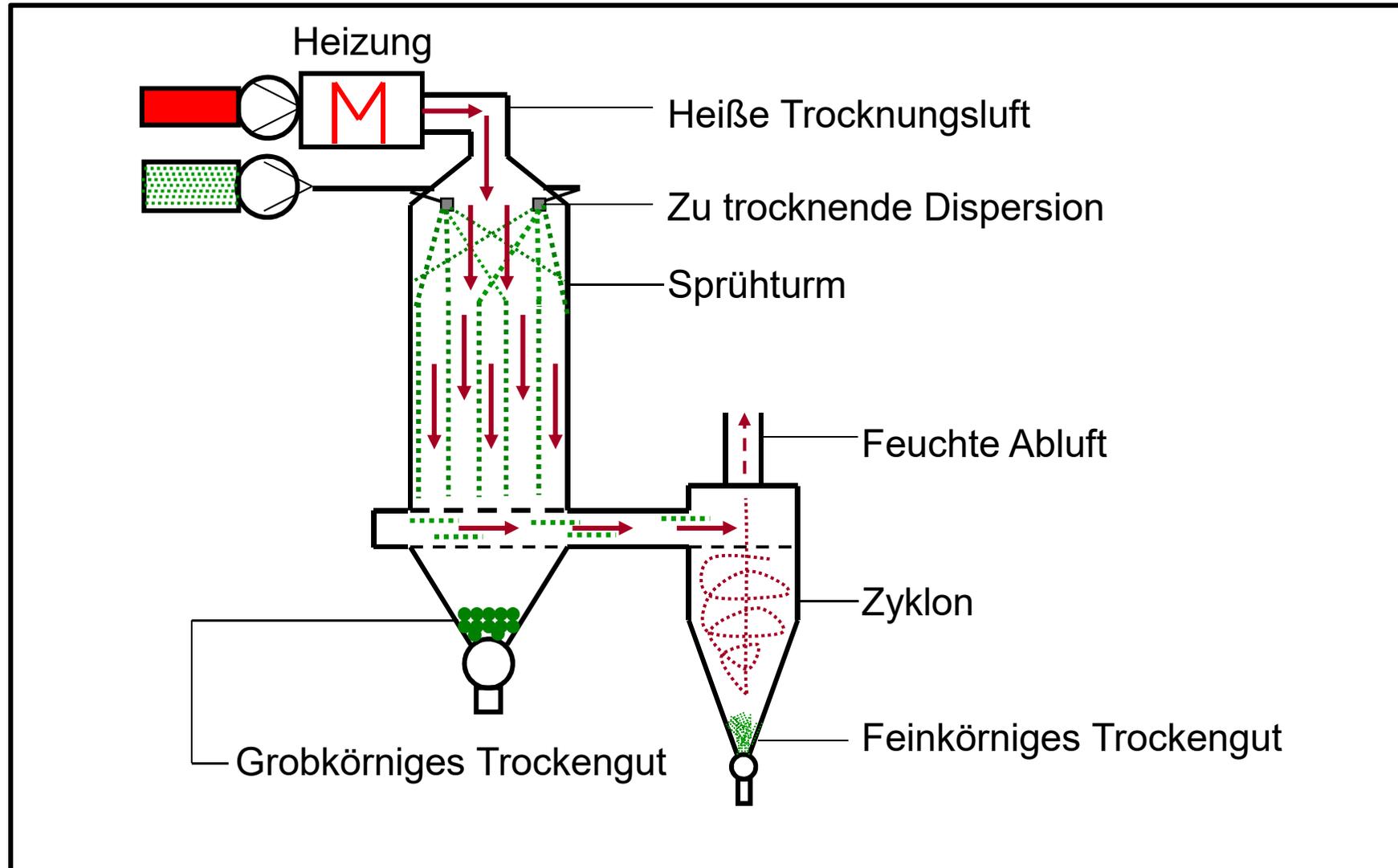
Wässrige PVC-Primärdispersion



Sprühgetrocknetes Agglomerat

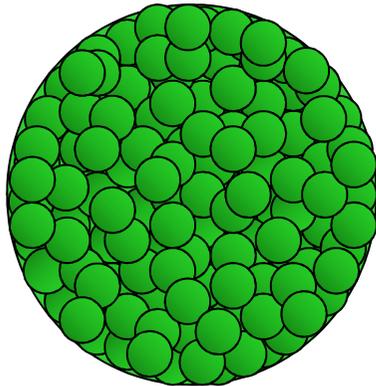
„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

Sprühtrockner für Polymer-Dispersionen.

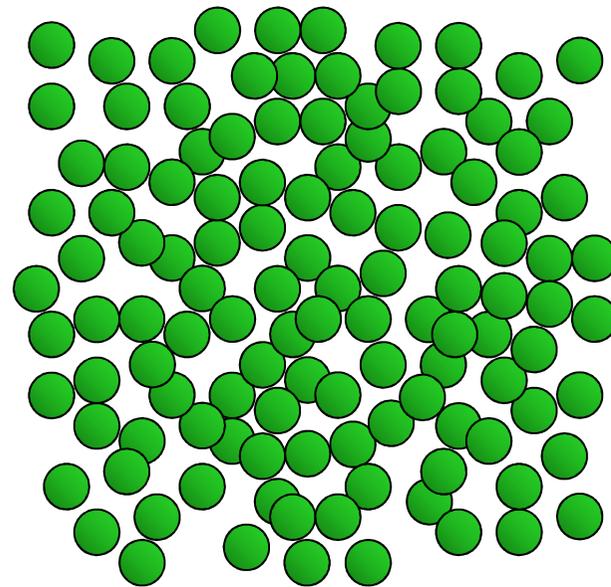


„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

Sprühgetrocknete PVC-Dispersion.



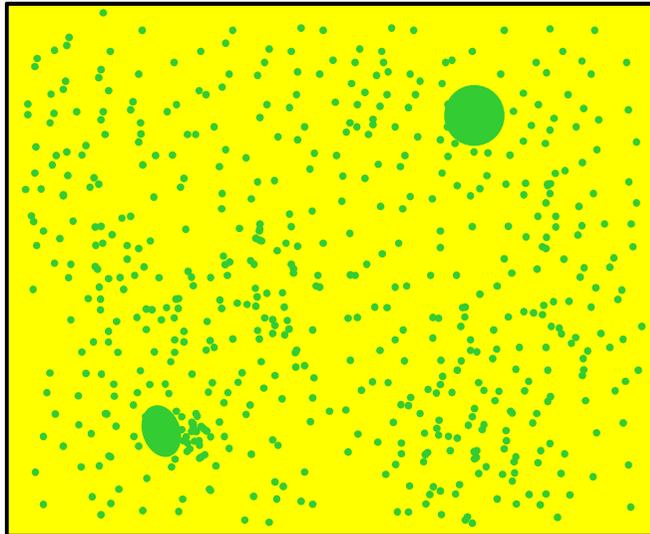
**Sprühgetrocknetes
Primärteilchen-Agglomerat**



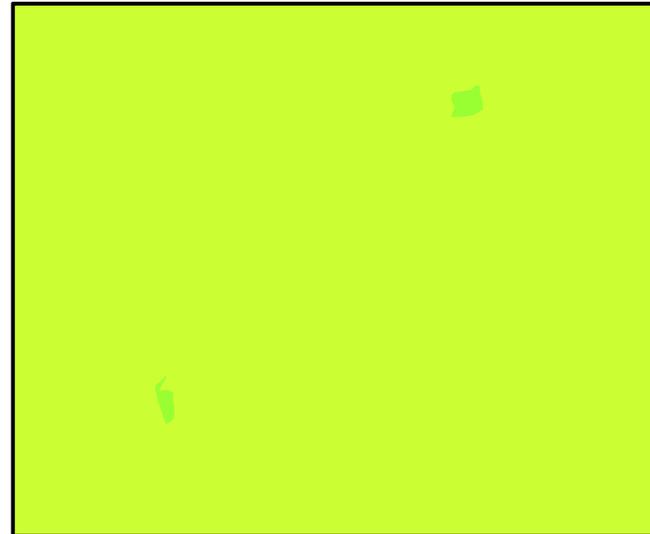
**Primärteilchen im
Nasspräparat**

„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

Sprühgetrocknete PVC-Dispersion als Goldlack-Additiv.



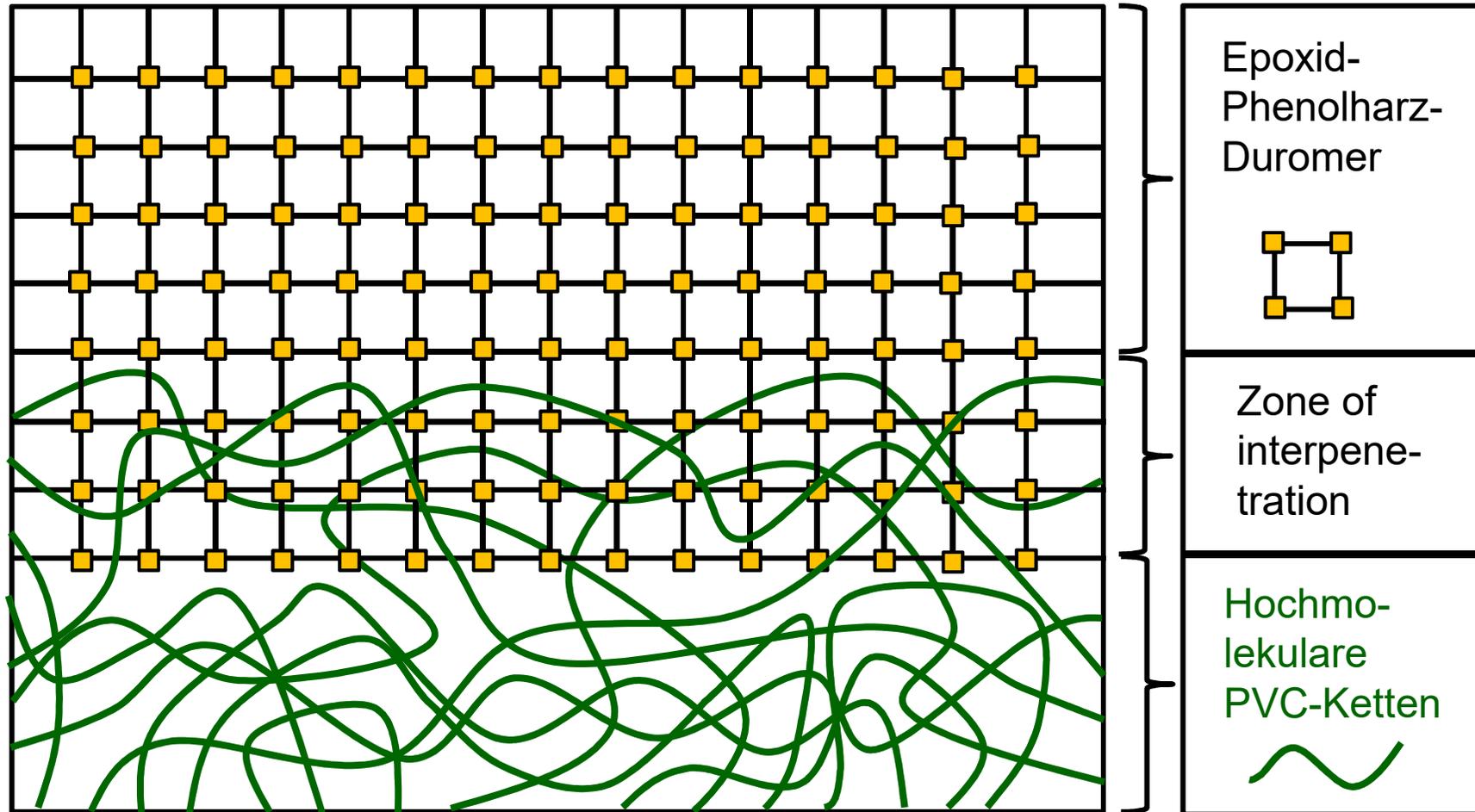
**Nasspräparat, Durchlicht-
mikroskop, Vergr.: 600-fach.
Orthoplan, Phasenkontrast**



**Nach 10 Minuten bei 210°C
Vergrößerung: 600-fach.
Orthoplan, Phasenkontrast.**

„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

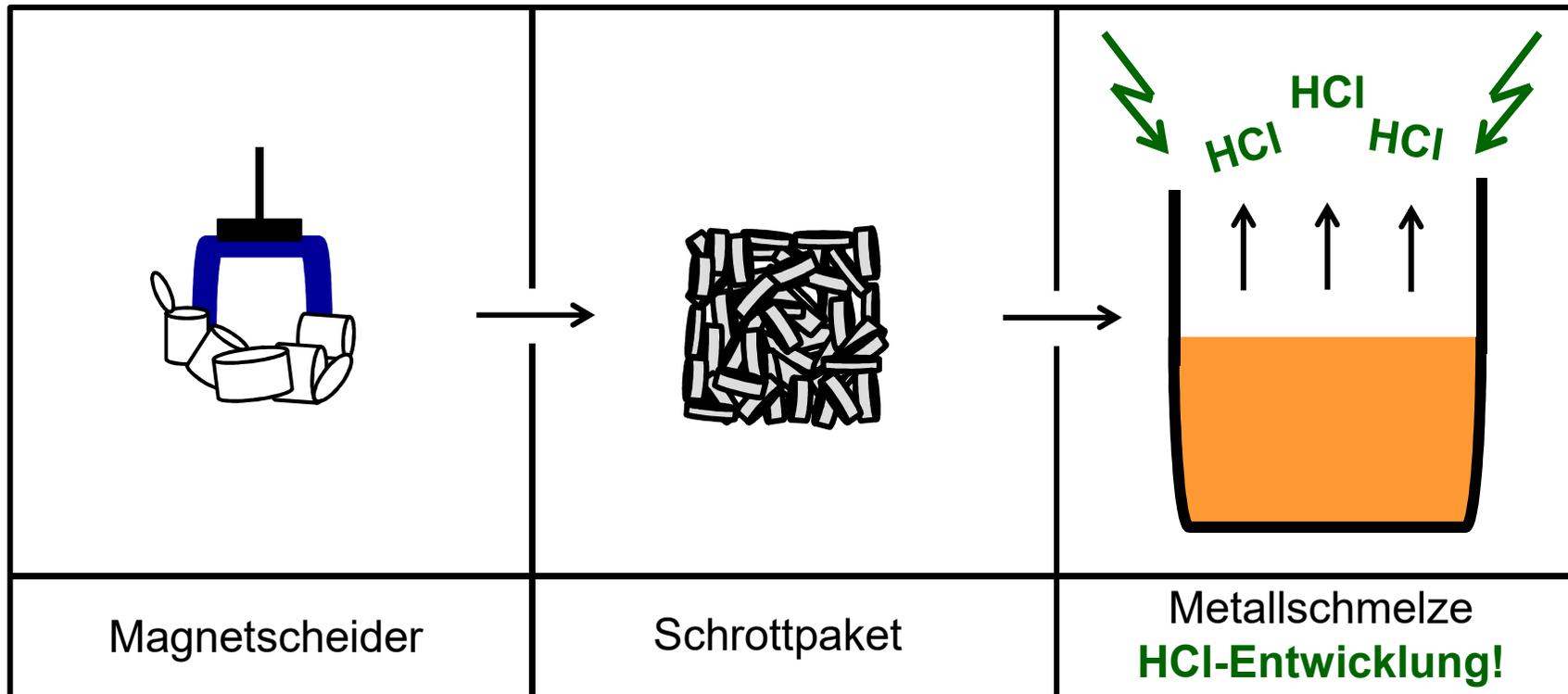
„Interpenetrating Networks“ nach dem Einbrennen
von zähelastischen, tiefziehfähigen Lackfilmen (Schema).



„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

Beim Recycling einer PVC-beschichteten Dose: **HCl-Freisetzung!**

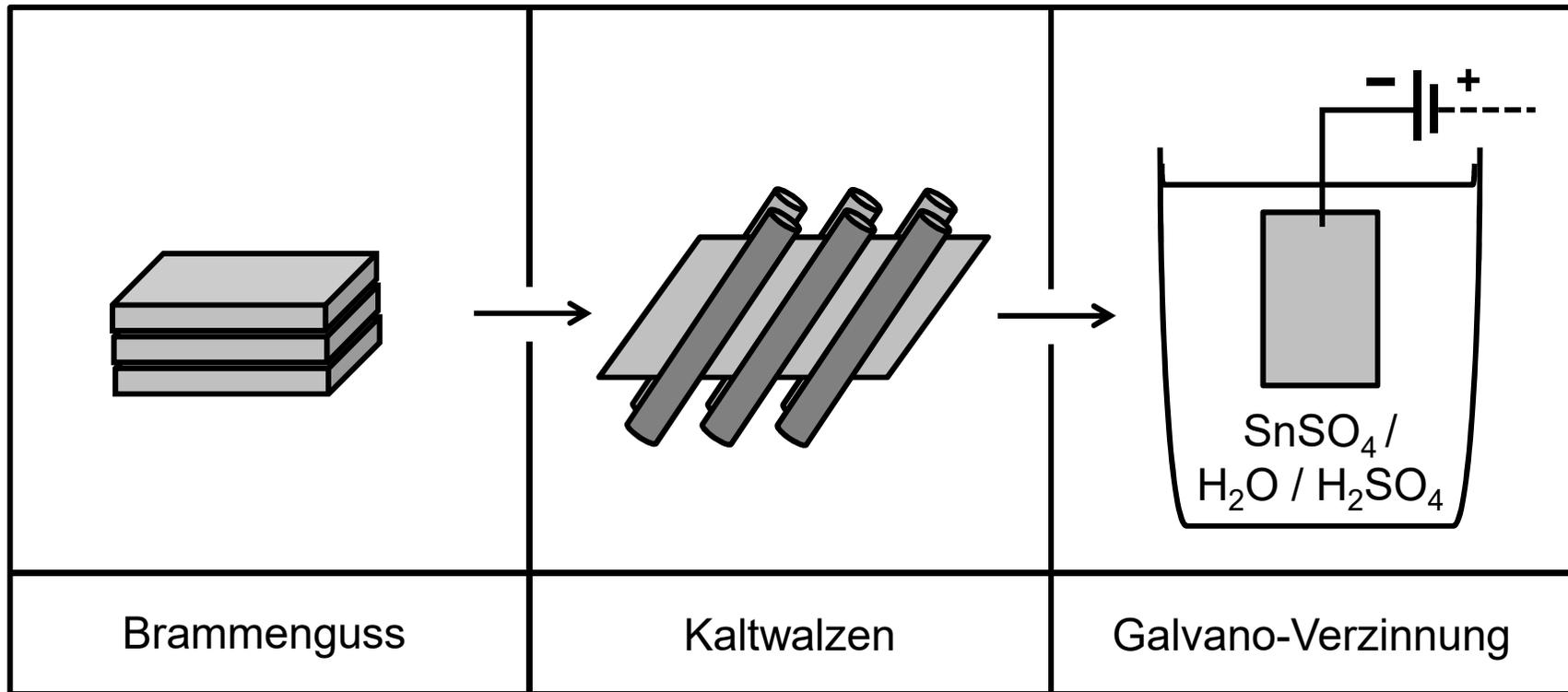
1. Magnetscheider	2. Schrottpaket	3. Metallschmelze
4. Brammen-Guss	5. Kaltwalzen	6. Galvano-Verzinnung
Recyclingquote beim Weißblech in Deutschland: 93%		



„Umformstabile „NAD-Goldlackierung“ ... von Konservendosen“

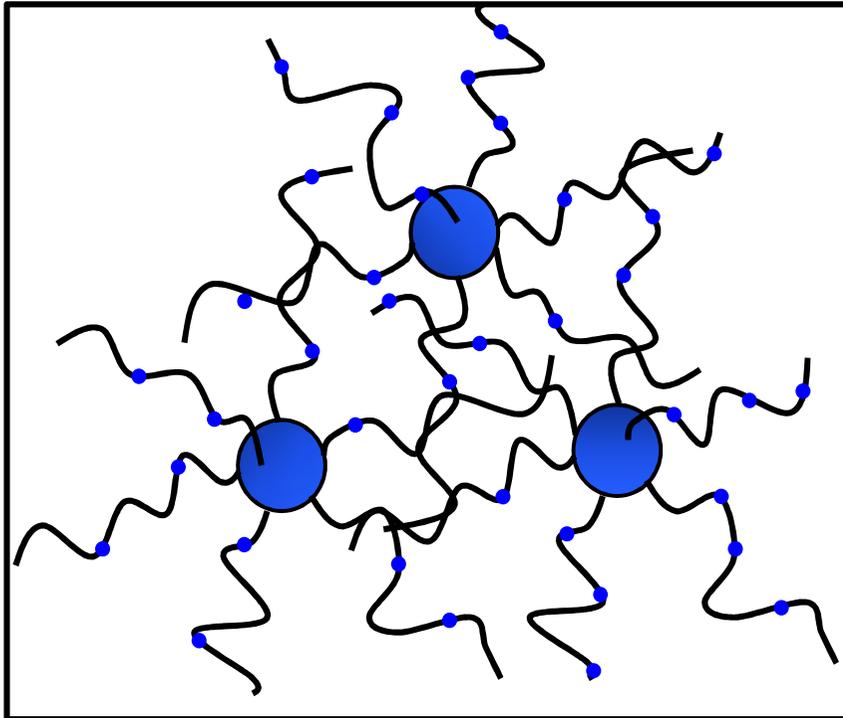
Beim Recycling einer PVC-beschichteten Dose: **HCl-Freisetzung!**

1. Magnetscheider	2. Schrottpaket	3. Metallschmelze
4. Brammen-Guss	5. Kaltwalzen	6. Galvano-Verzinnung
Recyclingquote beim Weißblech in Deutschland: 93%		



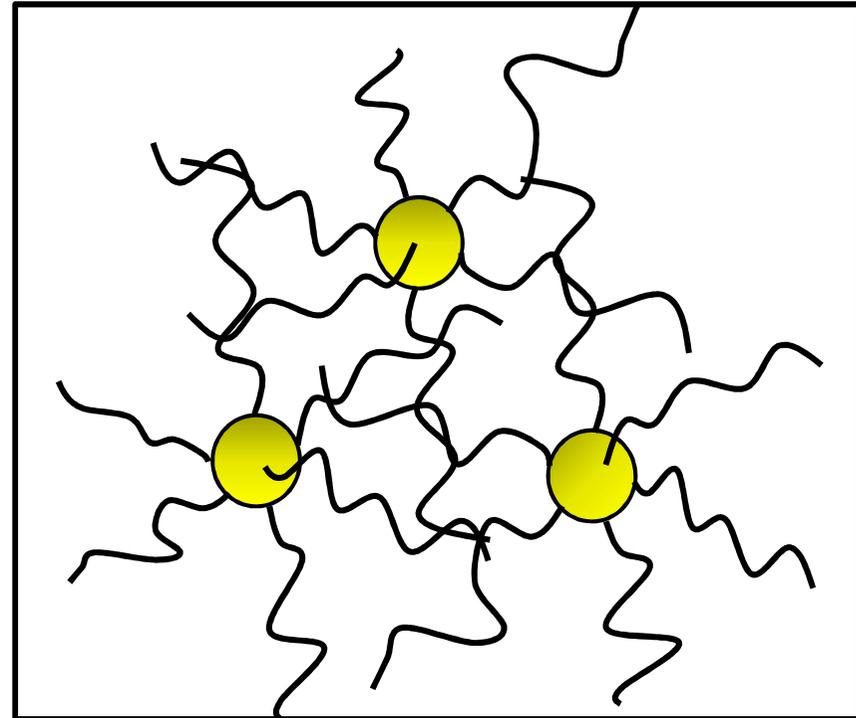
„Umformstabile „Goldlackierung“ ...für Konservendosen“

Aqueous/Nonaqueous Dispersions, Strukturen.



AD: Aqueous Dispersion

- Hydrophiles Strukturelement
Polare + sterische Stabilisierung

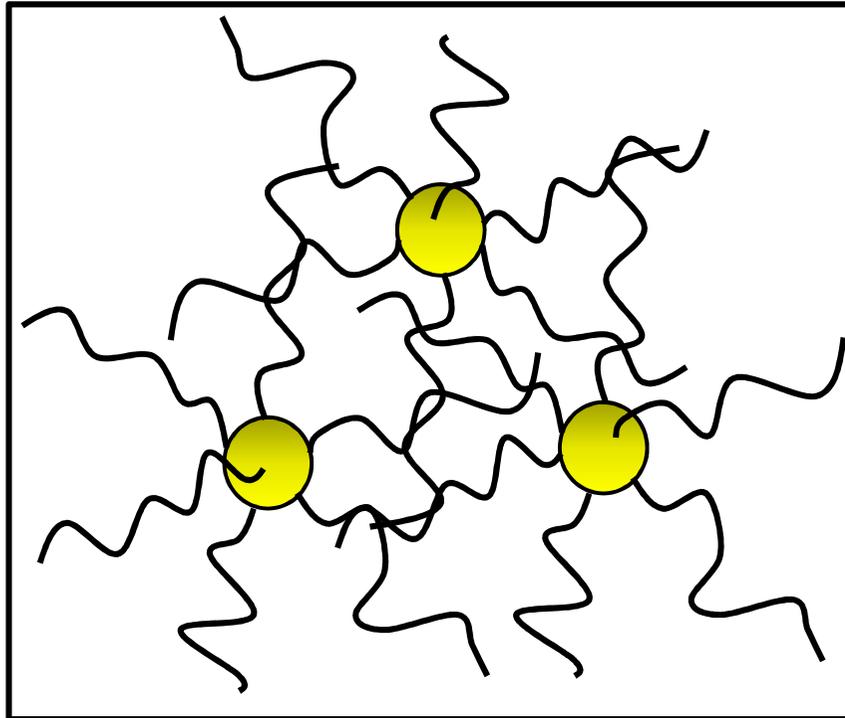


NAD: Non Aqueous Dispersion

Unpolare Gruppen:
Rein sterische Stabilisierung

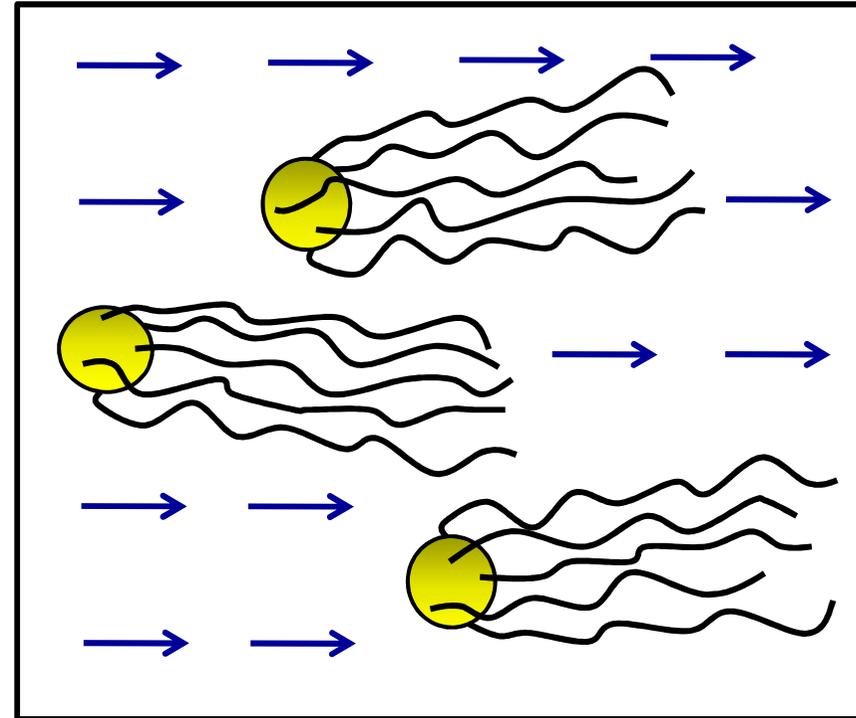
„Umformstabile „Goldlackierung“ ...für Konservendosen“

Thixotropie einer Non Aqueous Dispersion.



Gelartig und „standfest“

Geringes Schergefälle
Hohe Viskosität

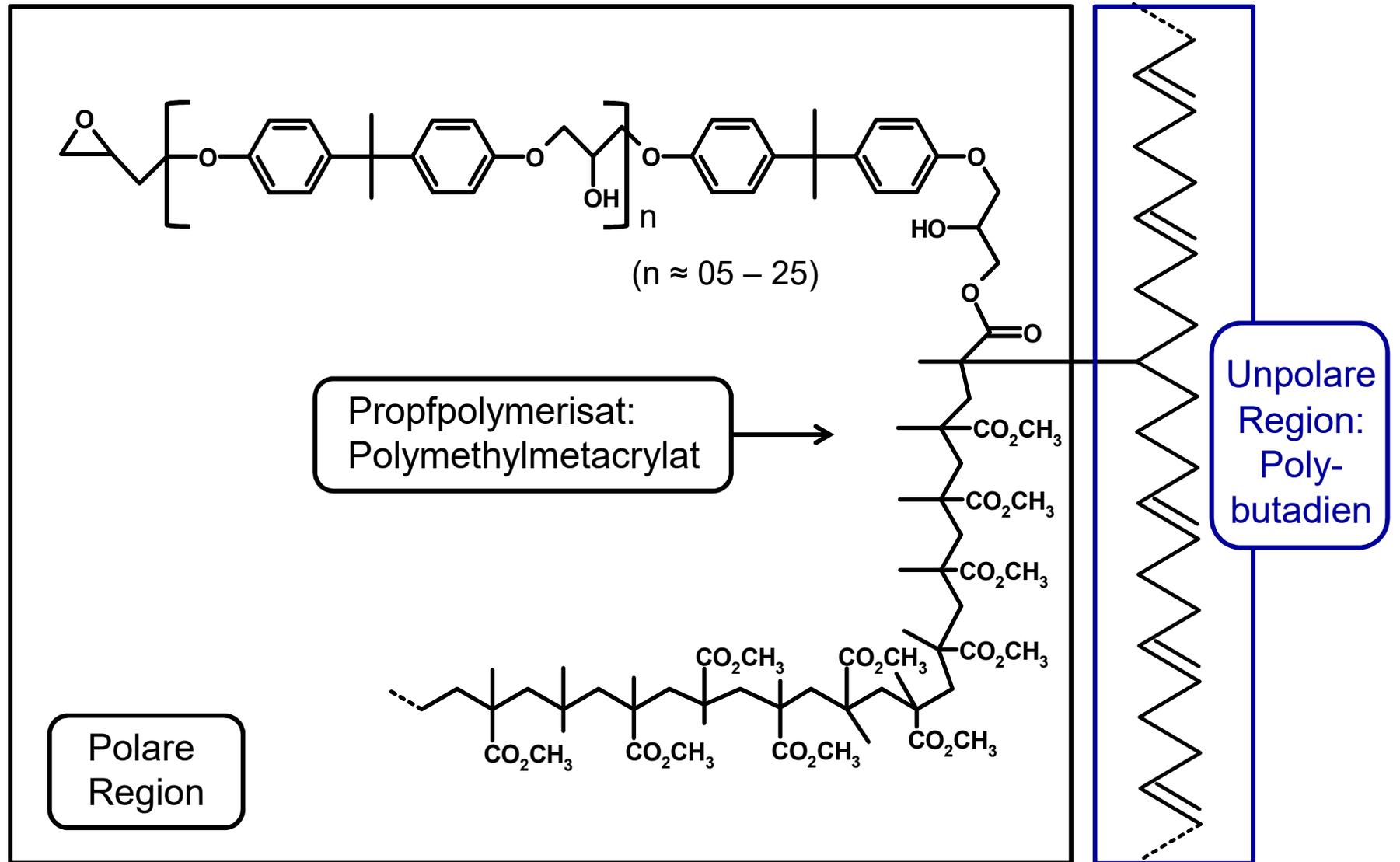


Dünnflüssig, gut applizierbar

Hohes Schergefälle
Niedrige Viskosität

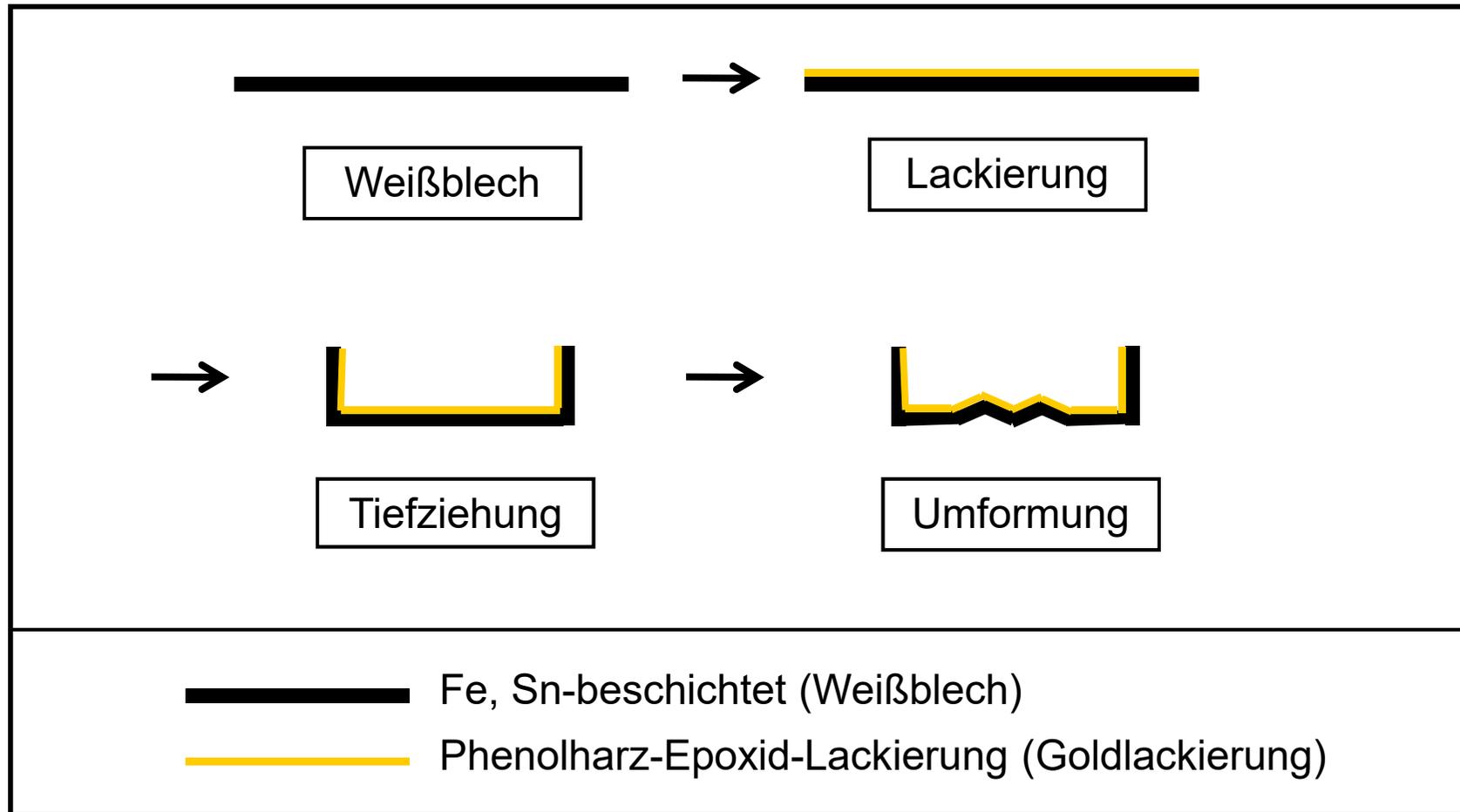
„Umformstabile „Goldlackierung“...für Konservendosen“

Epoxidharz – NAD, PVC-frei, PMMA-Pfropfaddukt (idealisiert).

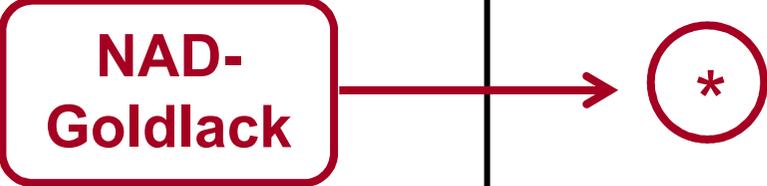


„Umformstabile „Goldlackierung“ ...für Konservendosen“

Tiefziehen und Umformen von lackiertem Weißblech für Konservendosen.



„NAD-Goldlackierung“ zur Beschichtung von Konservendosen

Nachfrage	stark	schwach
Konkurrenz		
stark	Massenmärkte	Schrumpfmärkte
		
schwach	Zukunftsmärkte	Nischenmärkte

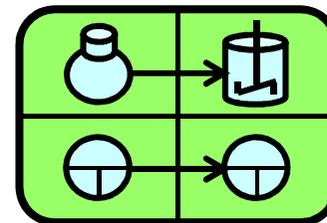


Leichte Tendenz in Richtung Schrumpfmärkte (Gesetzgebung).

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Patentschriften) zum Thema: „NAD-Goldlackierung“ zur Beschichtung von Konservendosen.

- K.-H.Scherping, J.Hölscher, U.Reichelt, U.Reiter, WO/1988/001287, BASF Lacke + Farben AG.
- A. Schmitz, L. Vogdanis, EP19970108416, BASF Coatings AG, 1997.
- M. Brahm, Polymerchemie kompakt, Hirzel, Stuttgart, Leipzig, 2016.
- Kittel, Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Band 2: W. Krauß: Bindemittel für lösemittelhaltige und lösemittelfreie Systeme, Hirzel, Stuttgart, Leipzig, 1998.
- A. Goldschmidt, H-J. Streitberger, BASF Handbuch Lackiertechnik, Vincentz, Hannover, 2014.
- S. Koltzenburg, M. Maskos, O. Nuyken, Polymere, Springer Spektrum, Heidelberg, 2014.
- B. Tieke, Makromolekulare Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
- M. D. Lechner, K. Gehrke, E. H. Nordmeier, Makromolekulare Chemie, Springer-Spektrum, Heidelberg, Berlin 2014.
- C. Wrana, Polymerphysik, Springer-Spektrum, Heidelberg, Berlin, 2014.
- B. Müller, U. Poth, Lackformulierung und Lackrezeptur, Vincentz, Hannover, 2017.
- T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke, Lehrbuch der Lacktechnologie, Vincentz, Hannover, 2017.
- P. F. W. Simon, A. Fahmi, Polymere - Chemie und Strukturen, Wiley-VCH, Weinheim, 2020.
- N. Kopytziok, Handbuch für die Umwelt- und Abfallberatung, Bundesverband für Umweltberatung, Würzburg, 2005.
- Praxishandbuch Korrosionsschutz: Vorsorgen – Behandeln – Konservieren. HFFI Verlag, Königswinter, 2014.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie

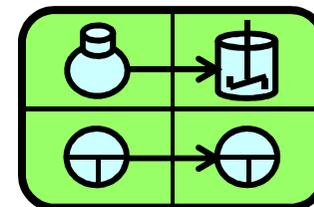


Zusatzmodul 03 für (Physiko)Chemiker (m/w/d)

Informationsmaterial zum Lerninhalt:
*Chemisch-Physikalische Grundlagen zur
die Lösung einer **Fallstudienaufgabe**.*

**N-Heterocyclische Verbindungen für
Organische Leuchtdioden, „OLEDs“.**

FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Lerninhalt
→

***Physikalisch-Chemische
Grundlagen (Fallstudie)***

***N-Heterocyclische Verbindungen für
Organische Leuchtdioden, „OLEDs“.***

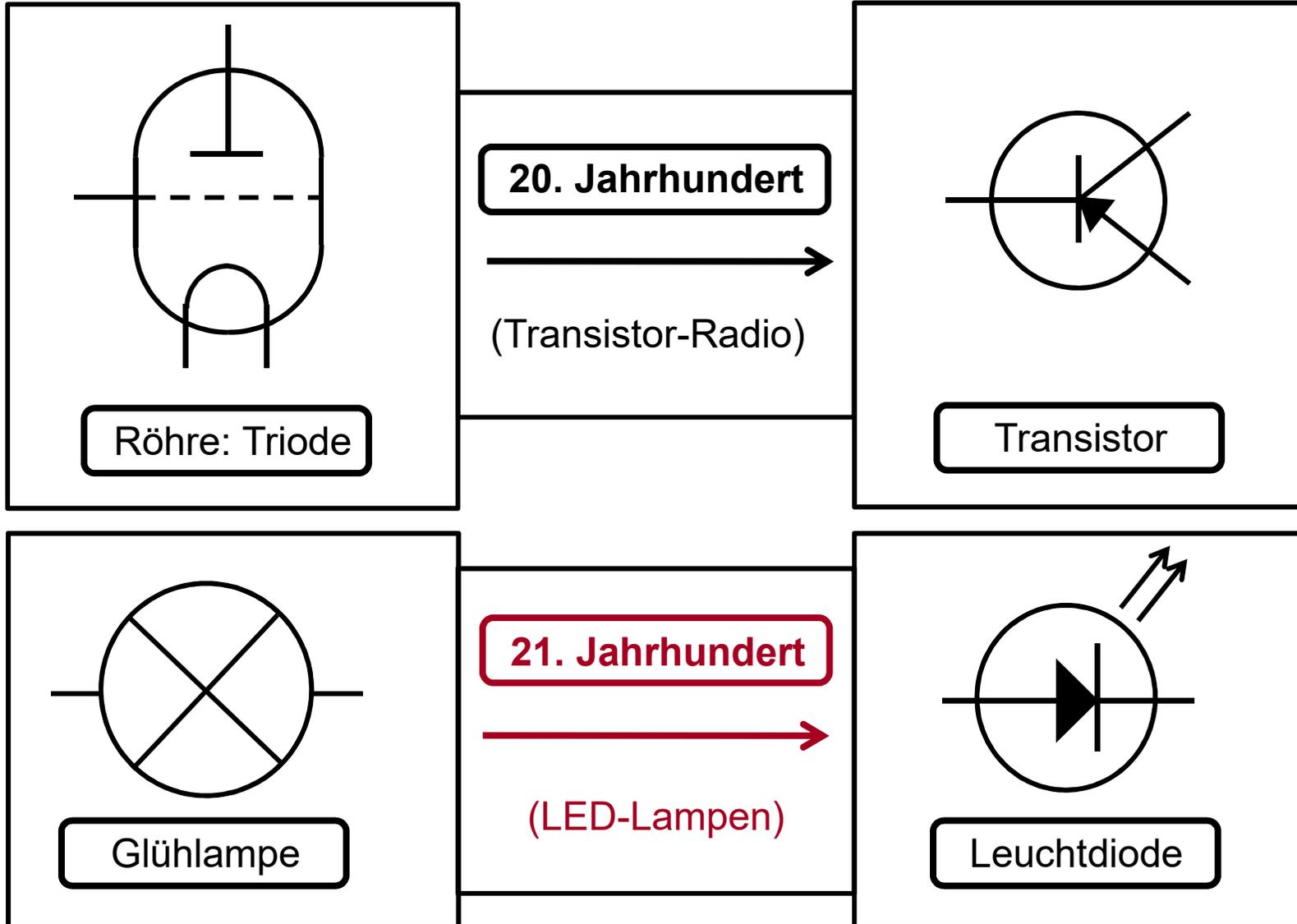
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Historie öffentlicher Leuchtmittel.

Jahr	Leuchtkörper	Material	Innovatoren
1805	Gaslampe	Erdgas	Englische Unternehmer
1854	Glühlampe	Verkohelter Bambusfaden	H. Goebel Hannover
1879	Glühlampe	Kohlefaden	T. A. Edison Menlo Park
1889	Glühlampe	Metallfaden Os / W	Auer von Welsbach Wien, Berlin
1926	Leuchtstoffröhre	Hg / ZnS	E. Germer, Berlin G.E. kauft das Patent
1961	Anorganische Leuchtdiode	GaN	N. Holonyak General Electric
1986	Organische Leuchtdiode	Aluminium-Oxinat	Ching W. Tang Eastman-Kodak

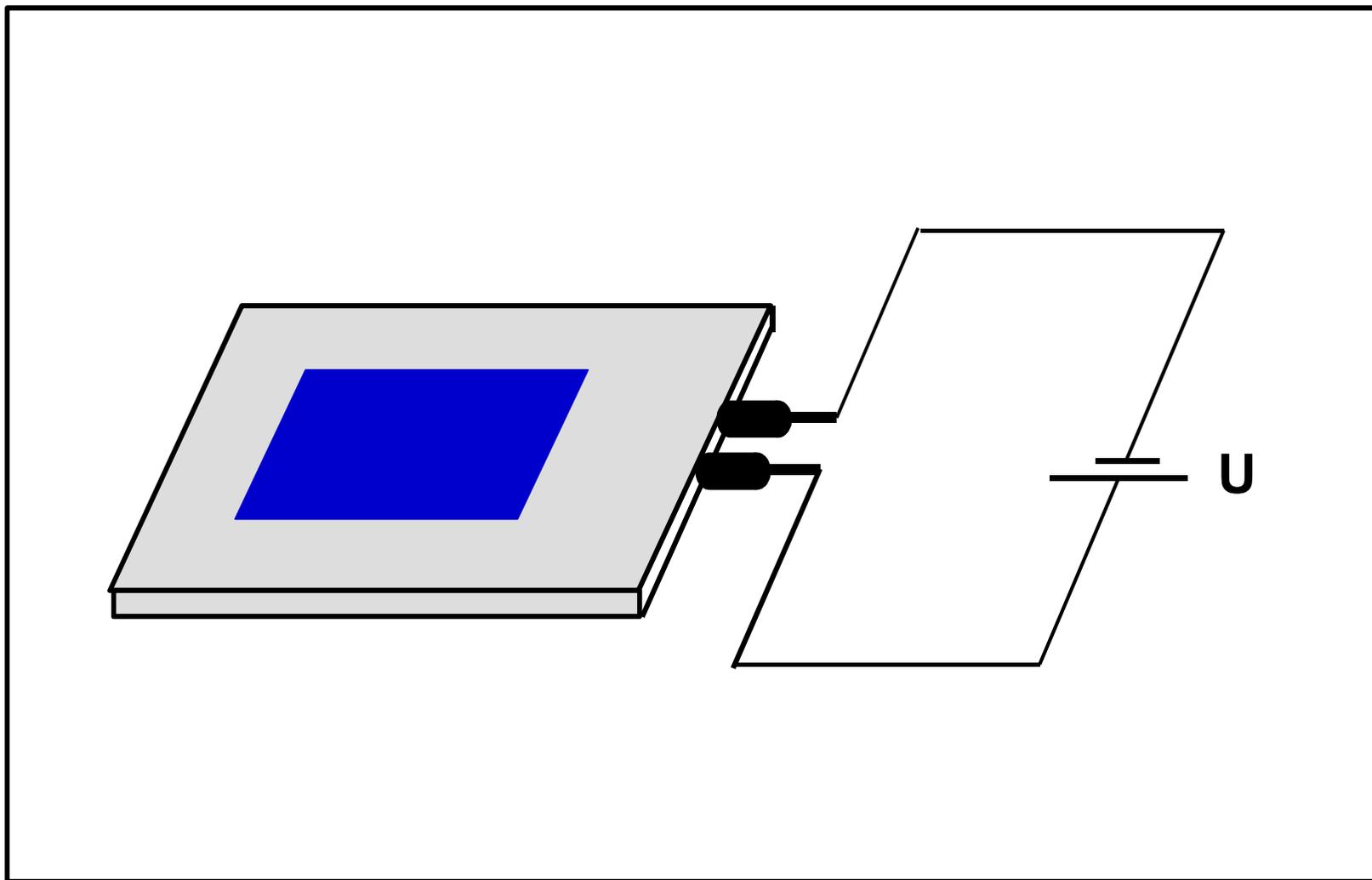
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Die „Lichtrevolution“ im 21. Jahrhundert.



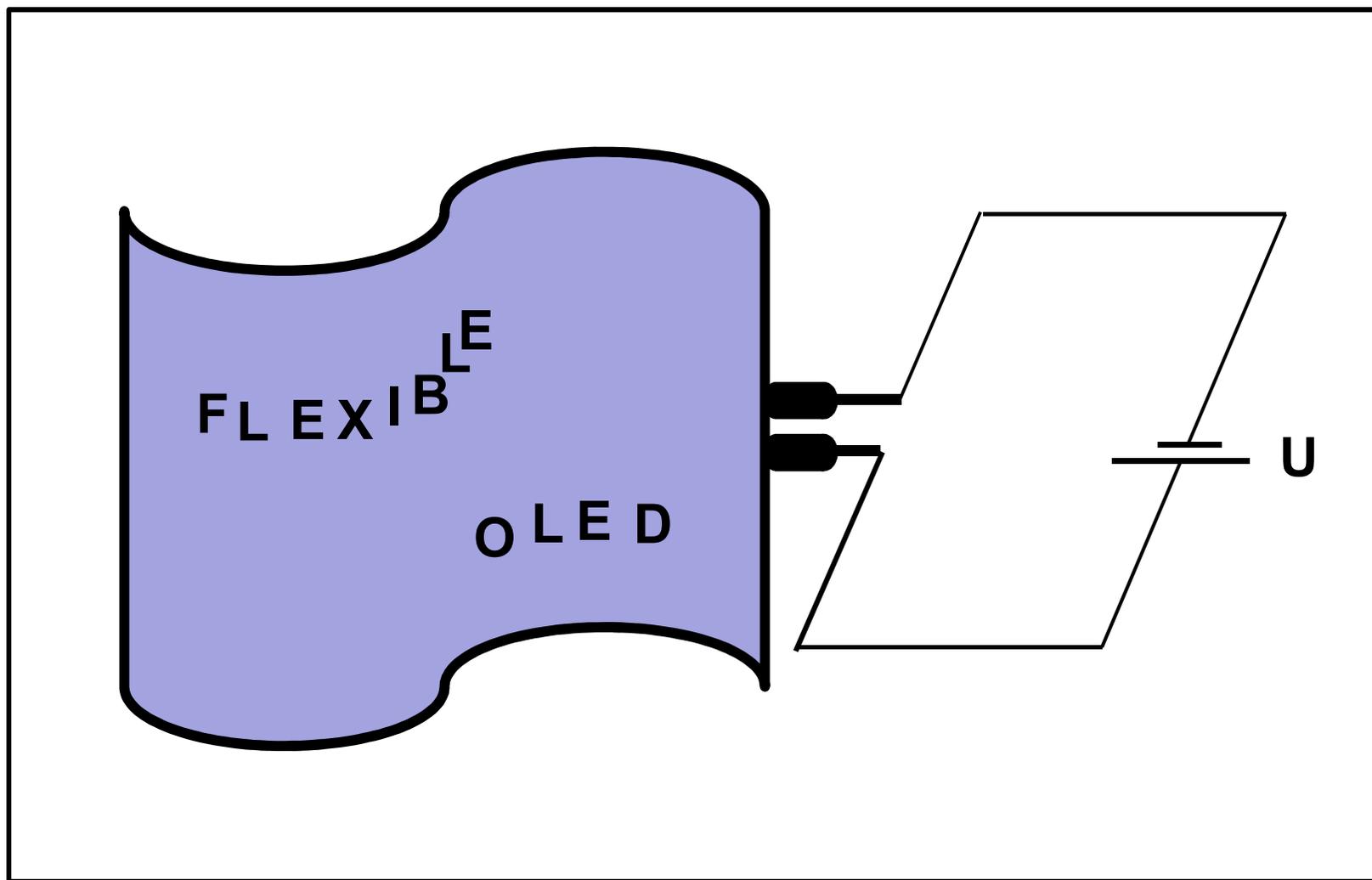
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Organic Light Emitting Diode (Blue Emitter), Skizze.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Flexible OLED auf Polymerträger, Skizze.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Vorteile von organischen Leuchtdioden:

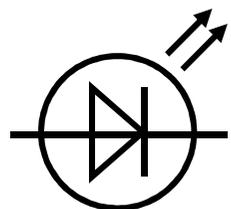
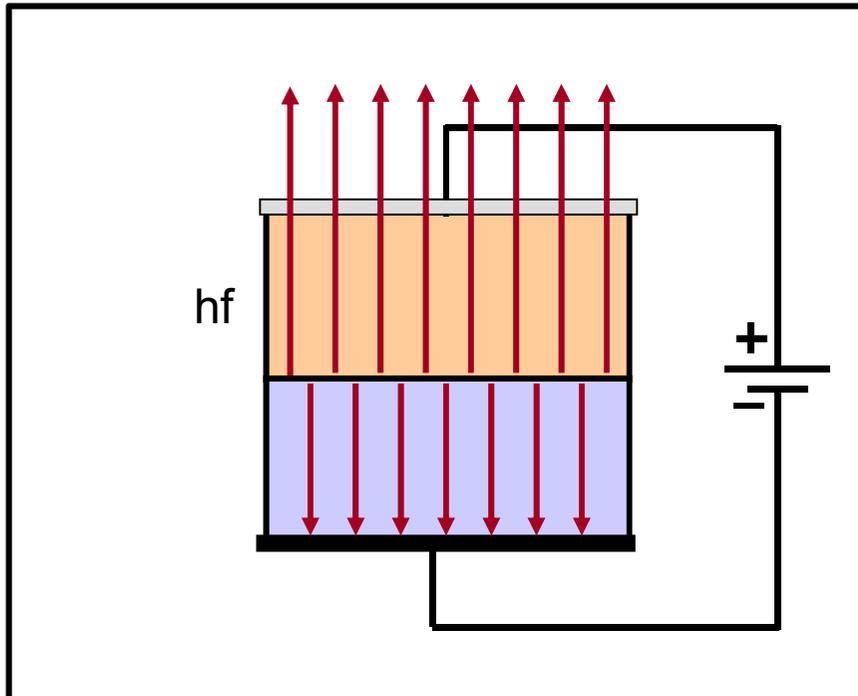
- Flächig diffuse, blendfreie Lichtquelle mit hoher Einsatzbreite.
- Großflächig aufbringbar, große Bildschirmabmessungen möglich.
- Hoher Kontrast (100:1), weiter Betrachtungswinkel.
- Geringer Stromverbrauch bei hoher Lichtausbeute (30 lm/W).
- Rasche Schaltreaktion, Eignung für Multimedia-Anwendungen.
- Leicht, dünn, flexibel (Ohne Trägermaterial).

Aktuelle Probleme mit organischen Leuchtdioden:

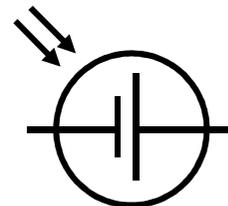
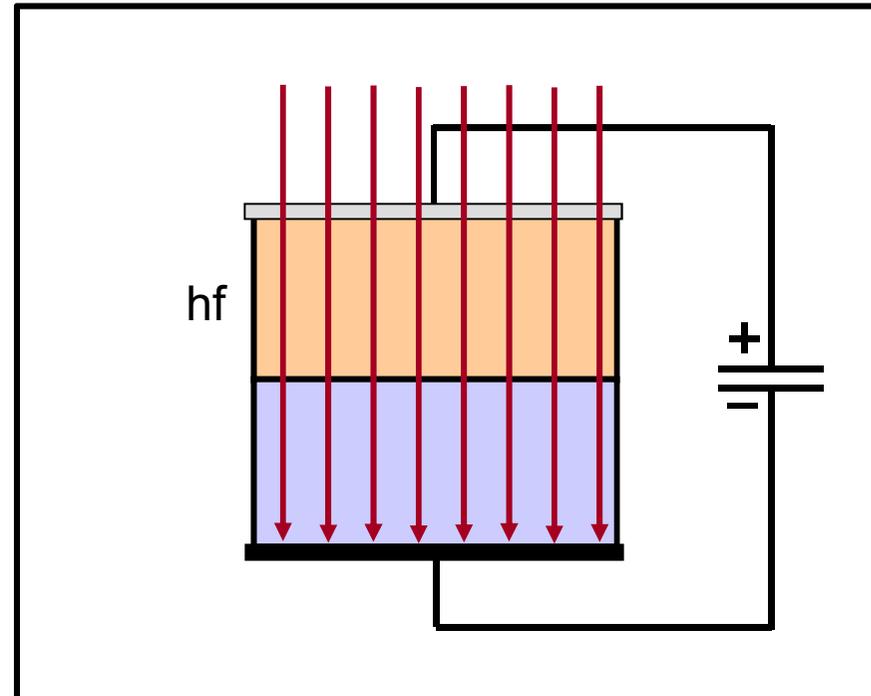
- Die Lebensdauer ist zu verbessern (> 100.000 h).
- Empfindlichkeit gegenüber Wasser und Sauerstoff.
- Zu hohe Gesamtdicke mit Trägermaterial: 1.8 mm.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Umgekehrtes physikalisches Funktionsprinzip zweier photoelektronischer Bauelemente.



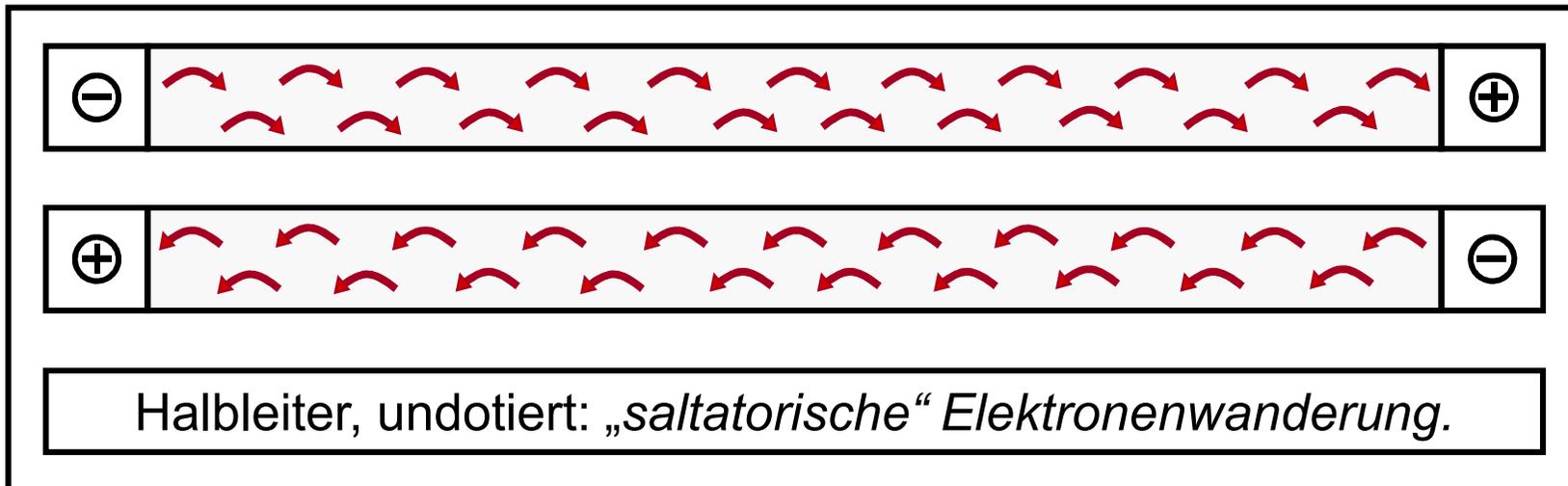
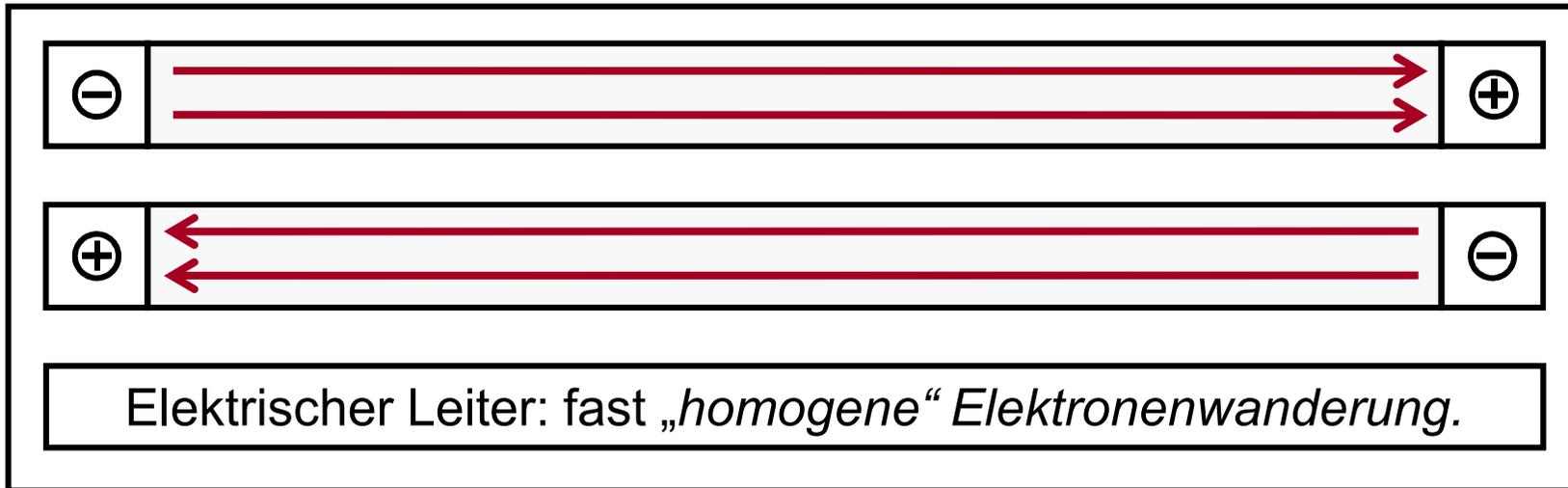
Leuchtdiode:
Lichtemission bei
Stromdurchfluss.



Fotозelle:
Stromerzeugung
bei Lichteinfall.

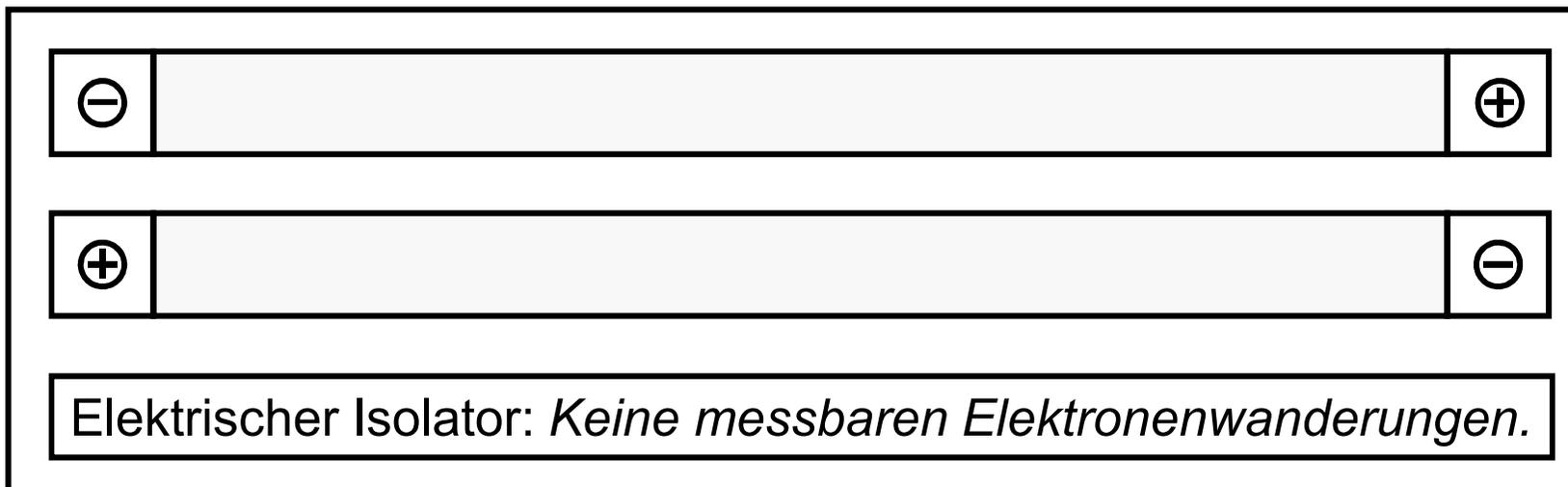
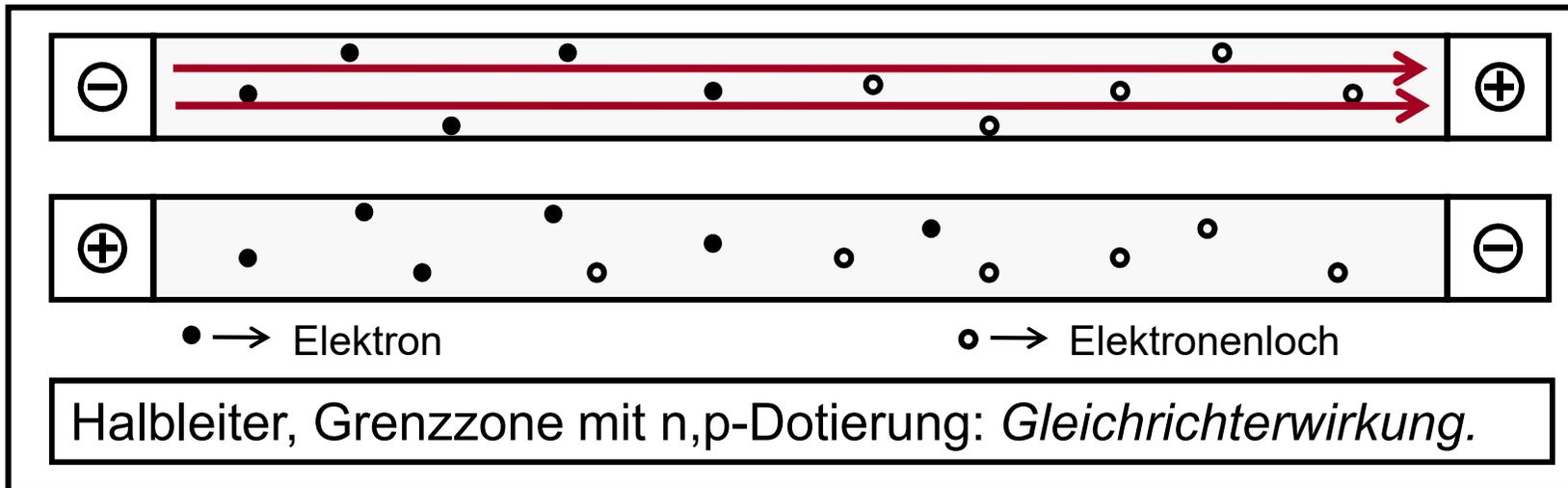
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektrische Leiter, Halbleiter und Isolatoren.



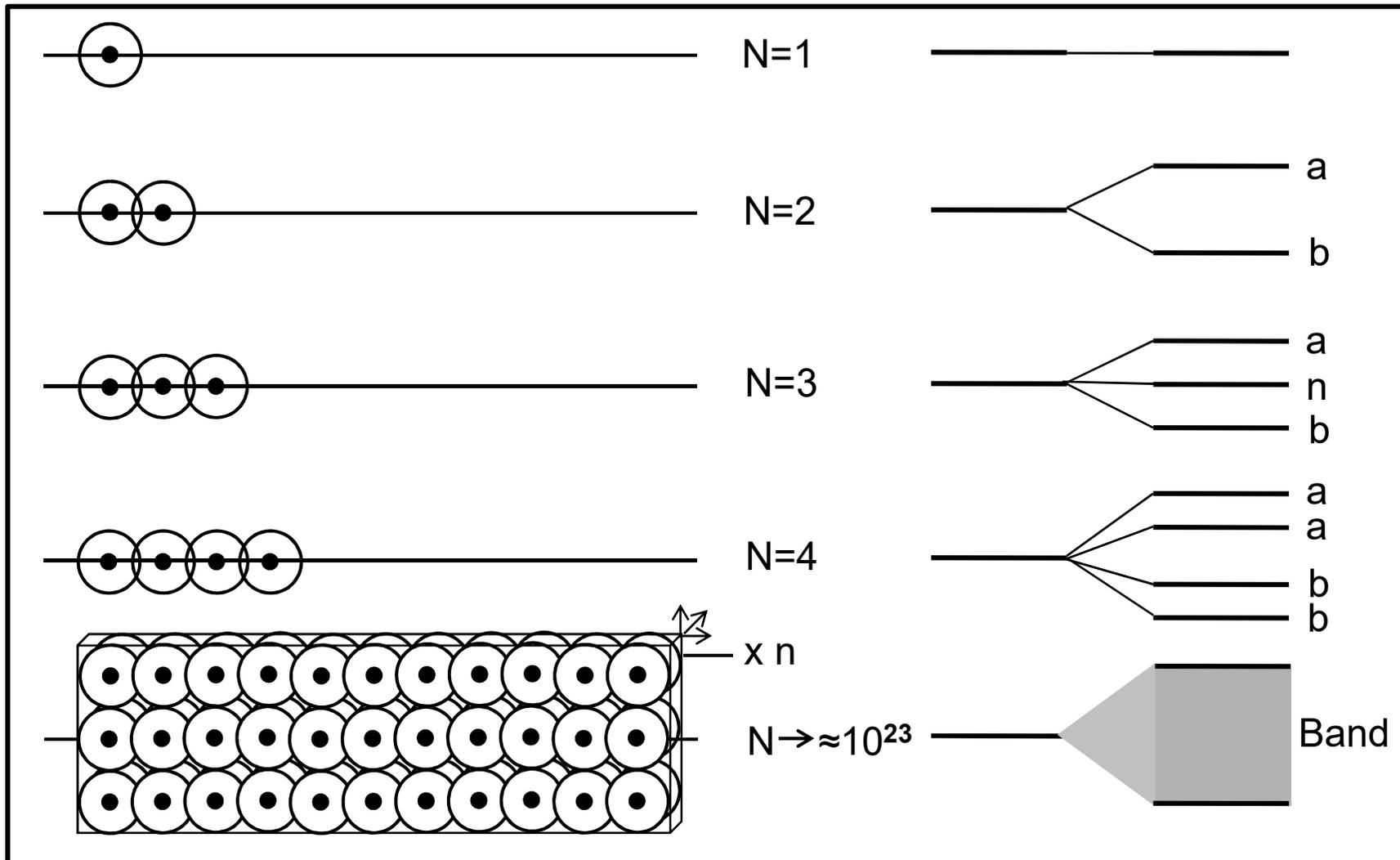
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektrische Leiter, Halbleiter und Isolatoren.



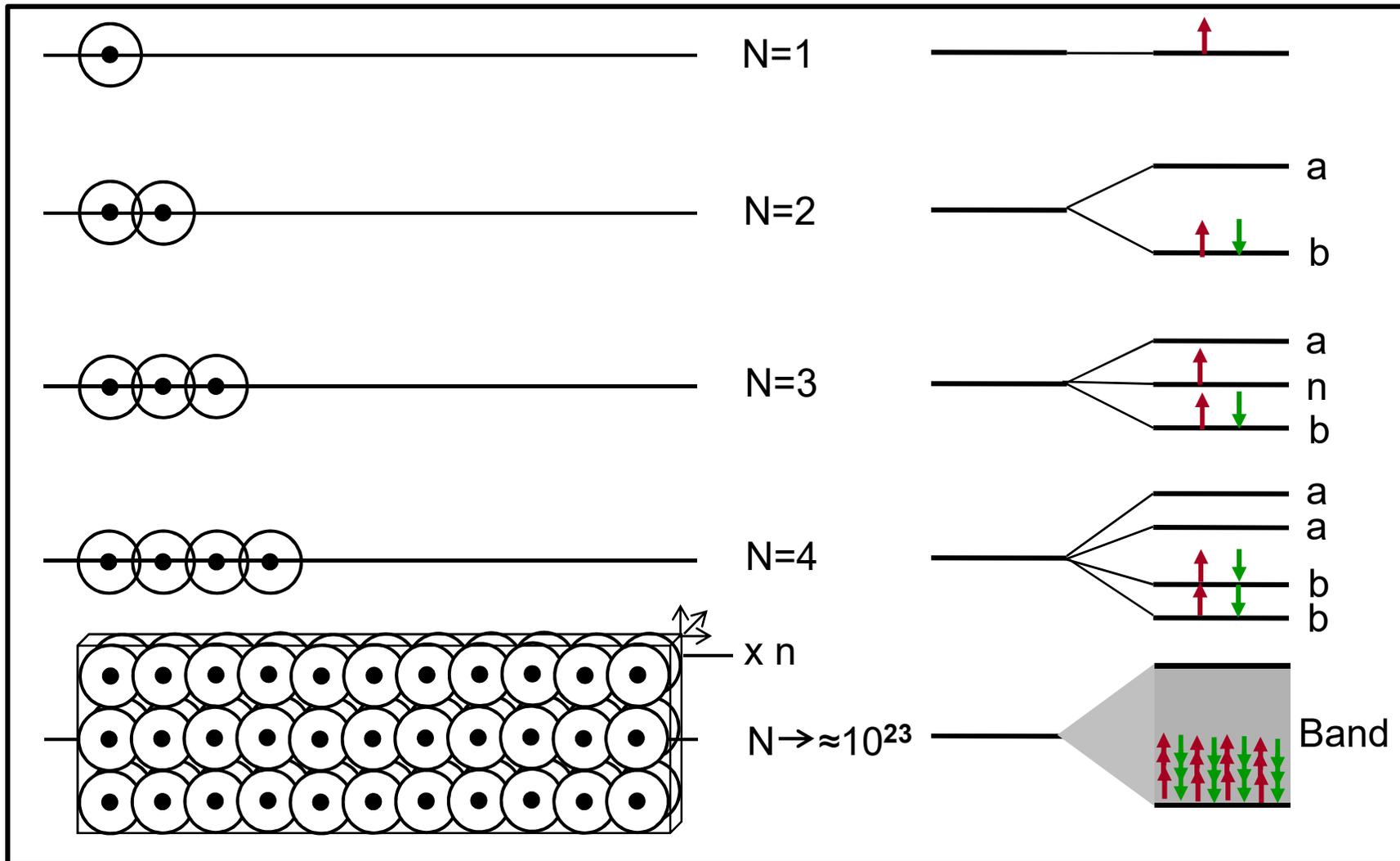
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektrische Eigenschaften von Festkörpern, Bändermodell bei periodischen Multiatom-Anordnungen (idealisiert).



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

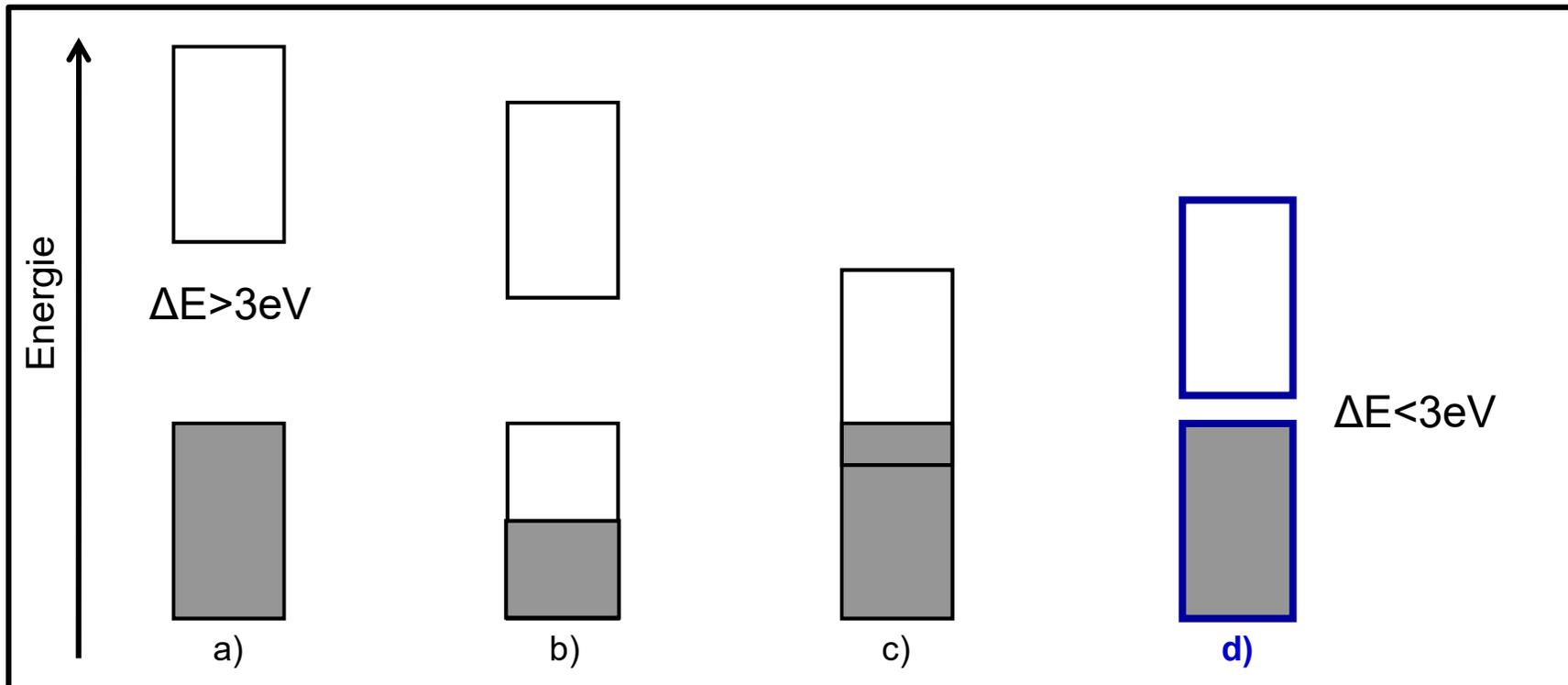
Elektrische Eigenschaften von Festkörpern, Bändermodell bei periodischen Multiatom-Anordnungen (idealisiert).



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektrische Eigenschaften von Festkörpern

Bändermodell bei Isolatoren, Metallen und Halbleitern.



a) Isolatoren

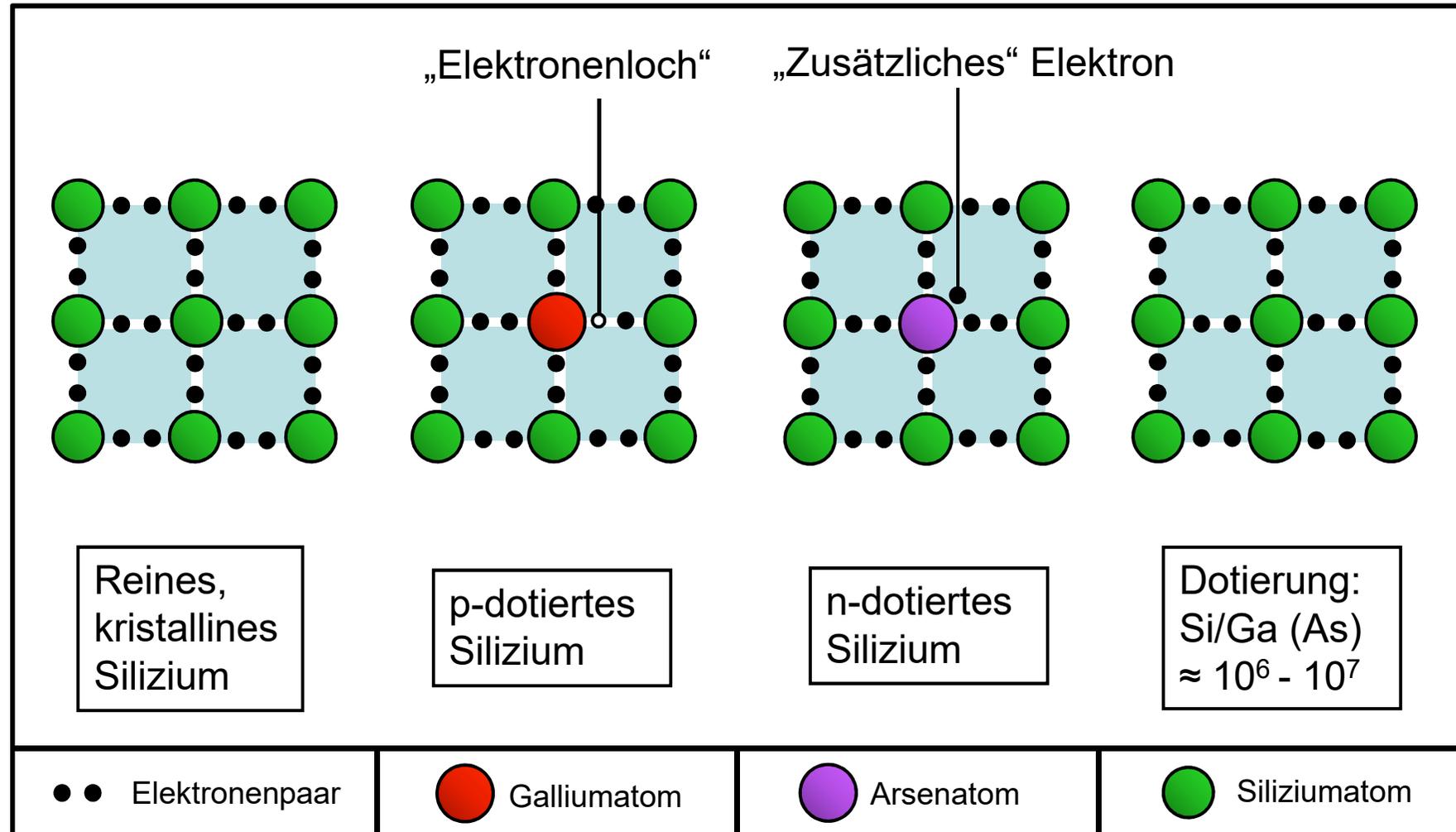
b) Metall mit nur teilweise besetztem unterem Band: z.B. Lithium (He) $2s^1$. $\rho \approx 10^{-2} \Omega \text{ mm}^2\text{m}^{-1}$.

c) Metall mit überlappendem besetztem und unbesetztem Band: z.B. Beryllium (He) $2s^2$.

d) Halbleiter. $\rho \approx 10^5 \Omega \text{ mm}^2\text{m}^{-1}$.

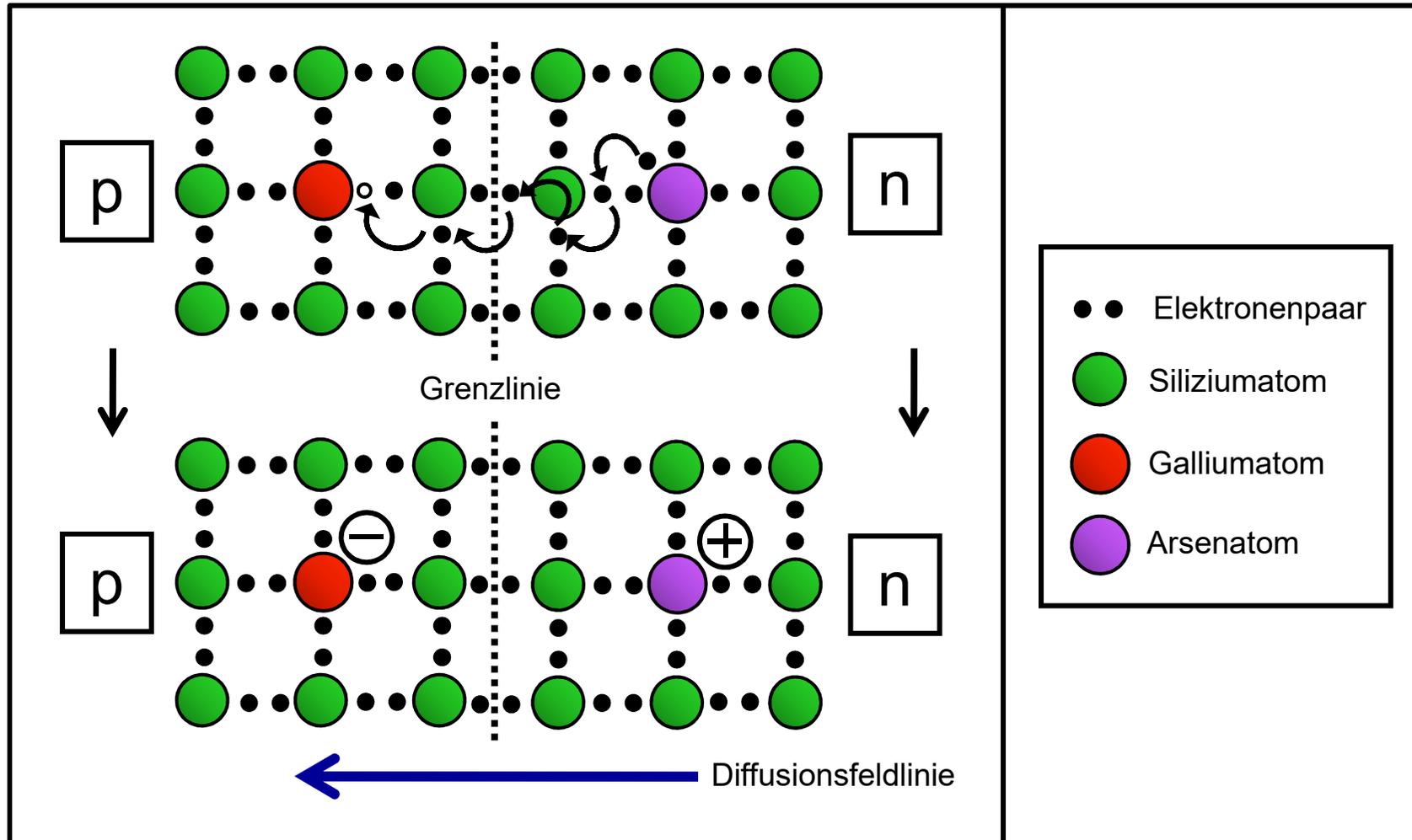
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

**Elektrische Eigenschaften halbleitender Festkörper
Mit „Fremdatomen“ dotierte Si-Halbleiter als Dioden-Materialien.**



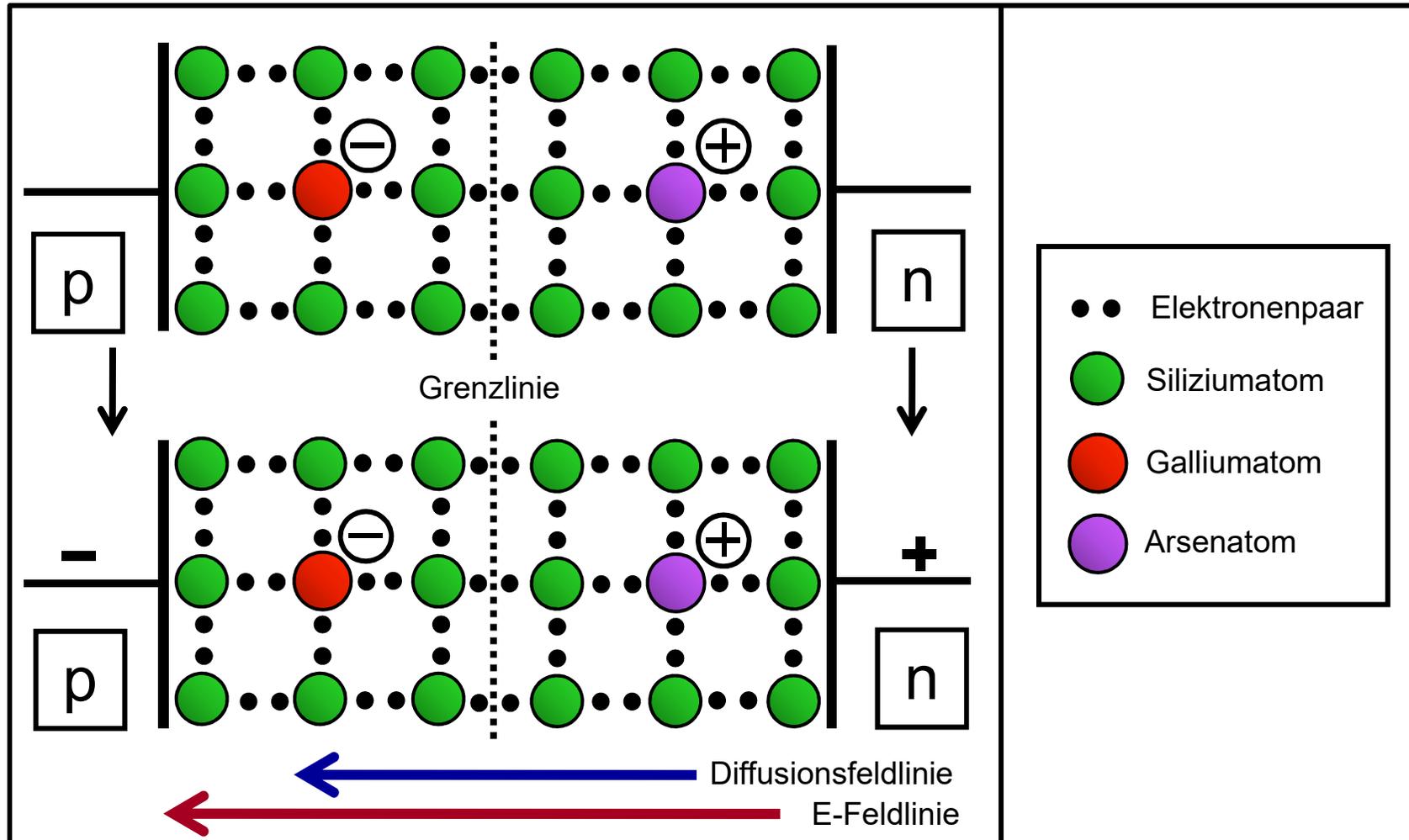
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronenwanderung an einem pn-Übergang: Diffusionsfeld durch spontan erfolgende elektrische Ladungstrennung.



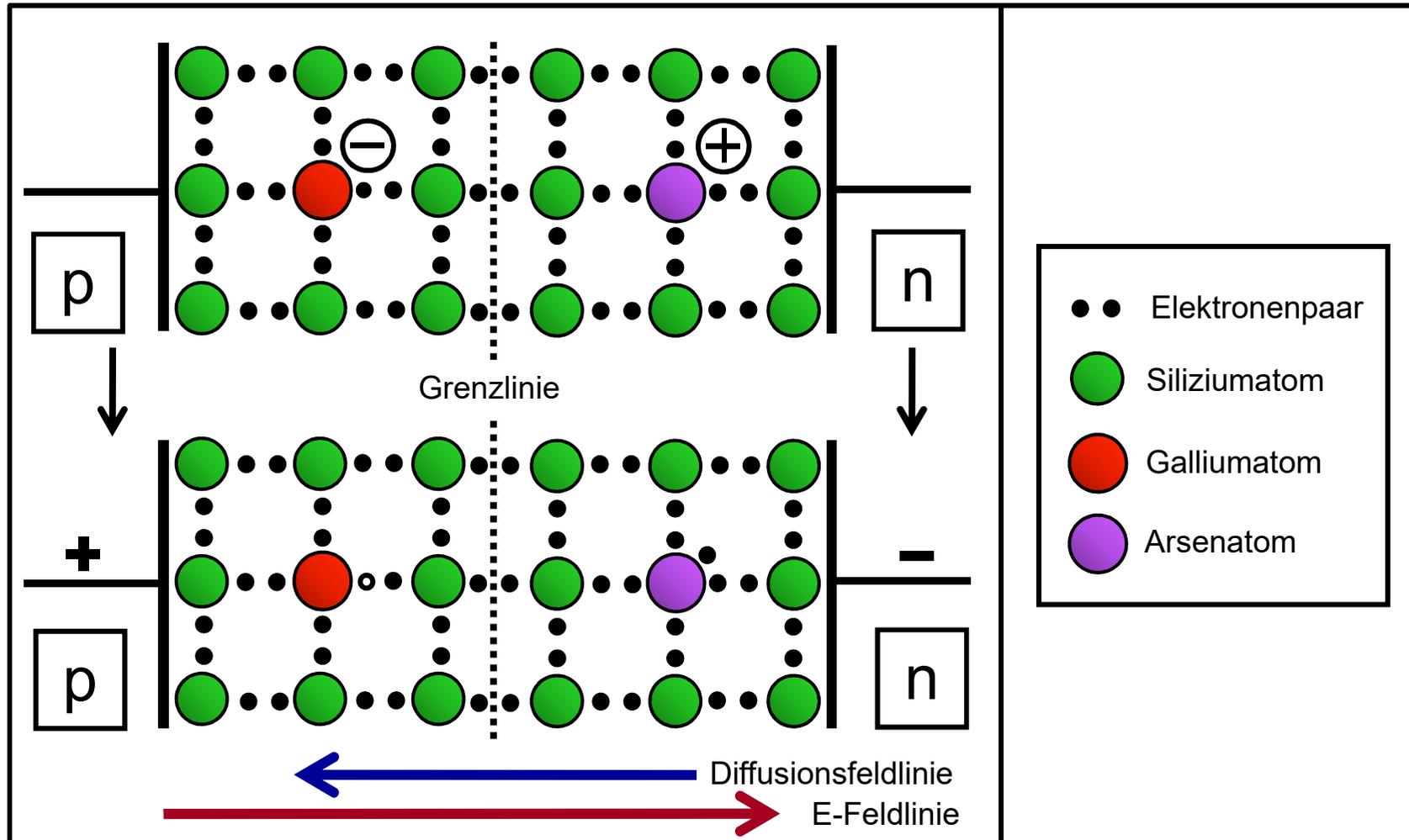
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

**Elektrische Spannung an einem pn-Übergang:
Sperrfall für den Strom durch Verstärkung des Diffusionsfeldes.**



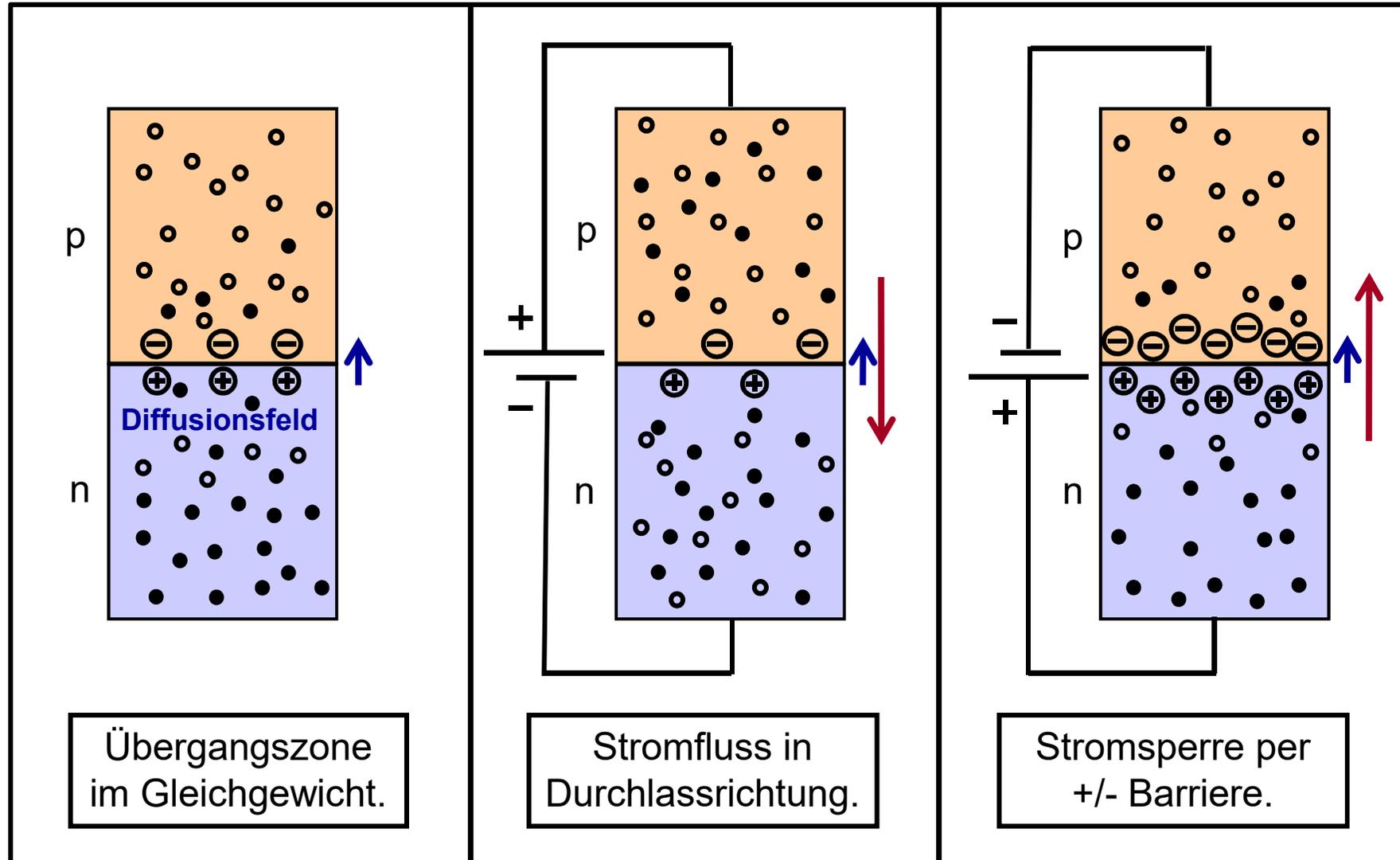
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

**Elektrische Spannung an einem pn-Übergang:
Stromfluss durch Überkompensation des Diffusionsfeldes.**



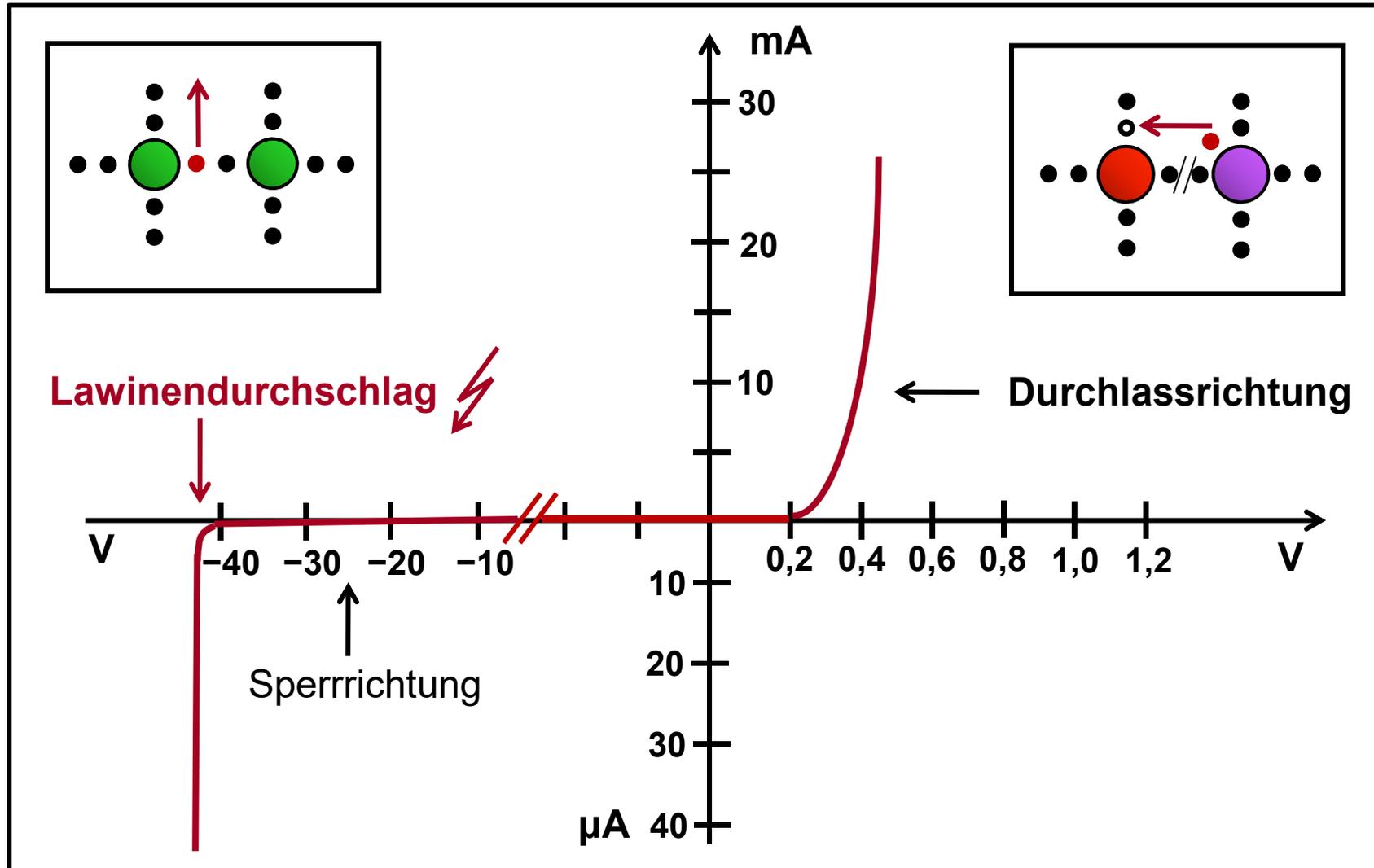
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Halbleiterdiode, Funktionsprinzip *Elektron:* • *Loch:* •



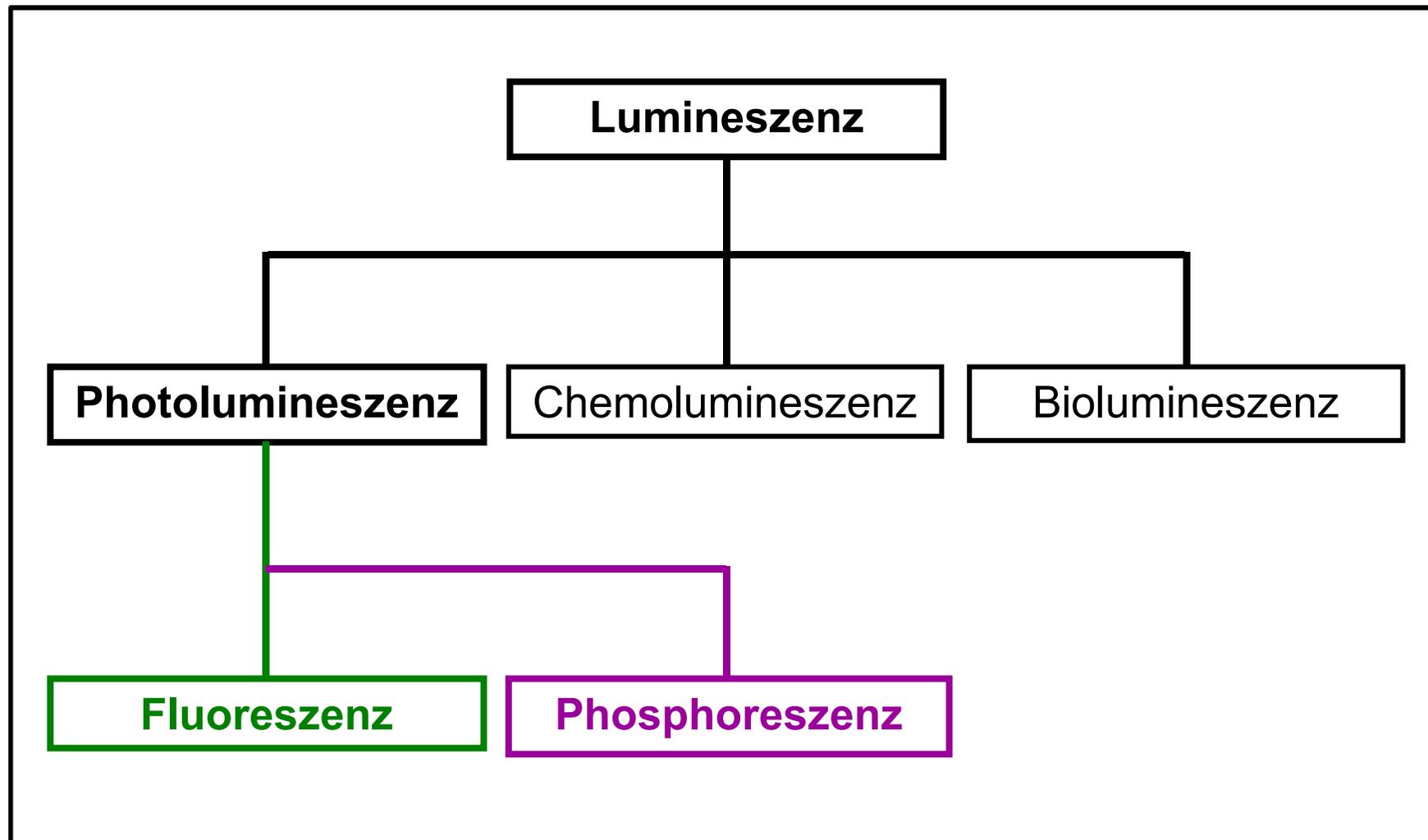
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Dioden-Kennlinie: Strom-Spannungskurve einer Diode.



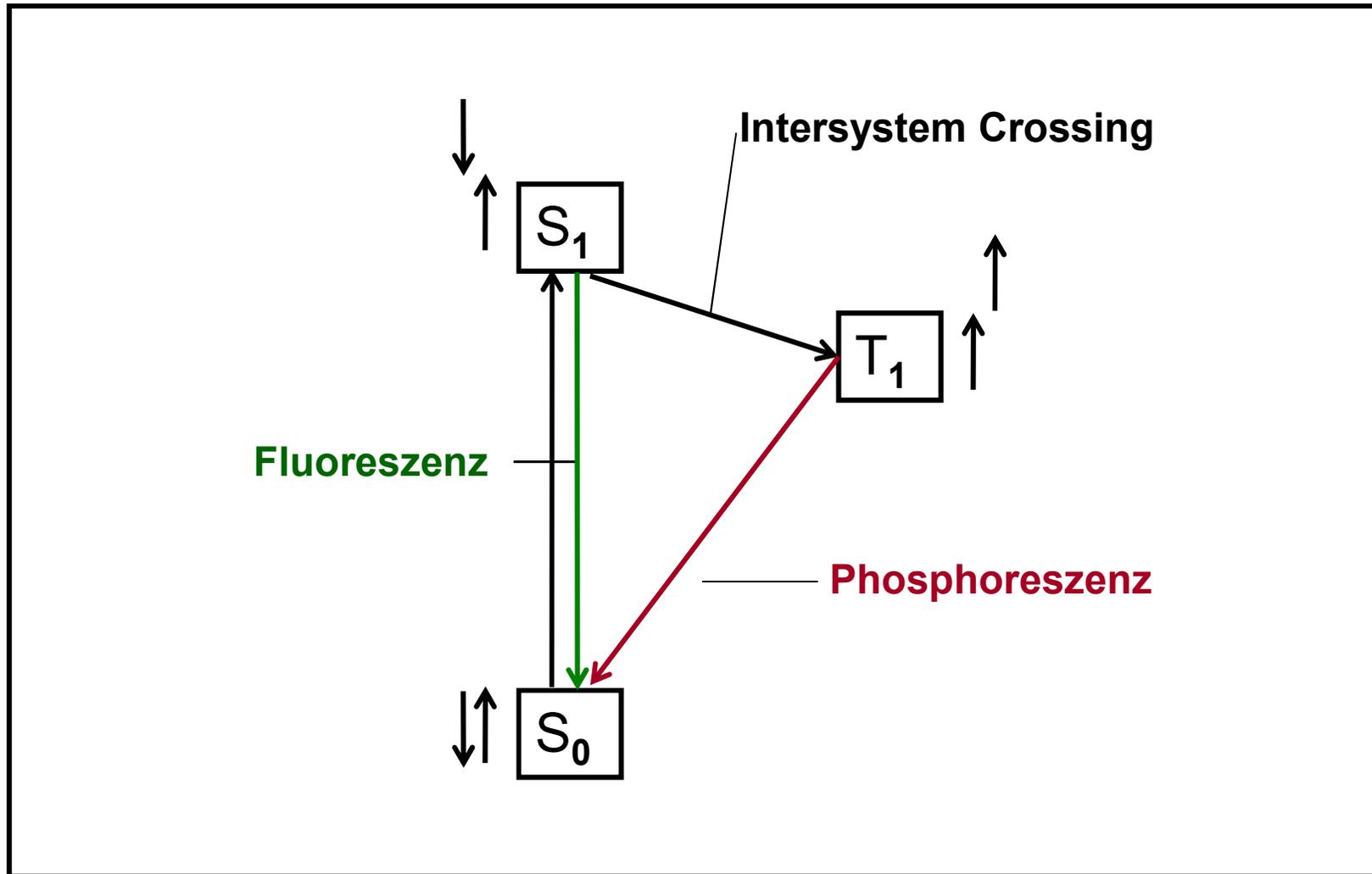
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Leuchterscheinungen von chemischen Substanzen.

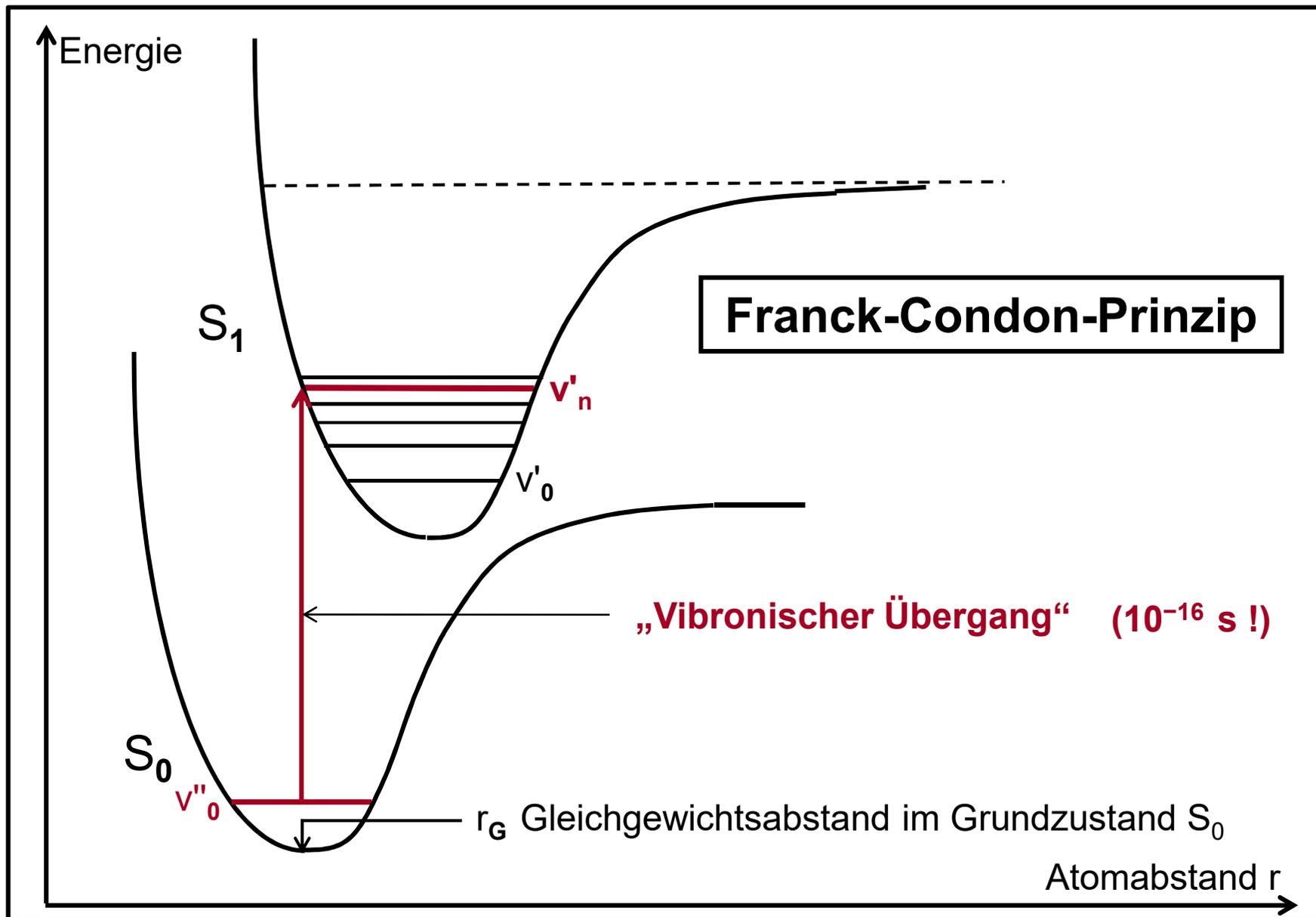


N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Fluoreszenz und Phosphoreszenz.

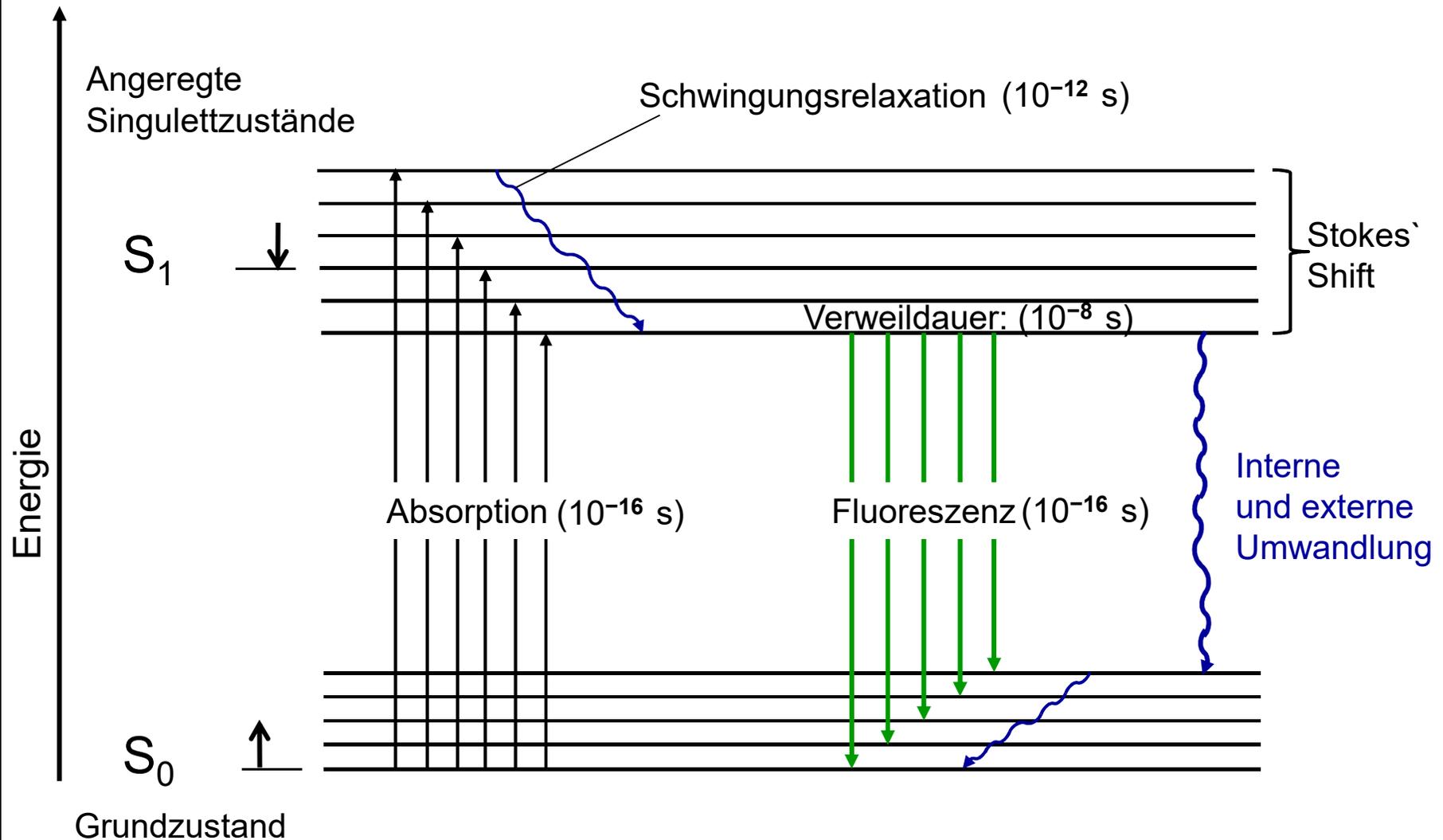


N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“



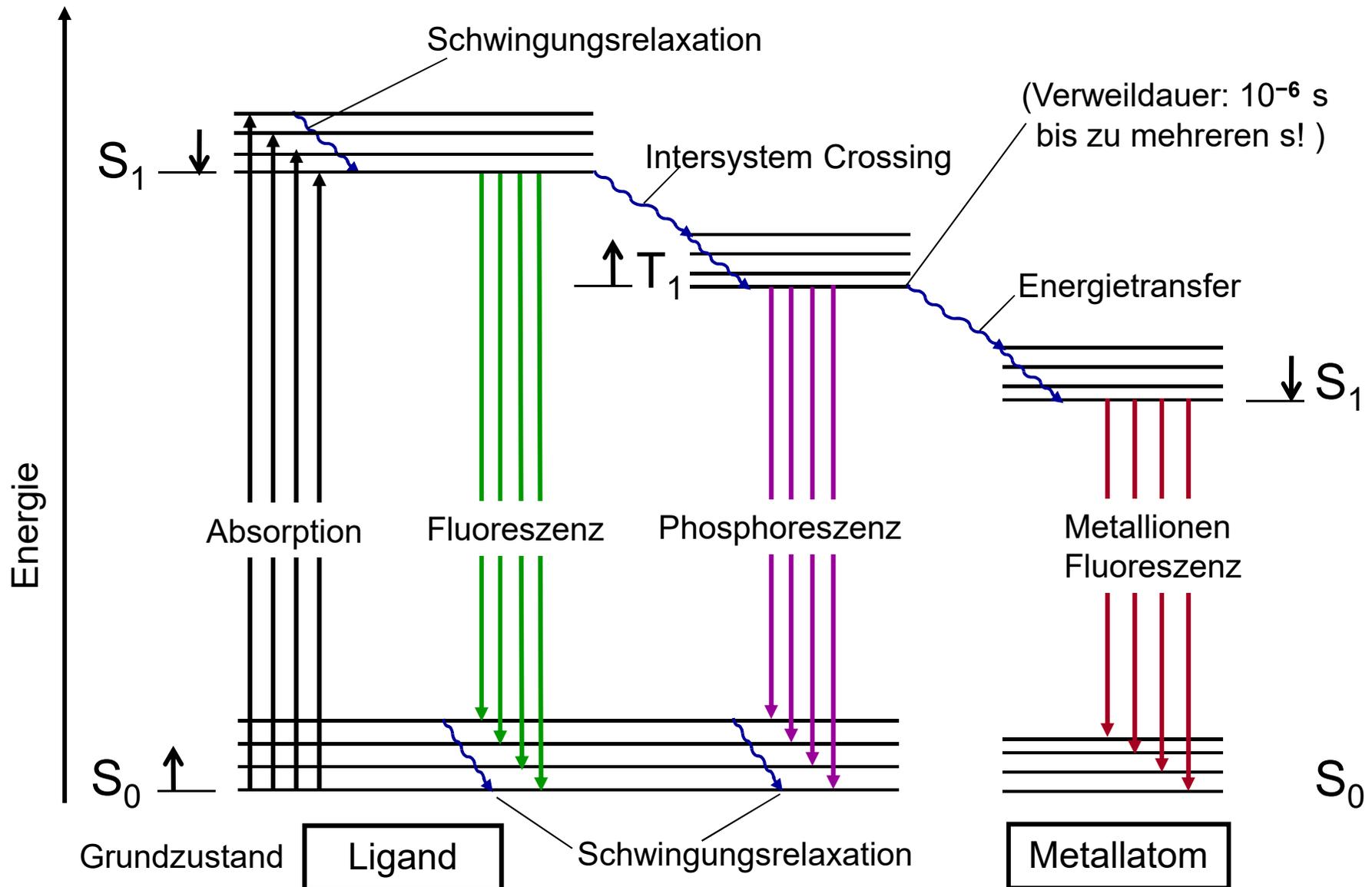
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Jablonski – Termschema für die Fluoreszenz.



Jablonski – Termschema

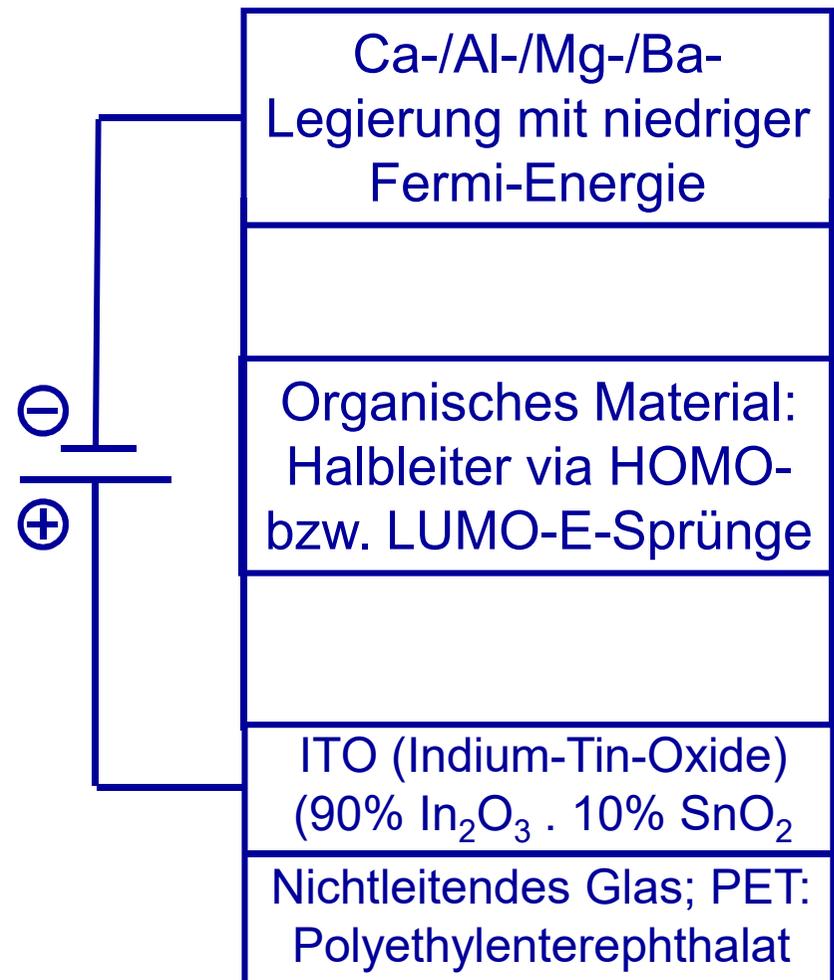
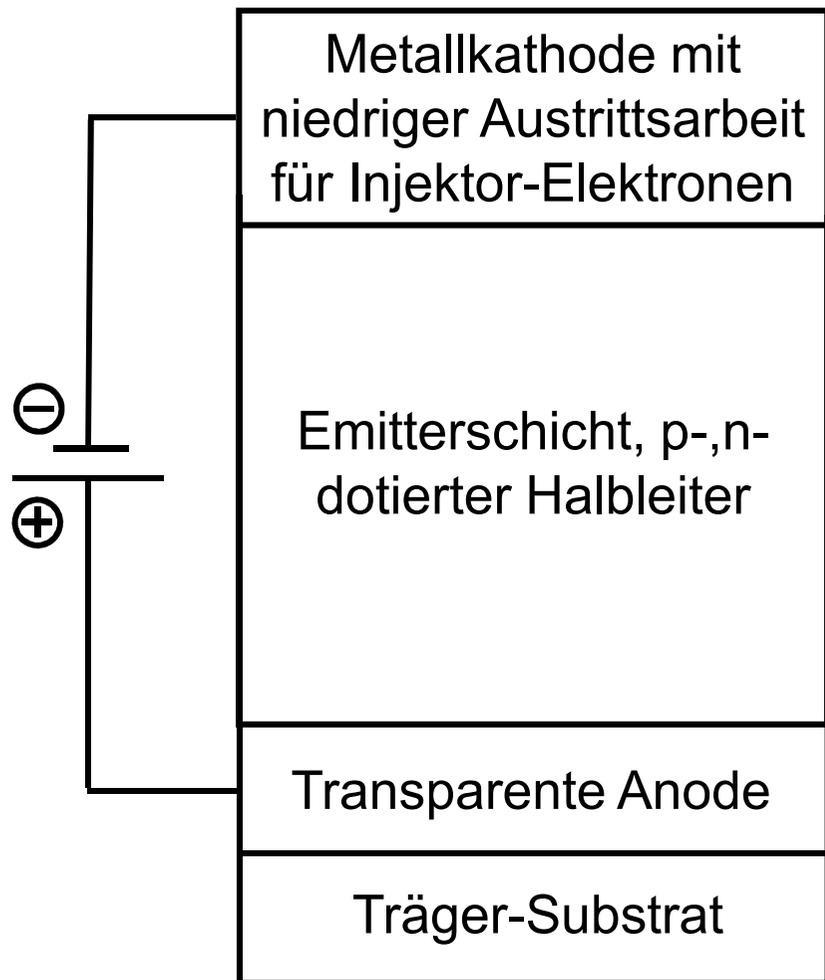
„Zeitverzögerte Fluoreszenz“ von Metall-Chelaten.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

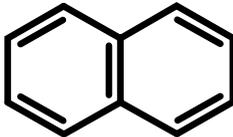
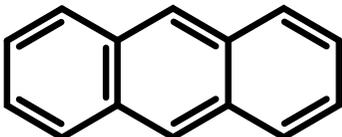
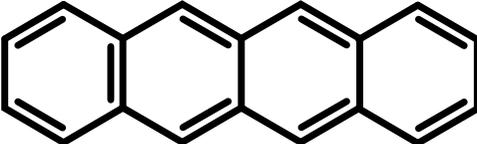
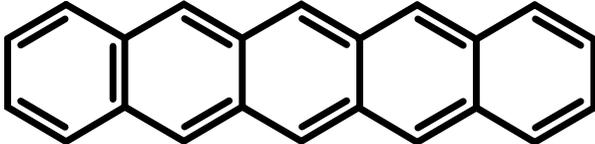
OLED, Organic Light Emitting Diode

Aufbau einer Einschicht - LED bzw. -OLED, „Sandwich-Strukturen“.



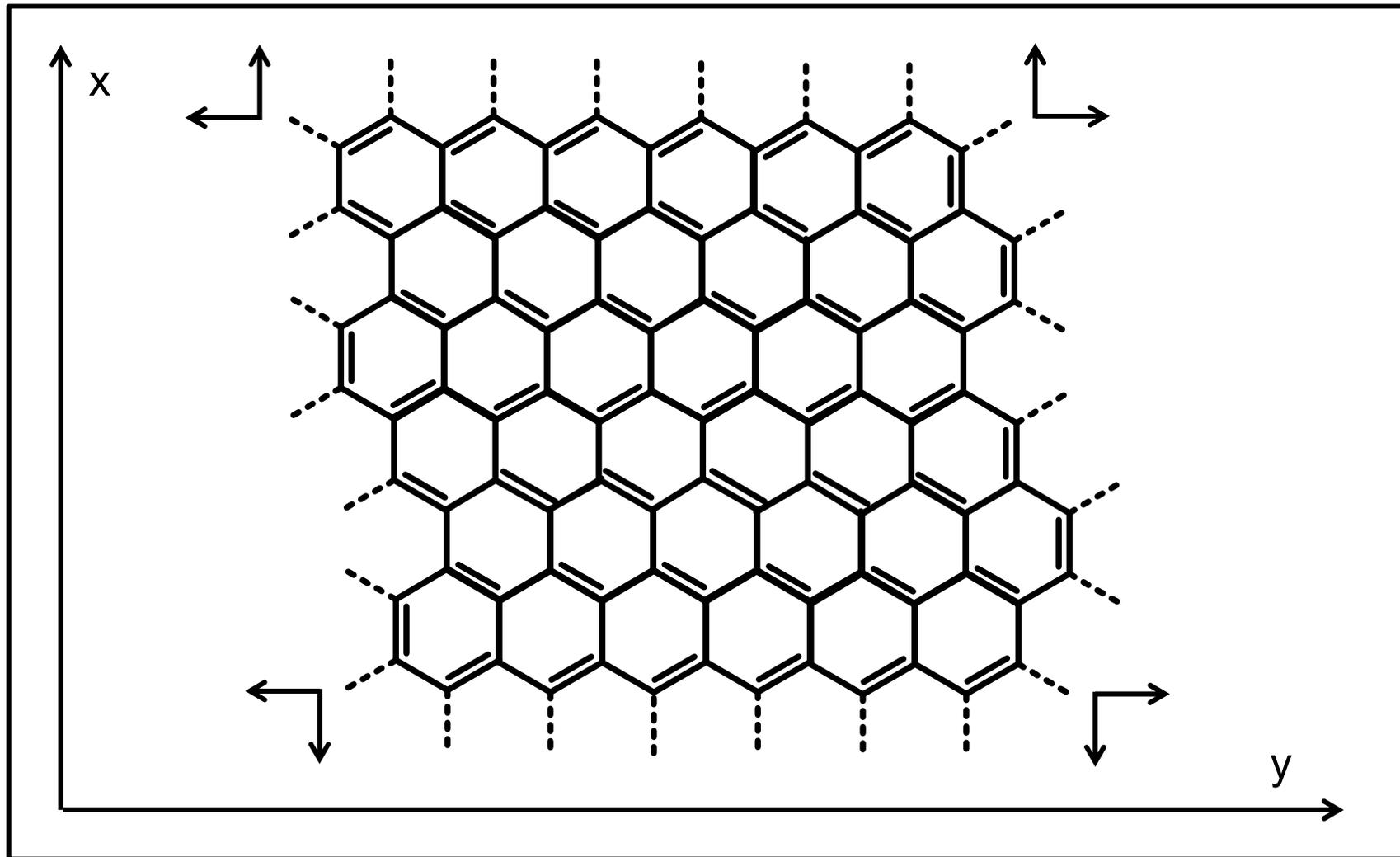
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Konjugation aromatischer Kohlenwasserstoffe, HOMO- LUMO-Abstände und Fluoreszenzwellenlängen.

		$S_1 \approx 6,0 \text{ eV}$	200 nm	Benzol
		$S_1 \approx 4,3 \text{ eV}$	290 nm	Naphtalin
		$S_1 \approx 3,3 \text{ eV}$	380 nm	Anthracen
		$S_1 \approx 2,4 \text{ eV}$	525 nm	Tetracen
		$S_1 \approx 2,1 \text{ eV}$	580 nm	Pentacen

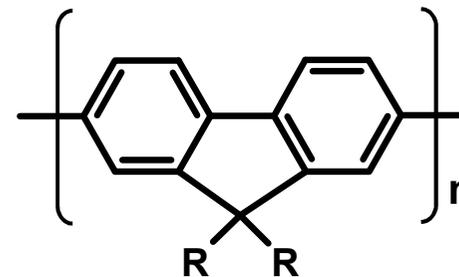
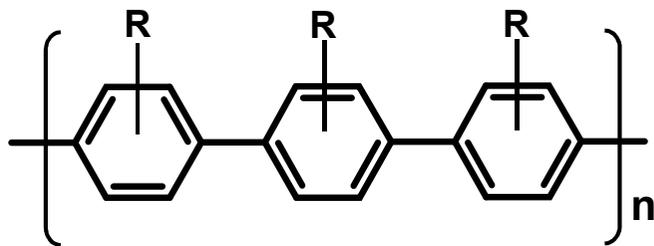
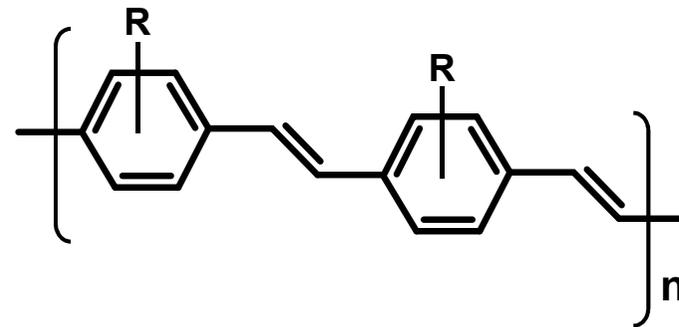
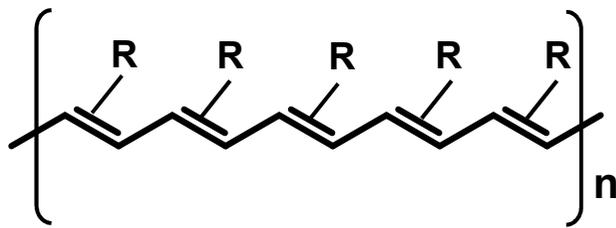
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

π - Konjugation von Graphen (Ausschnitt) als Leiter.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, Konjugierte Polymere als organische Halbleiter.

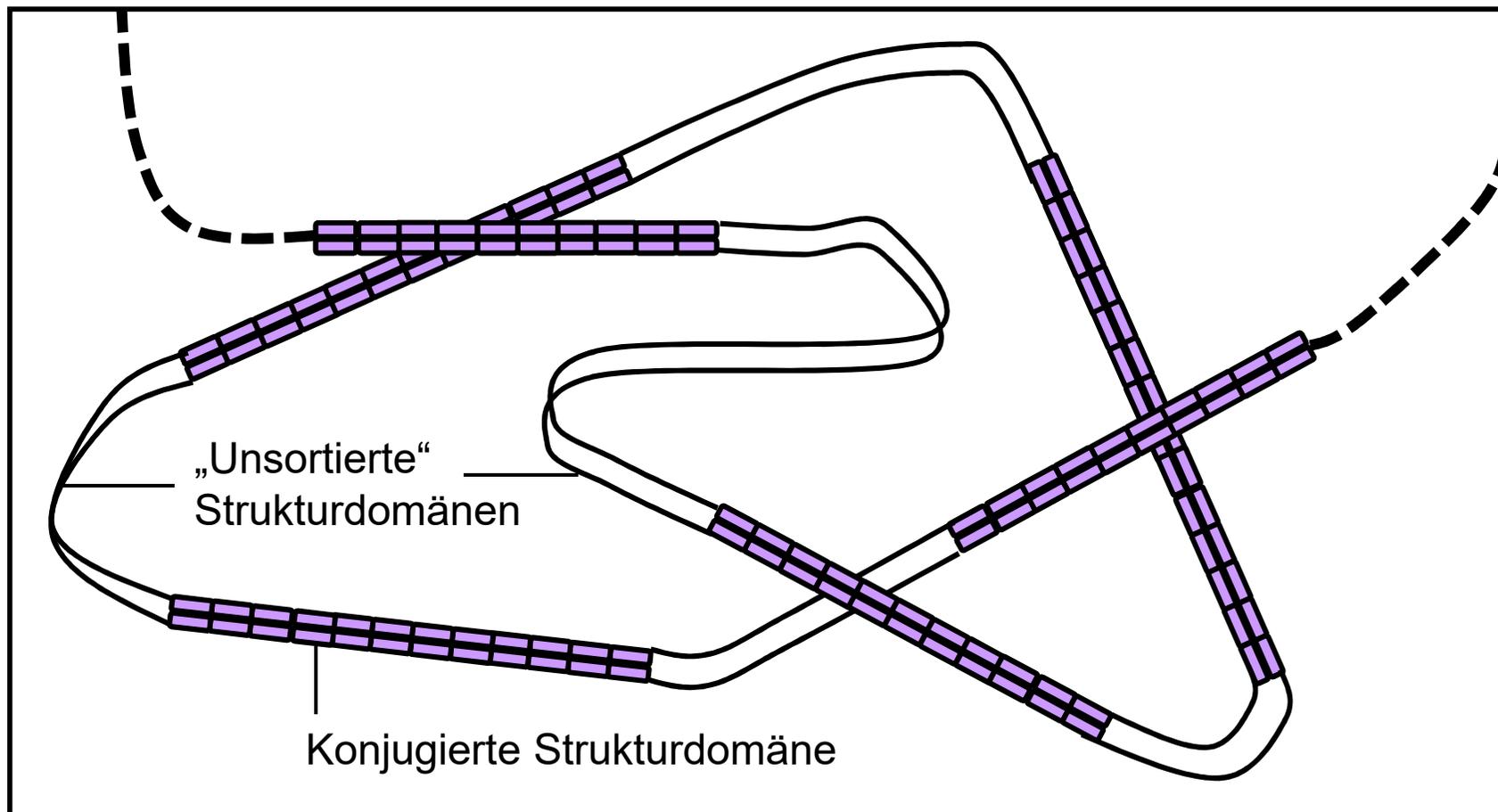


N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, Konjugierte Polymere als Halbleiter.

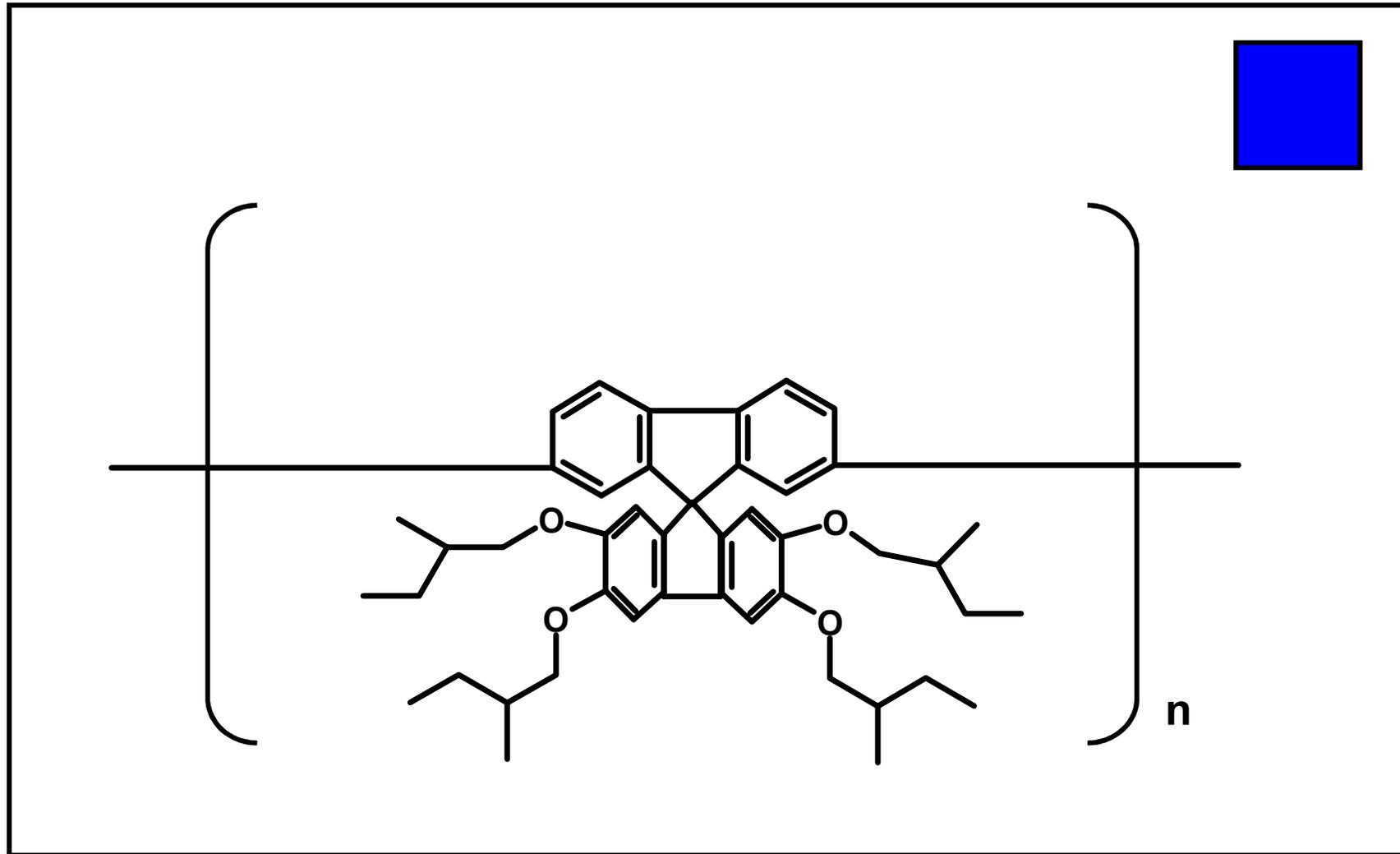
Effektive Konjugationslänge $\approx 6\text{nm} \approx 10\text{-}15$ Monomer-Einheiten.

Ursachen: Knicke, Defekte, Verdrehungen. Auftrag: Per Spin Coating.



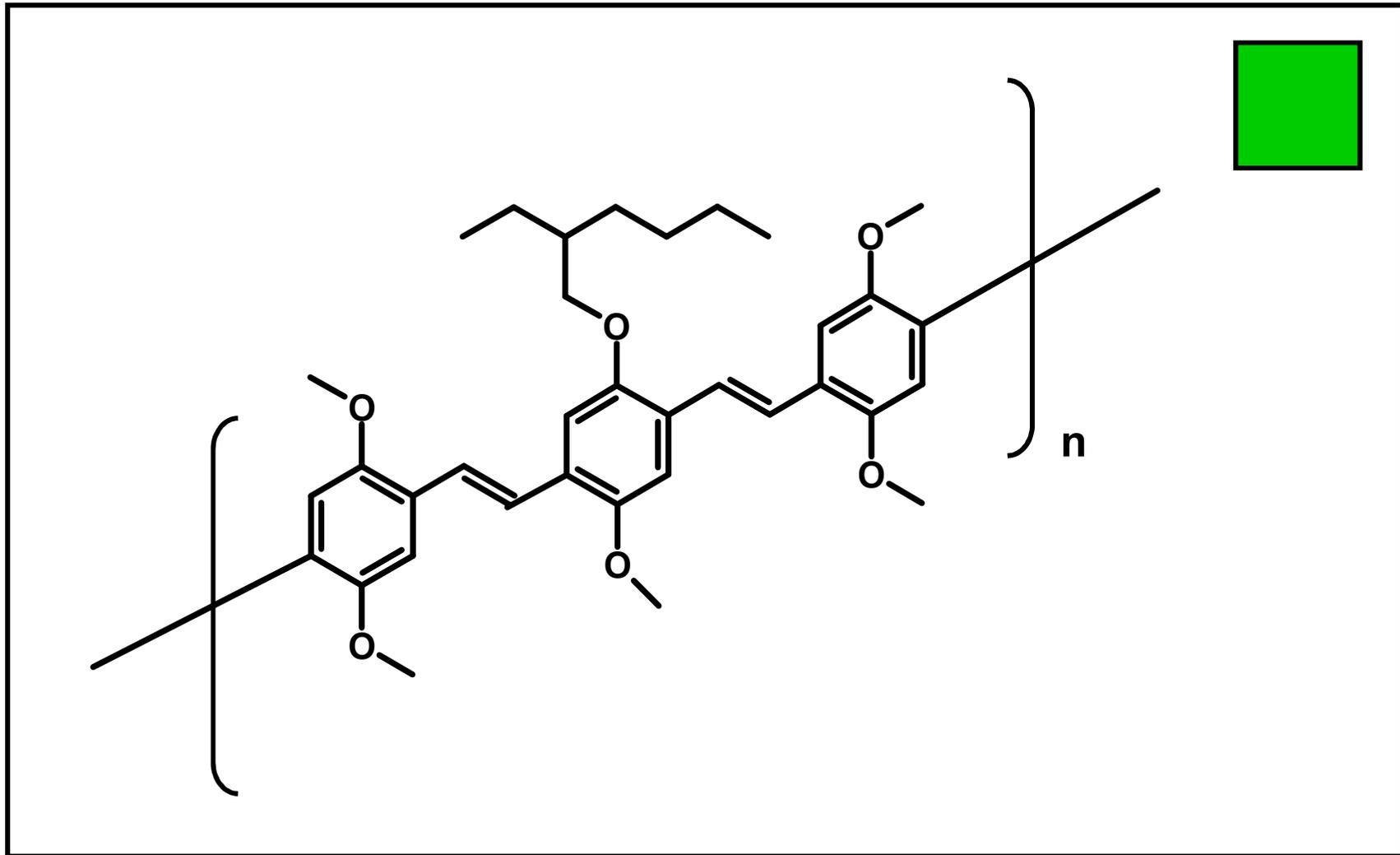
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, Elektrolumineszierende Polymere: Blau.



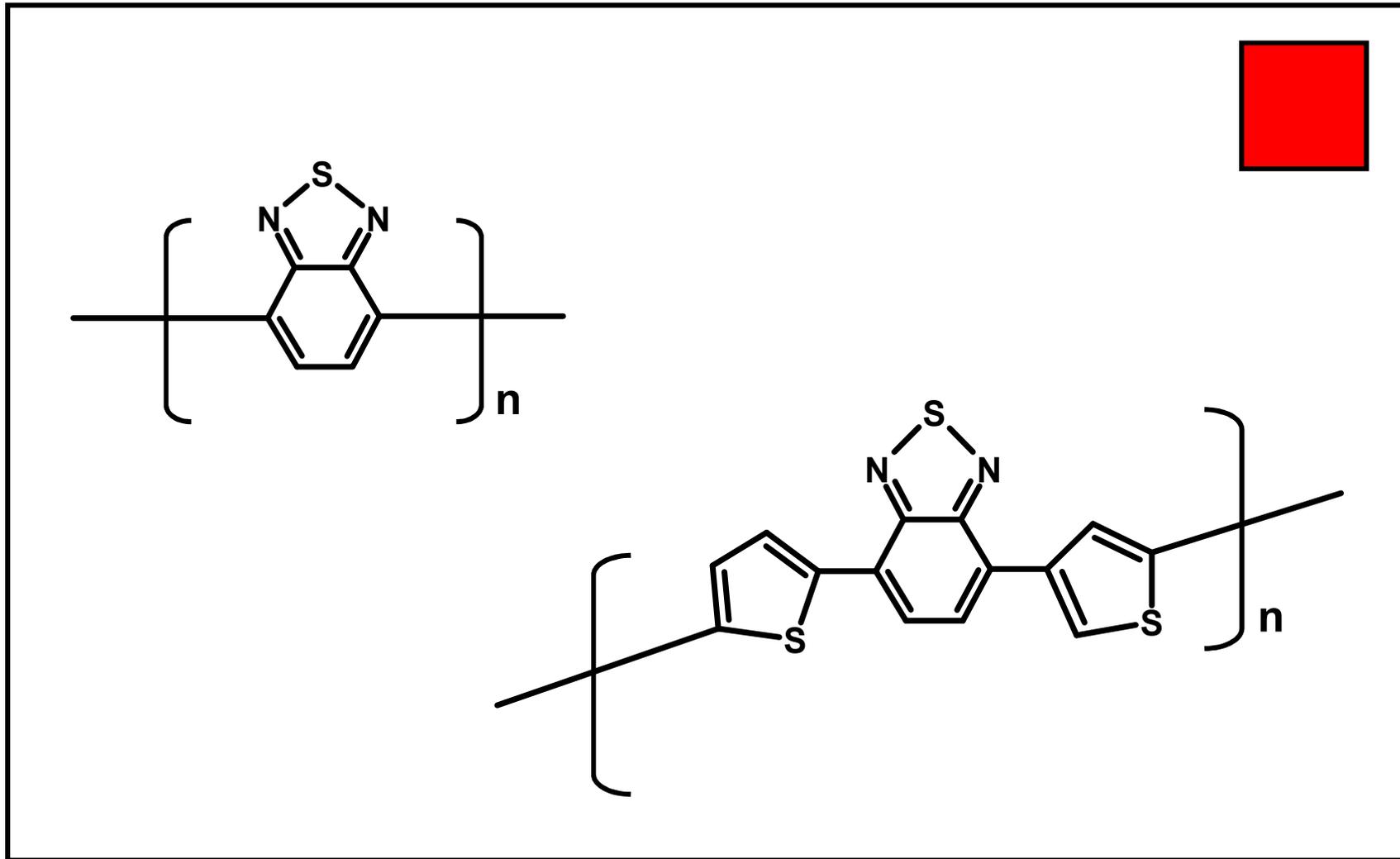
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, Elektrolumineszierende Polymere: Grün.



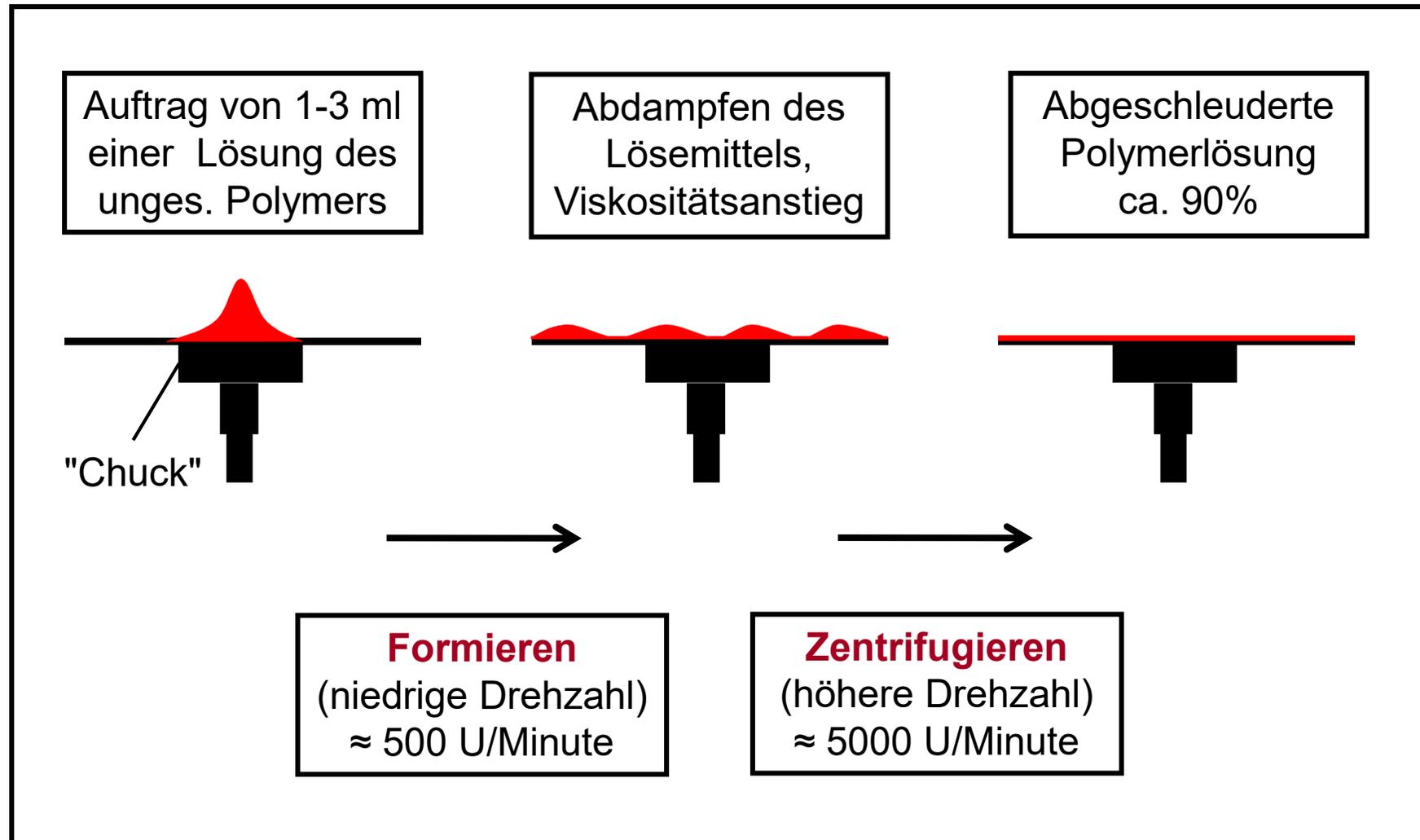
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, Elektrolumineszierende Polymere: Rot.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

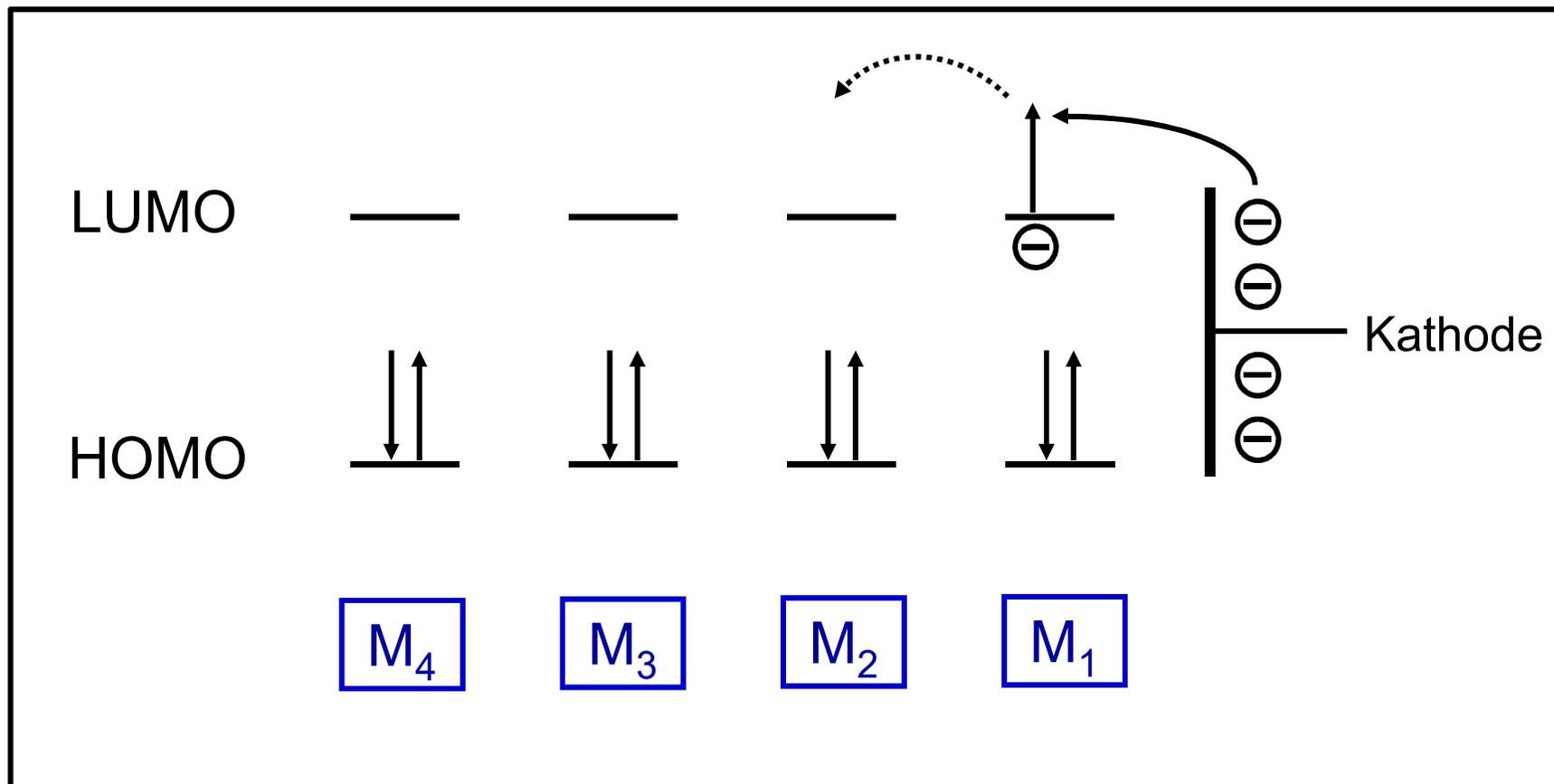
Spincoating-Verfahren, schematische Darstellung.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

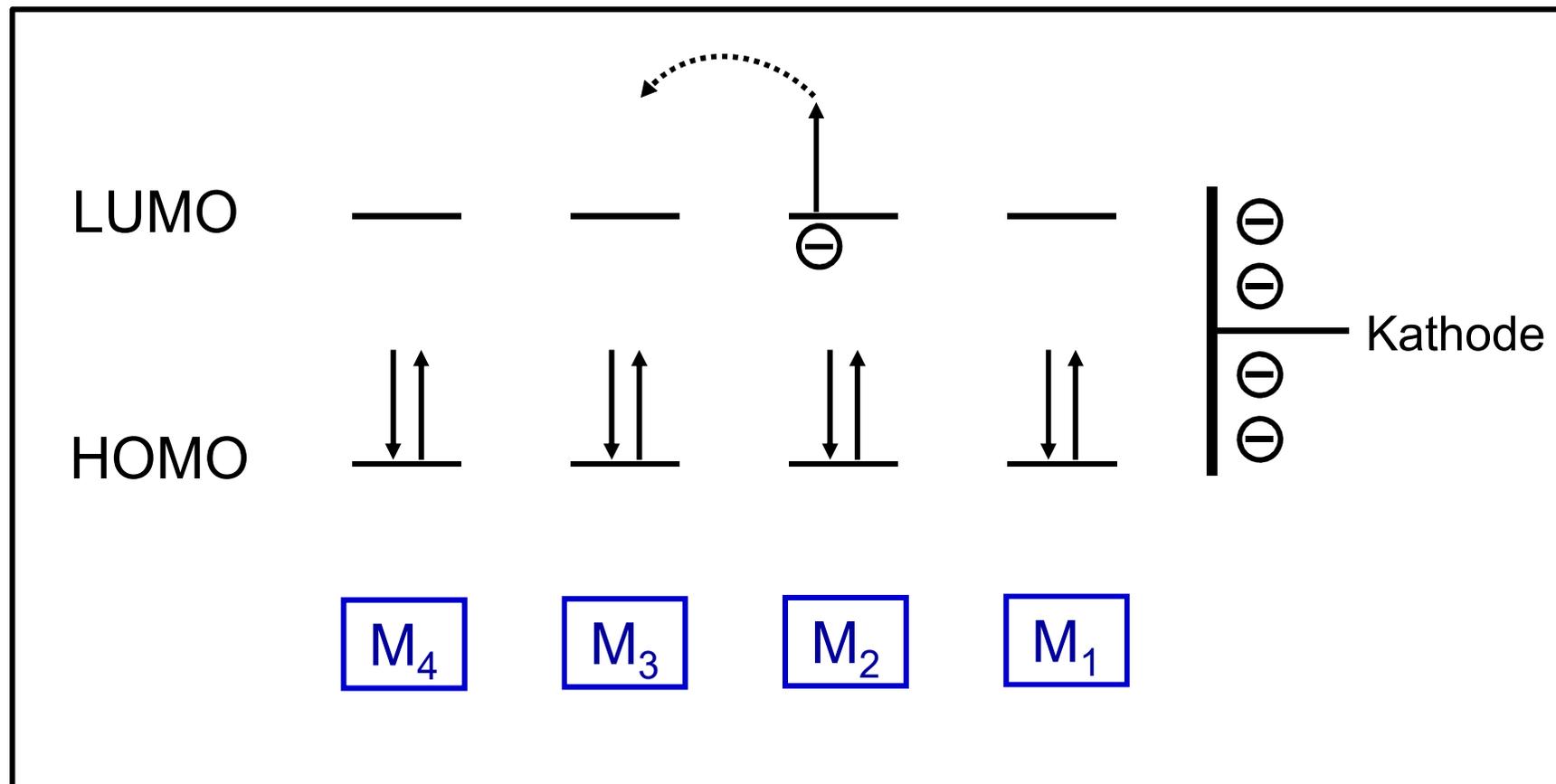
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

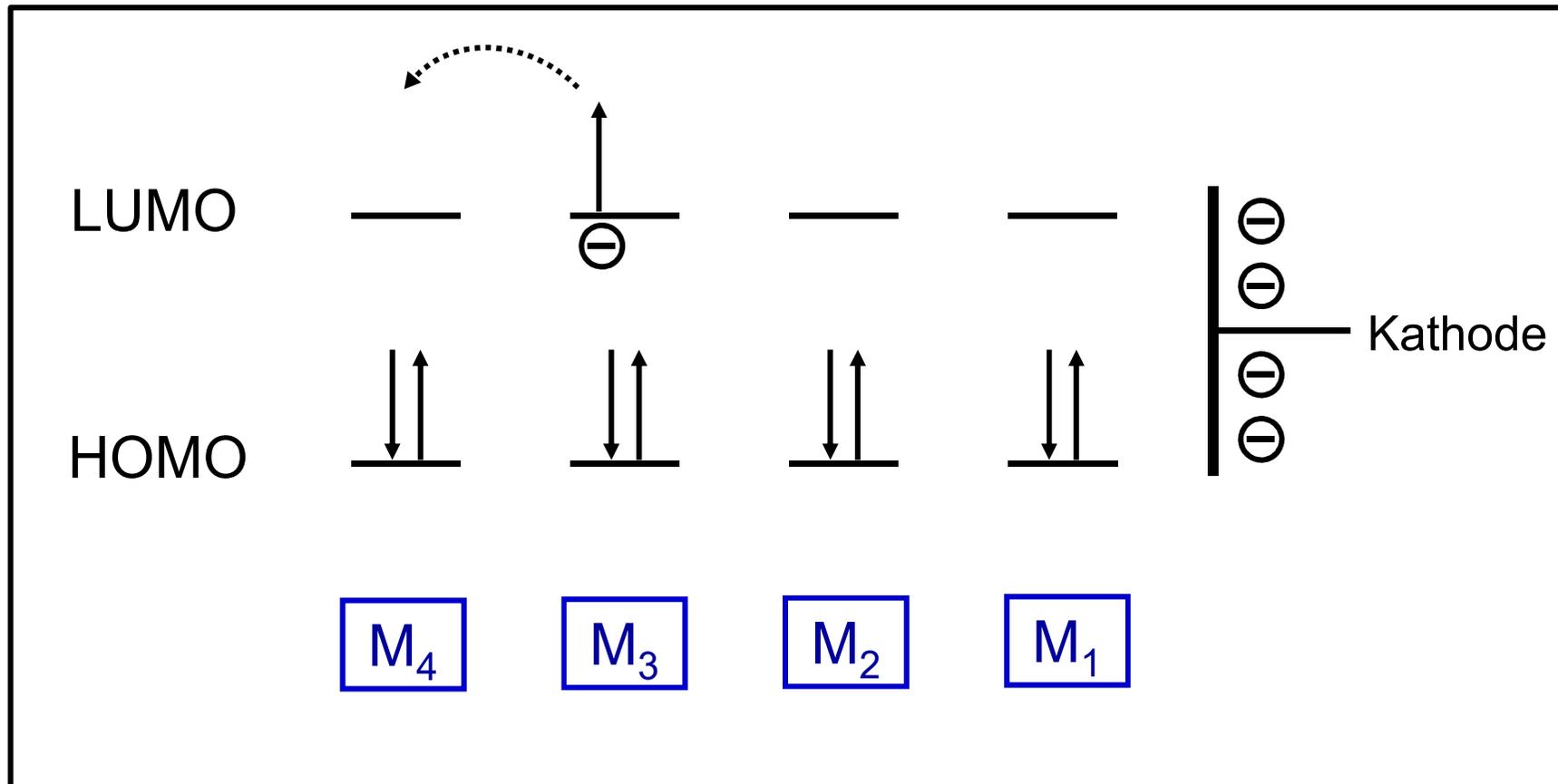
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

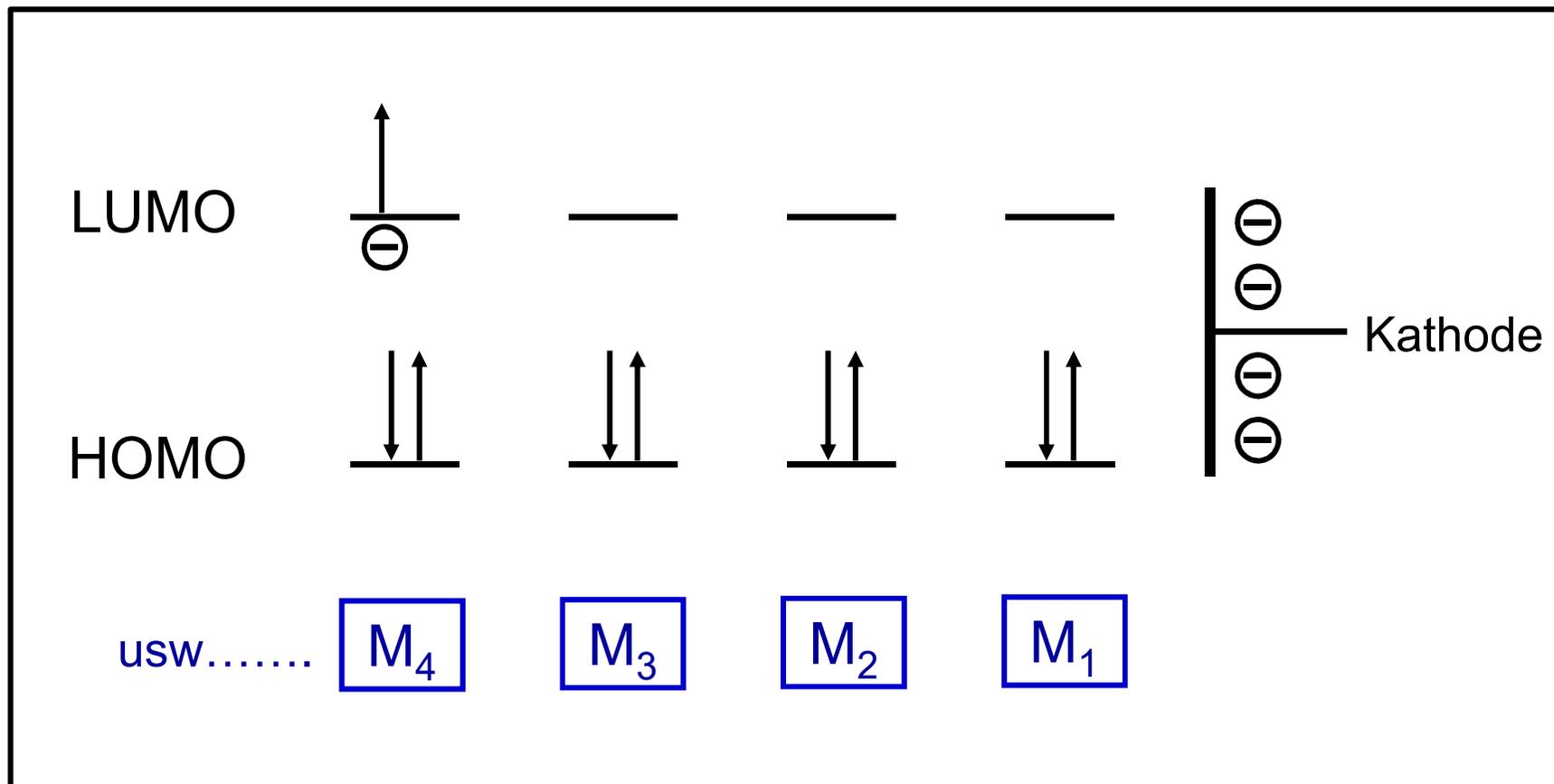
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

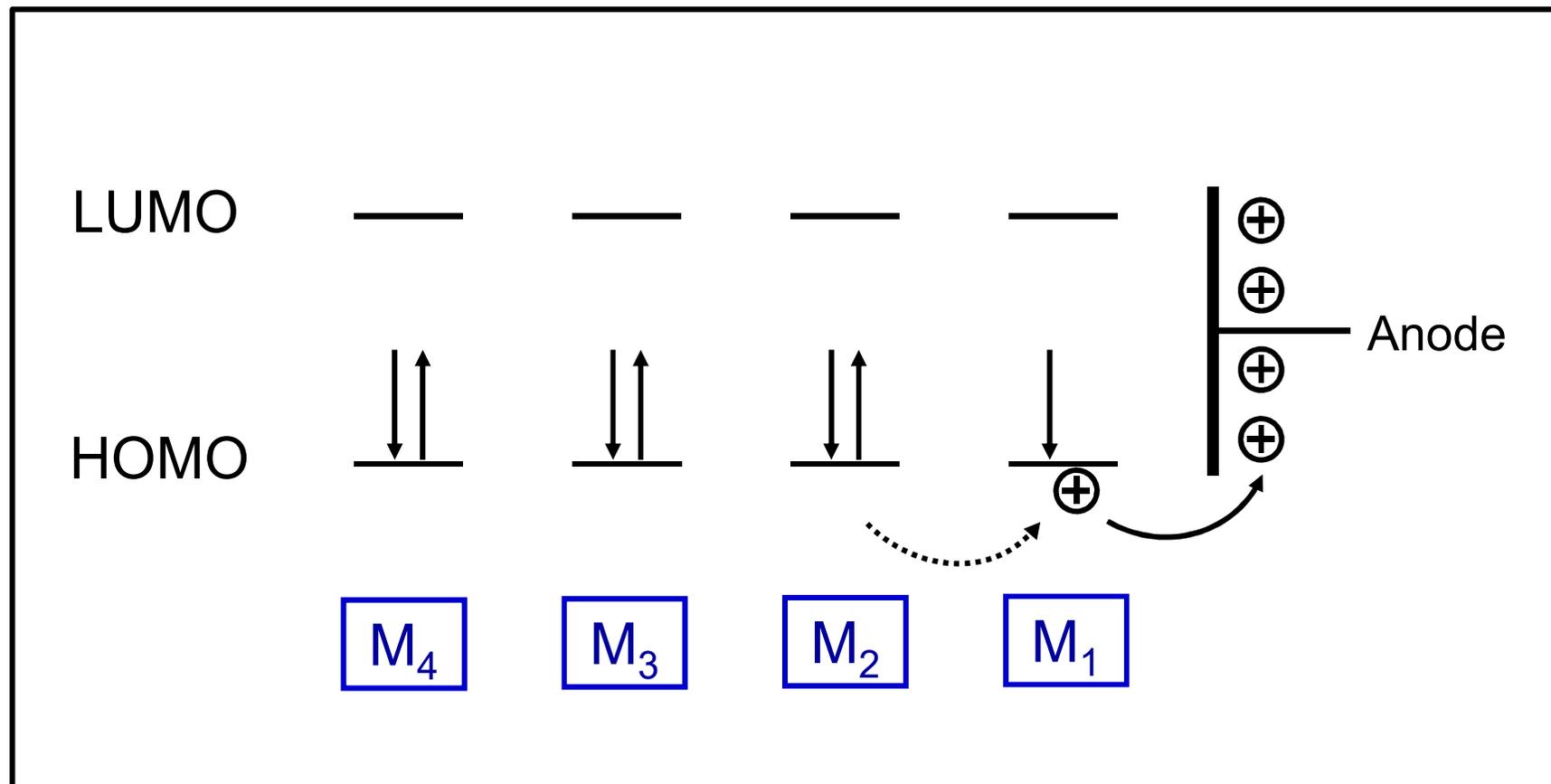
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

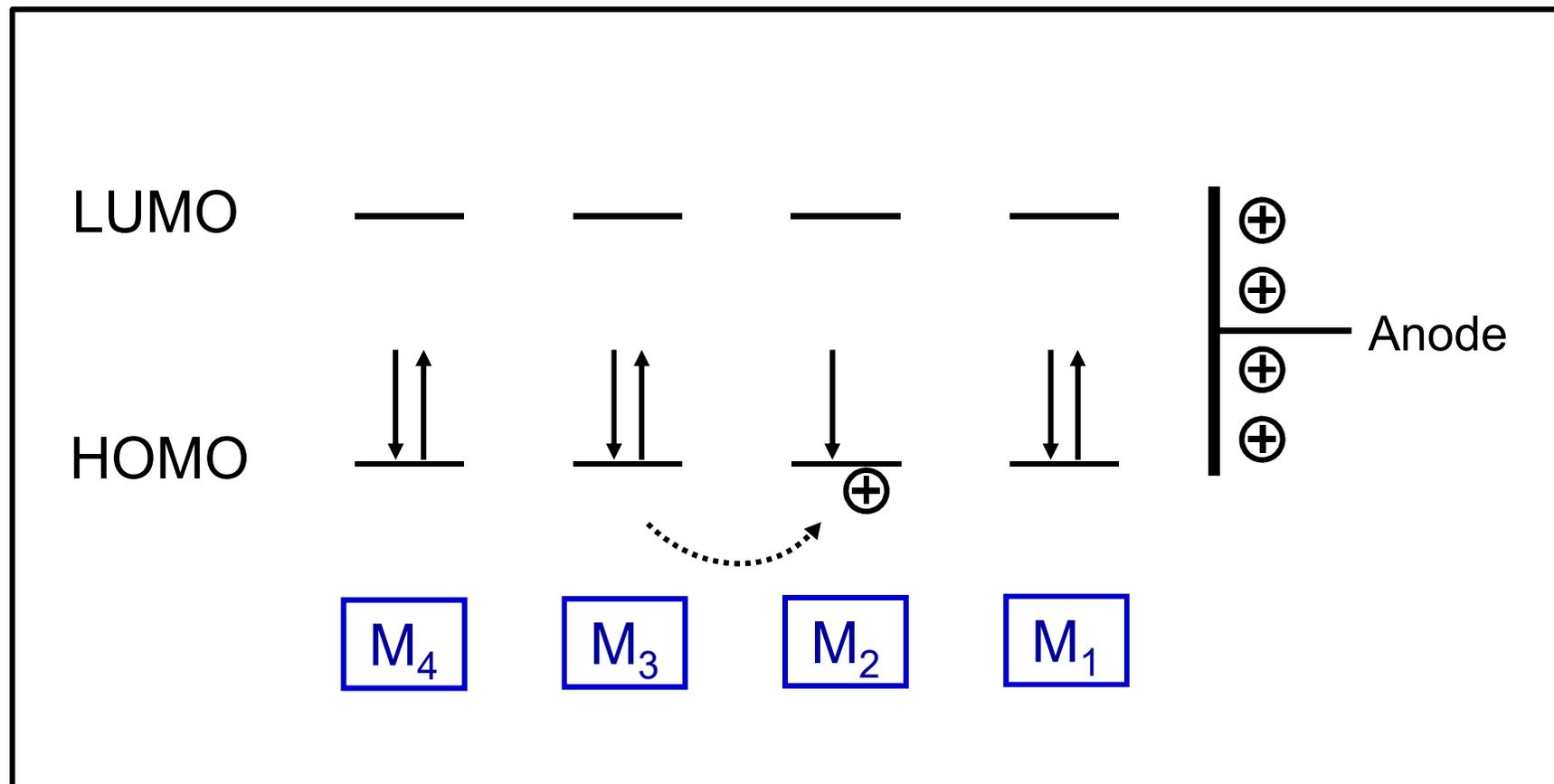
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

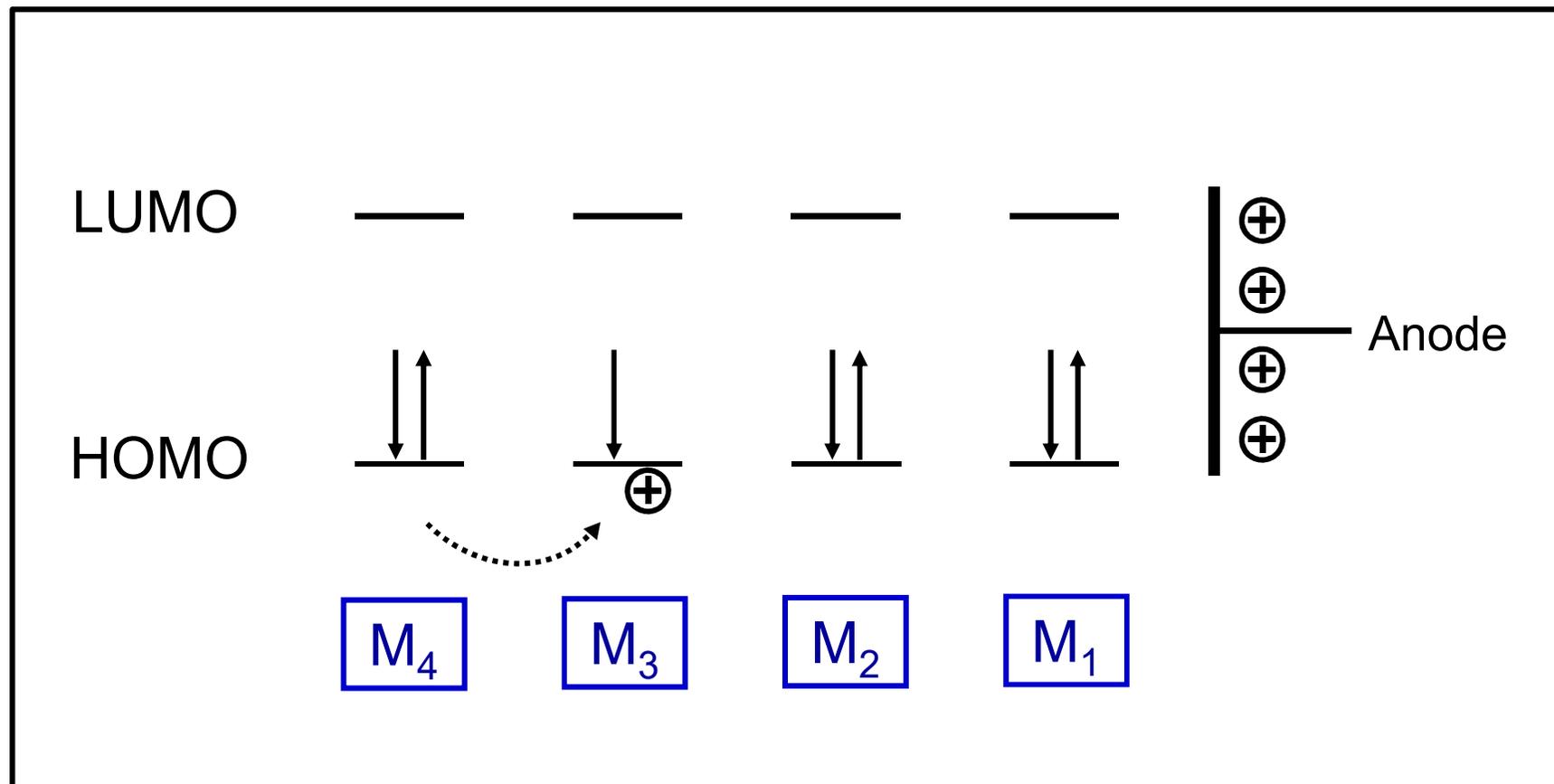
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

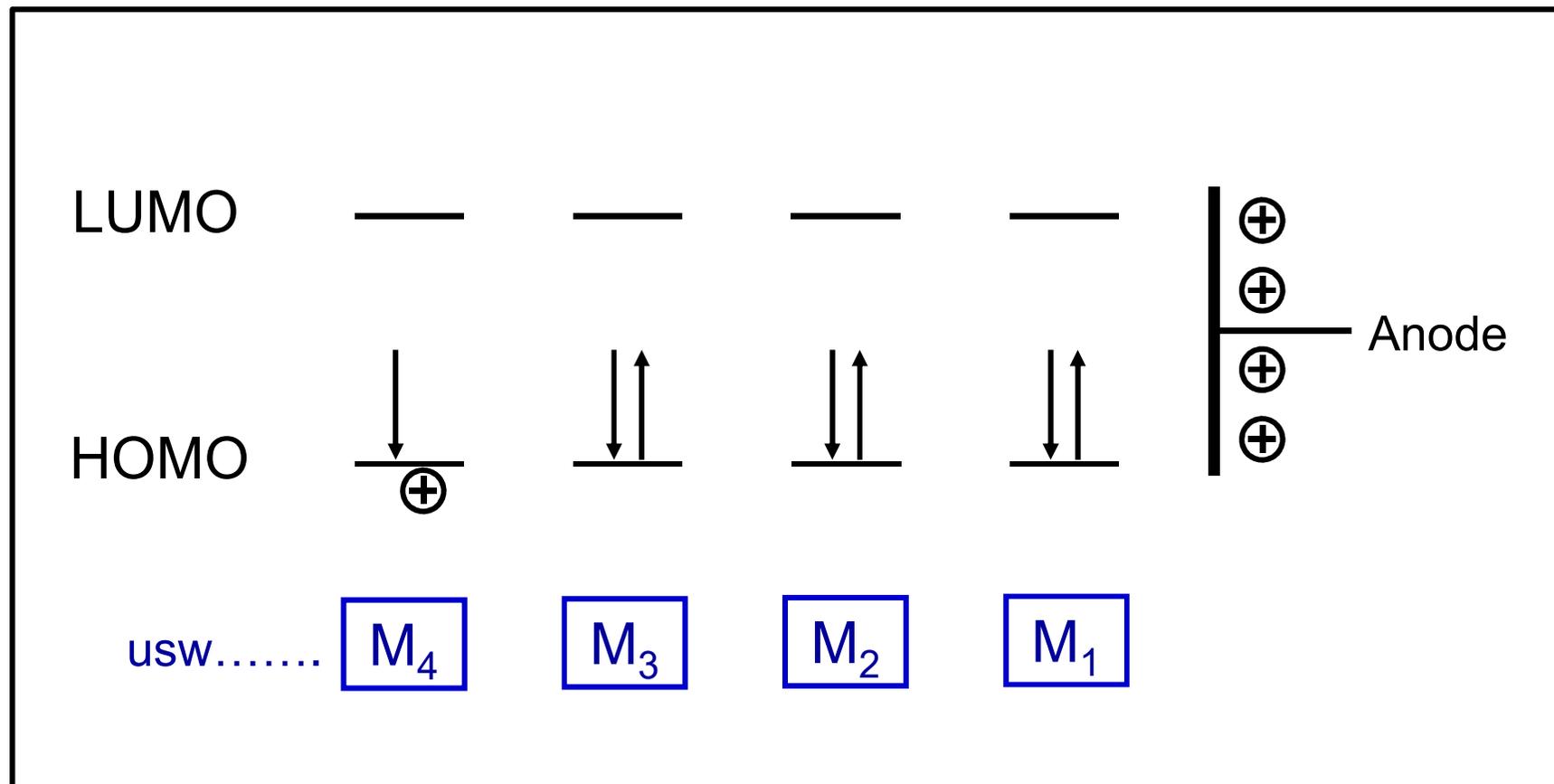
HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

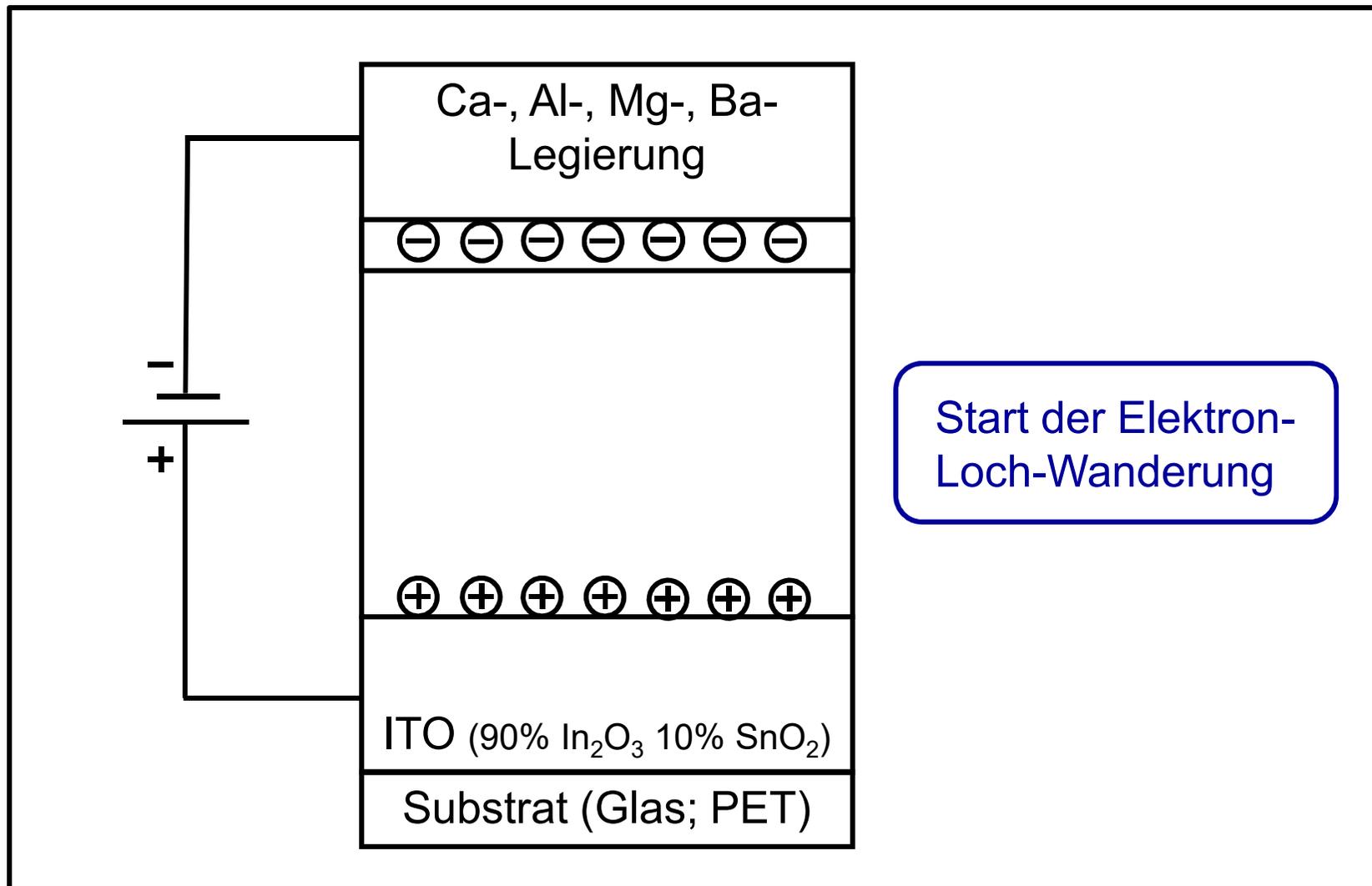
Elektronentransport zwischen halbleitenden Molekülen.

HOMO: Highest Occupied Molecular Orbital
LUMO: Lowest Unoccupied Molecular Orbital



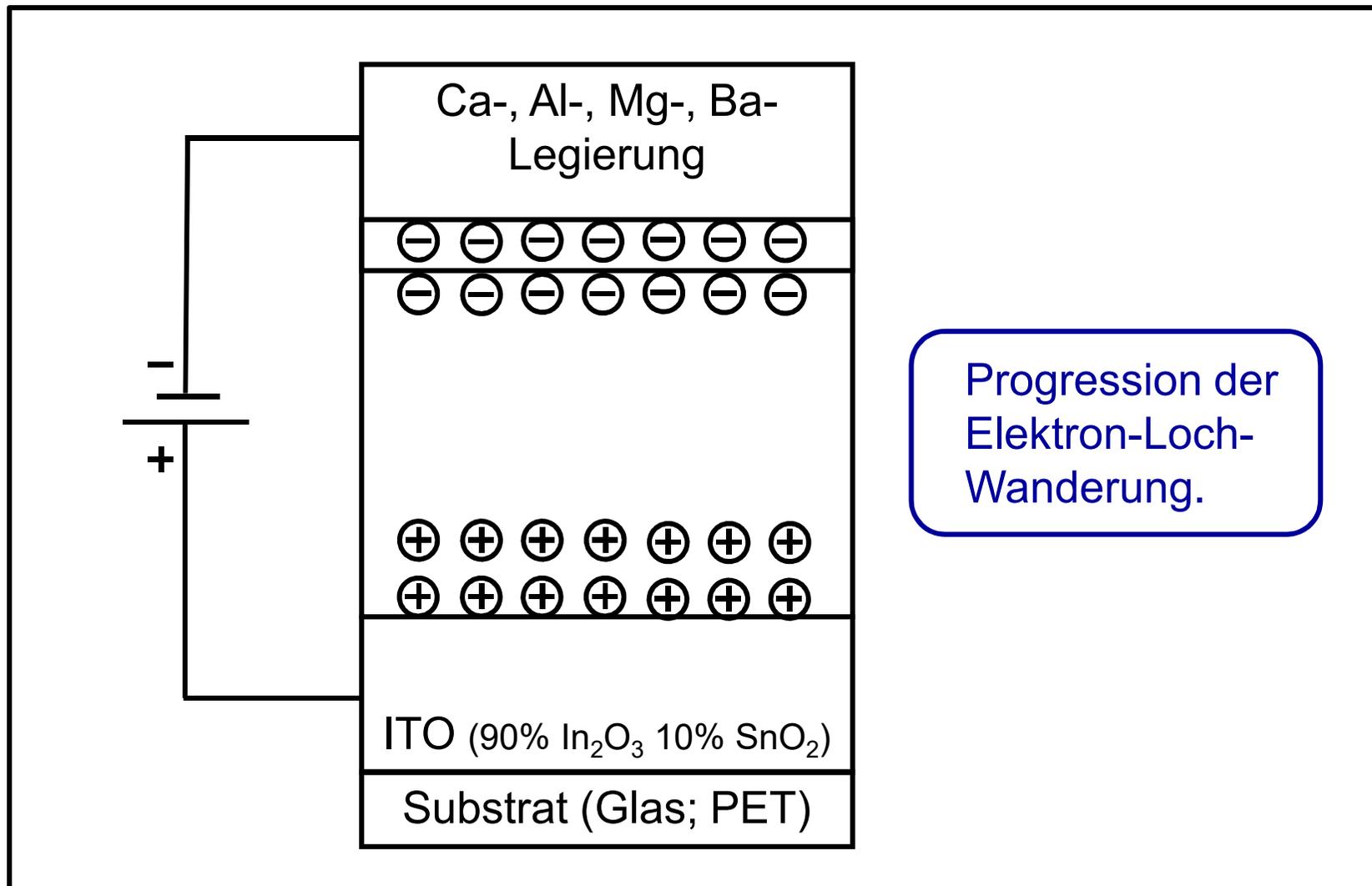
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, **O**rganic **L**ight **E**mitting **D**iode, **E**inschicht – **O**LED.



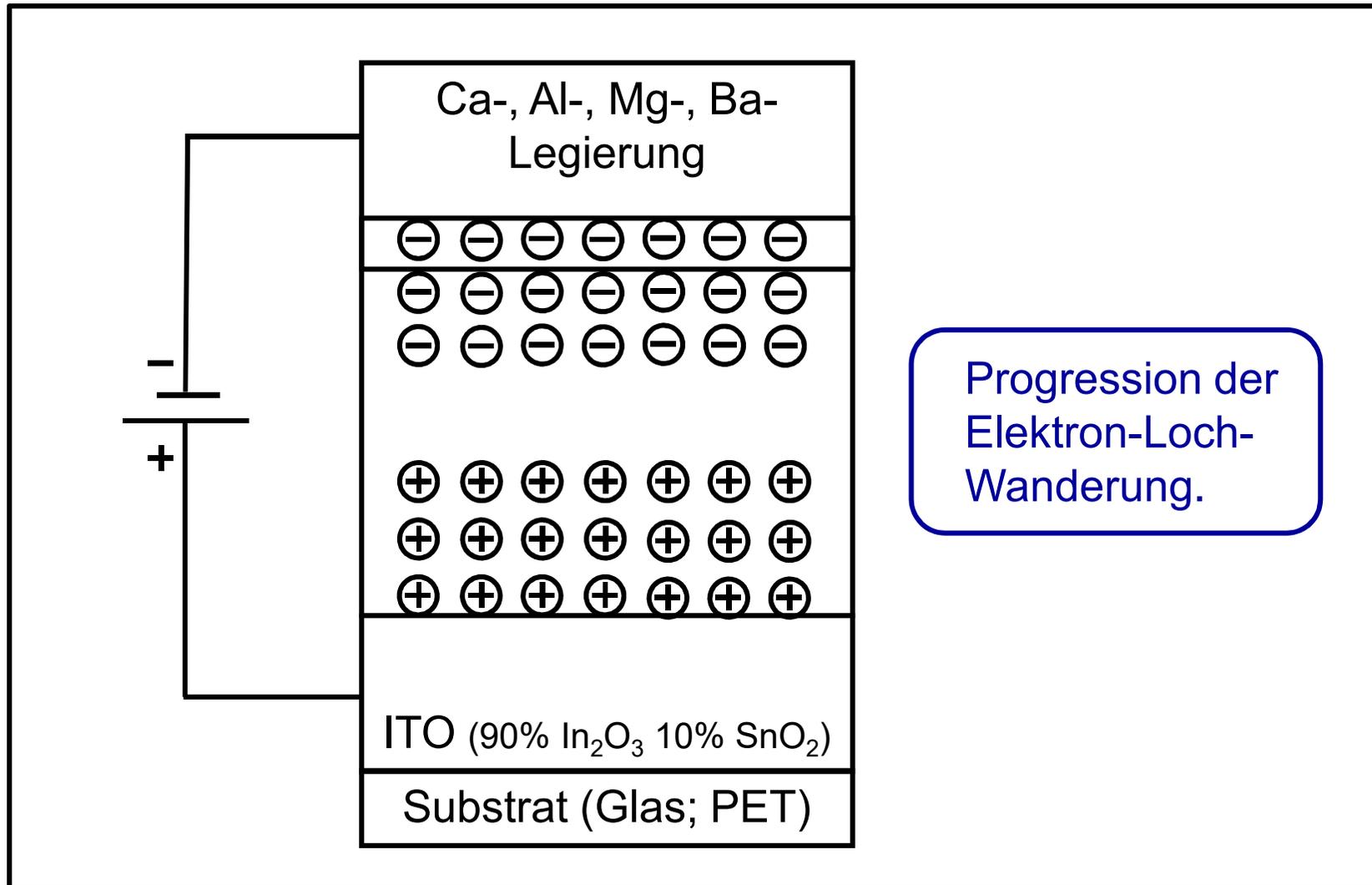
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, **O**rganic **L**ight **E**mitting **D**iode, **E**inschicht – **O**LED.



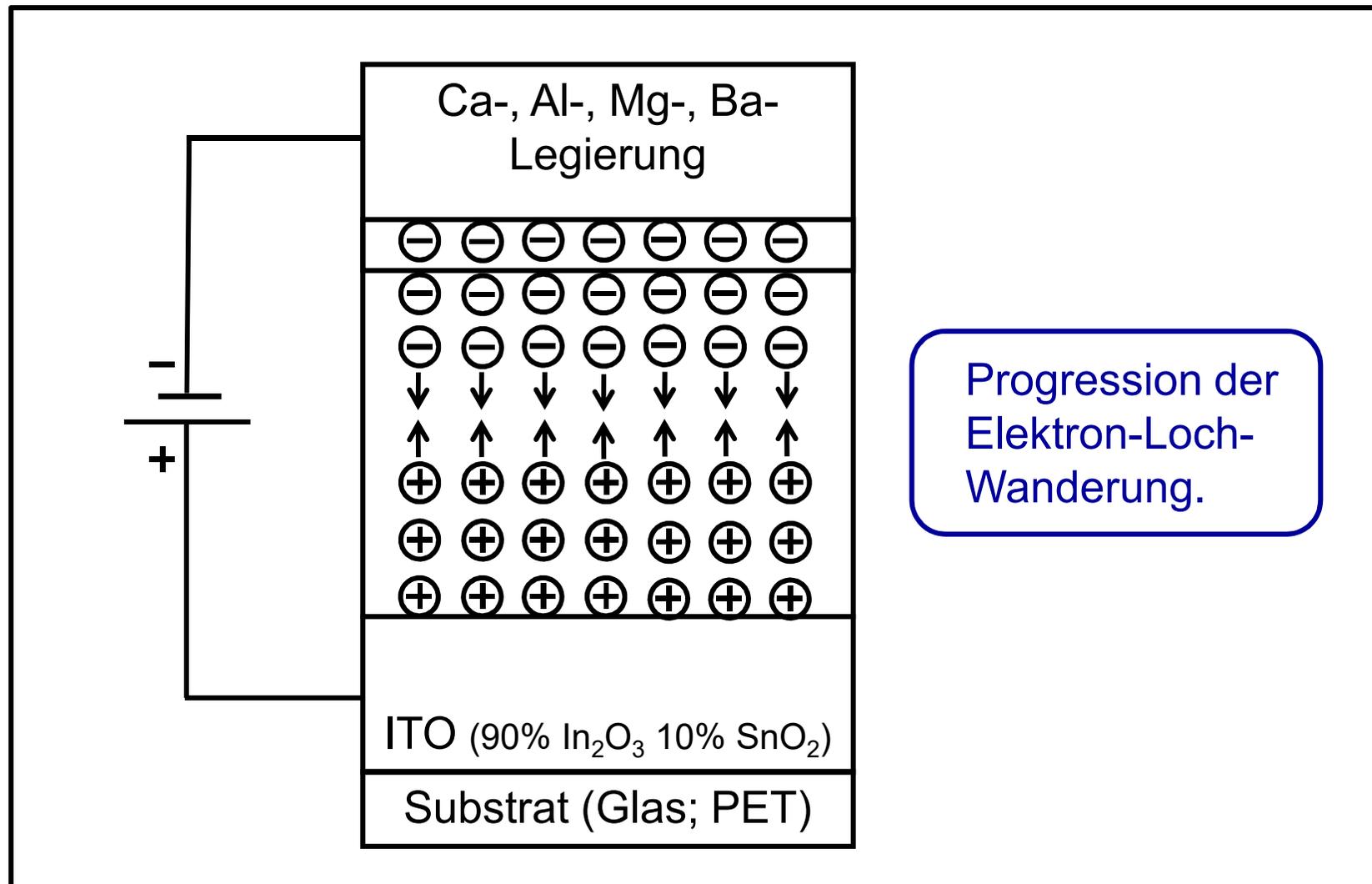
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, **O**rganic **L**ight **E**mitting **D**iode, **E**inschicht – **O**LED.



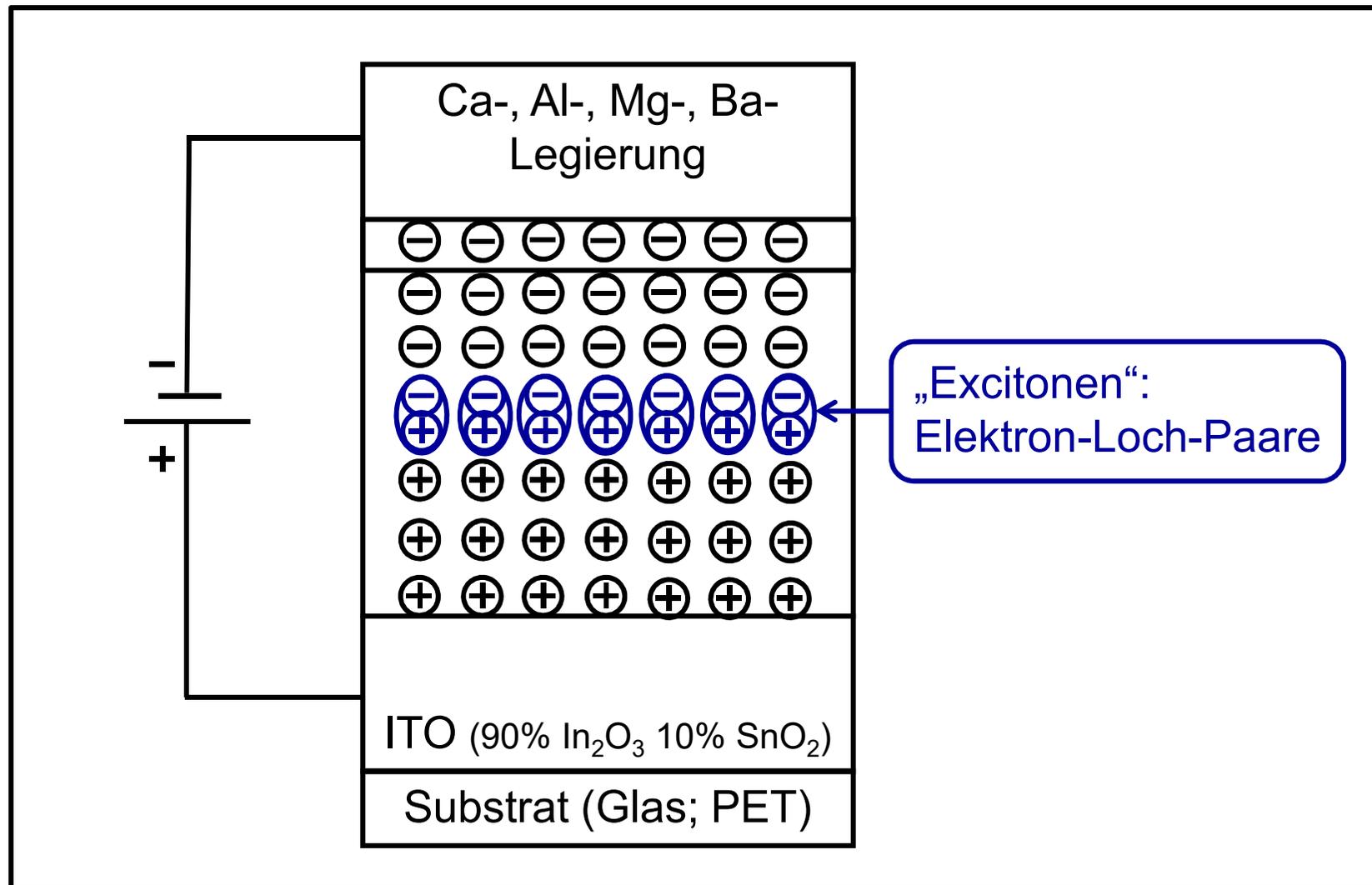
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, **O**rganic **L**ight **E**mitting **D**iode, **E**inschicht – **O**LED.



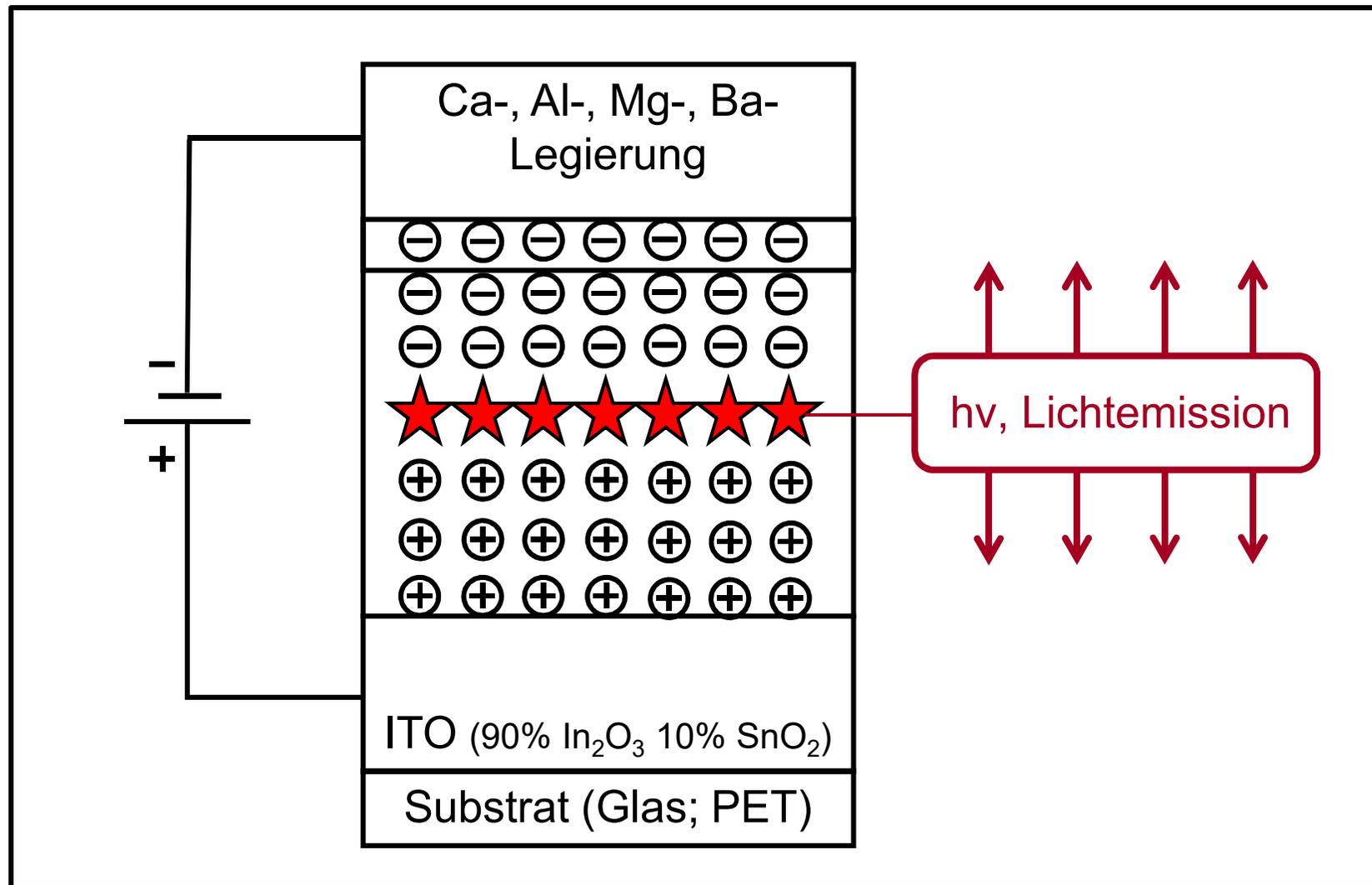
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, **O**rganic **L**ight **E**mitting **D**iode, **E**inschicht – **O**LED.



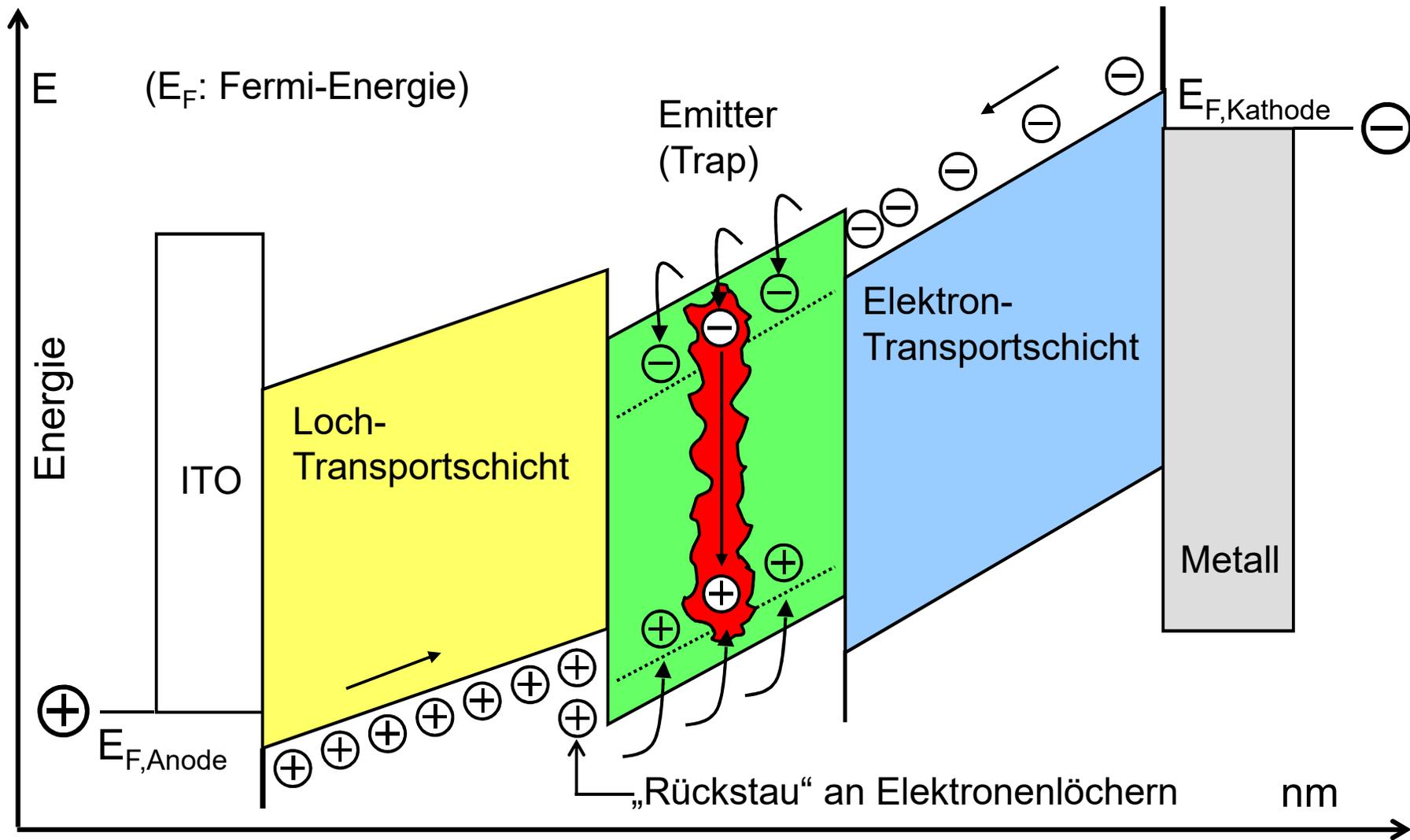
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED, **O**rganic **L**ight **E**mitting **D**iode, **E**inschicht – **O**LED.



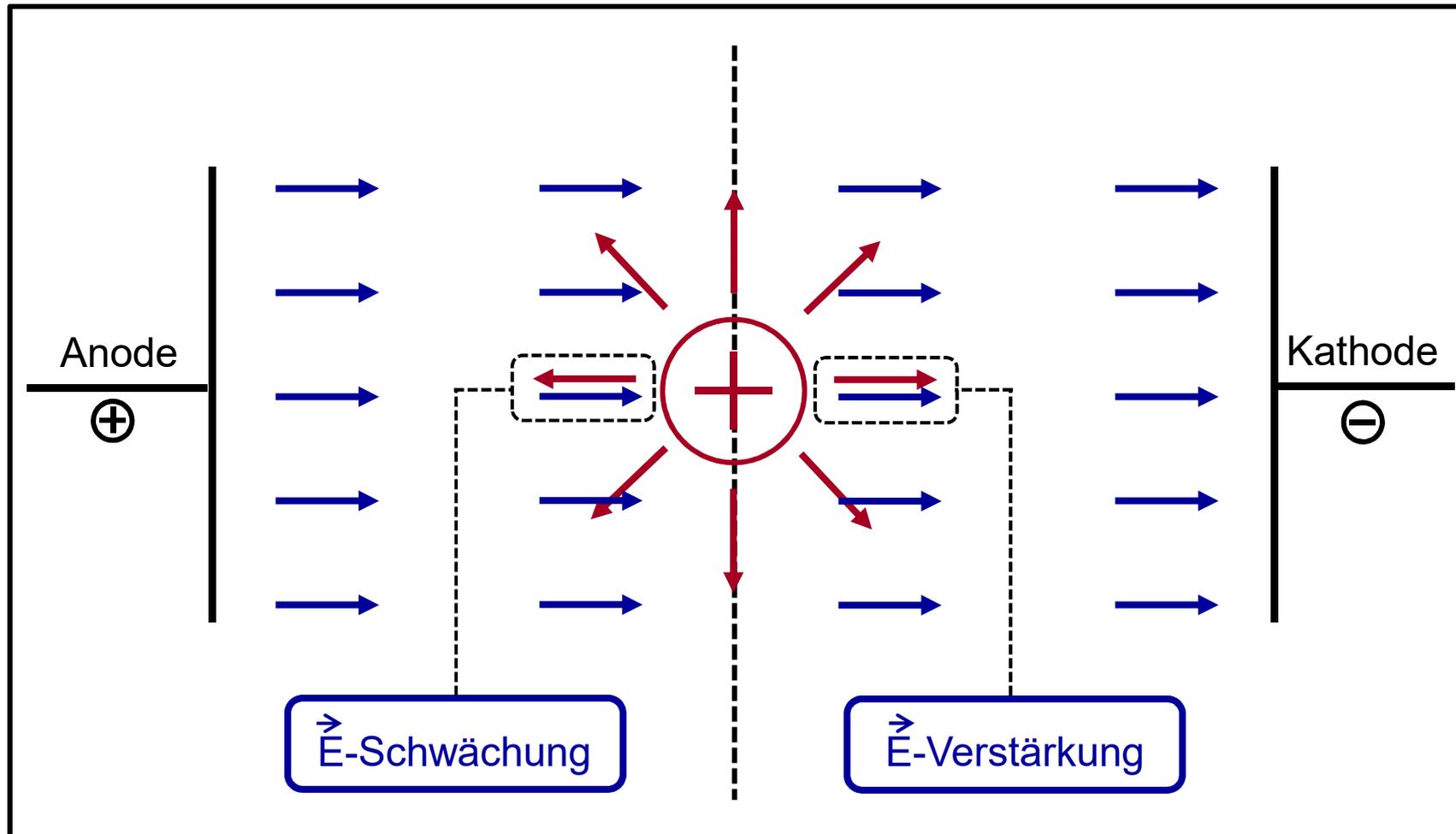
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Aufbau einer Leuchtdiode mit mehreren Schichten; Energieniveaus unter Betriebsbedingungen.



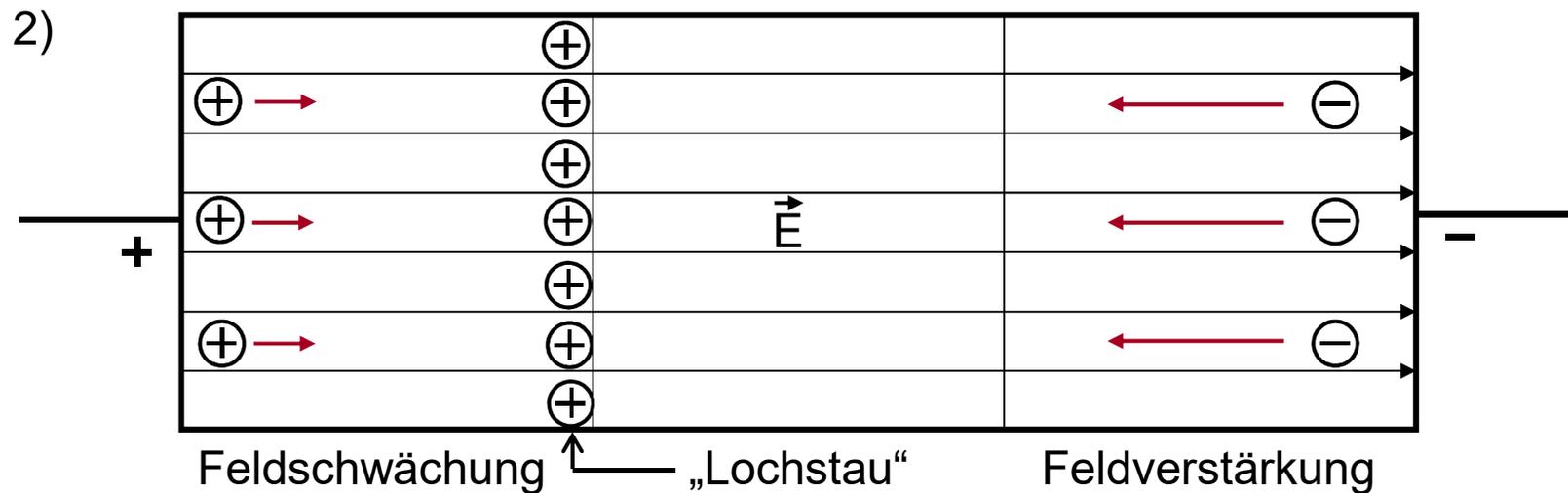
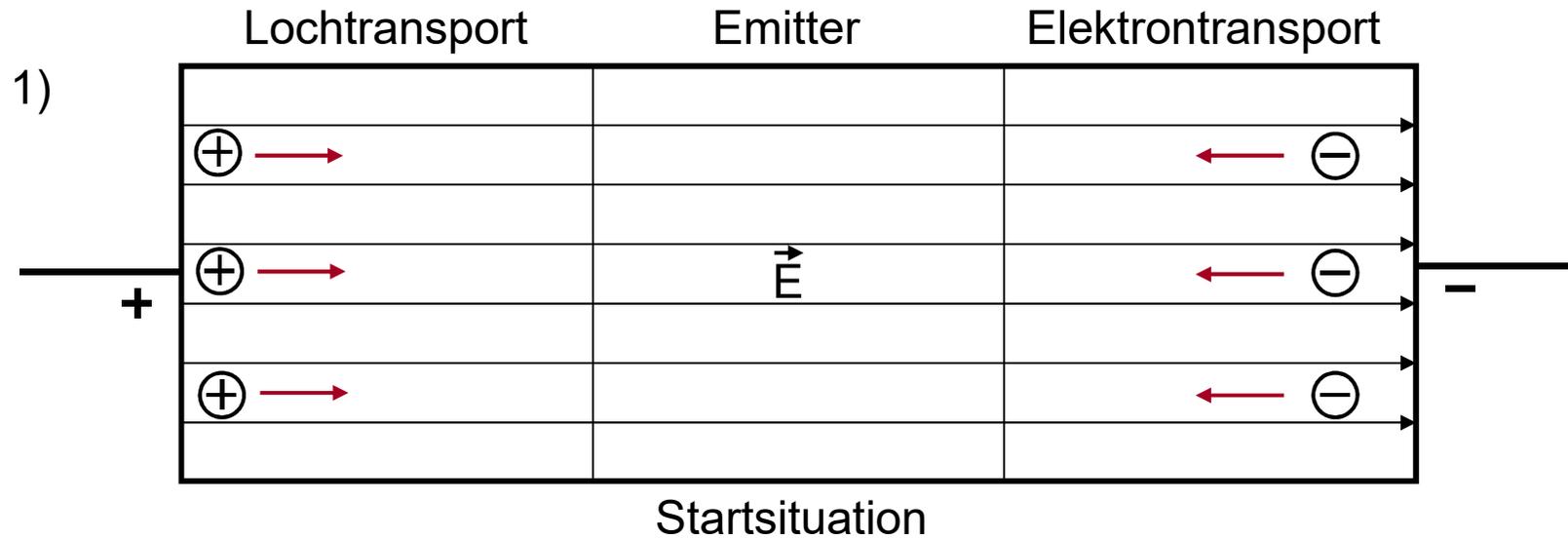
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Vektoren des elektrischen Feldes \vec{E} : Situation am Elektronenloch \oplus in der Nähe der Anode, „Lochstau“.



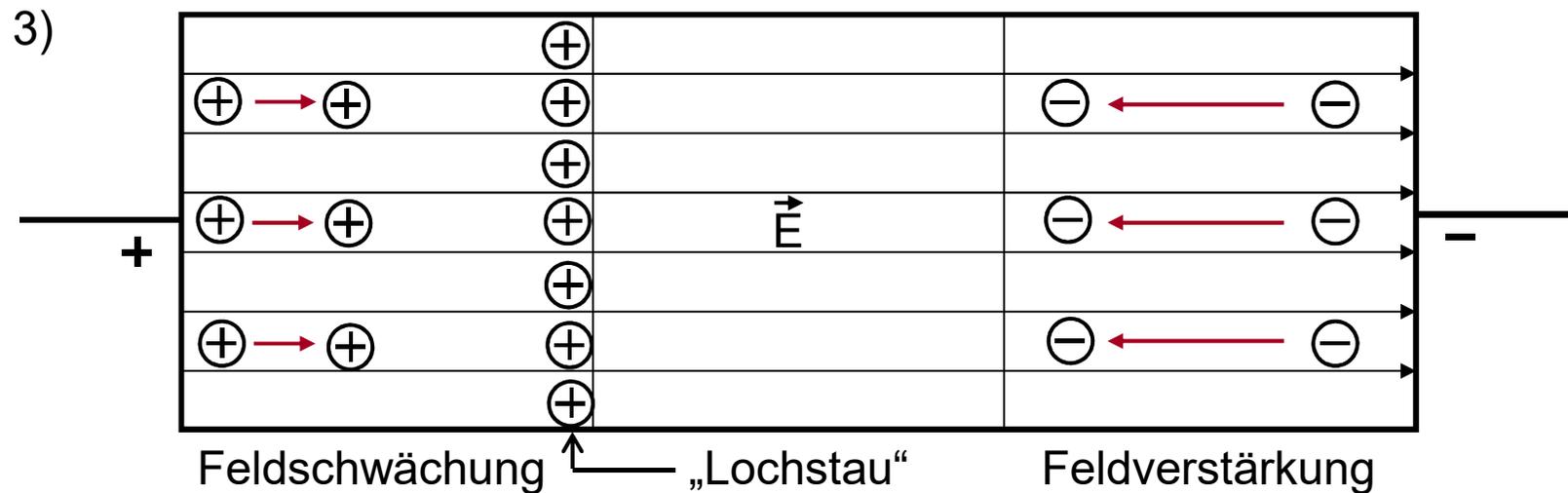
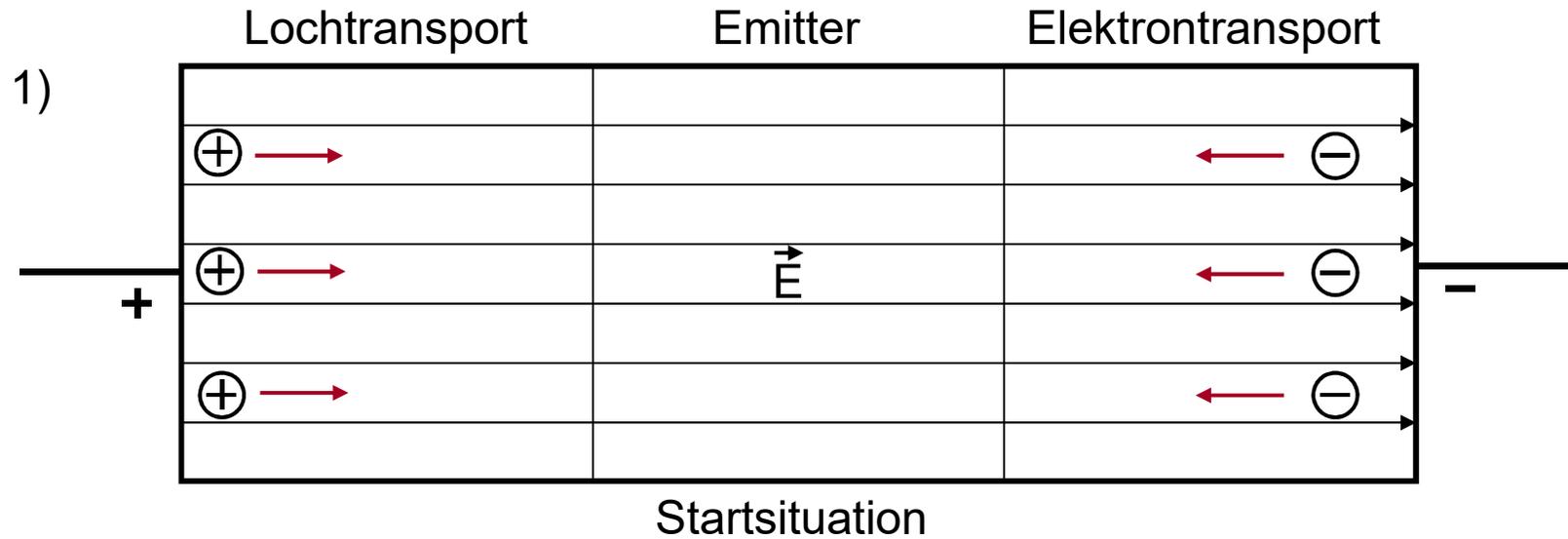
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED. Positive Raumladung unter Betriebsbedingungen.



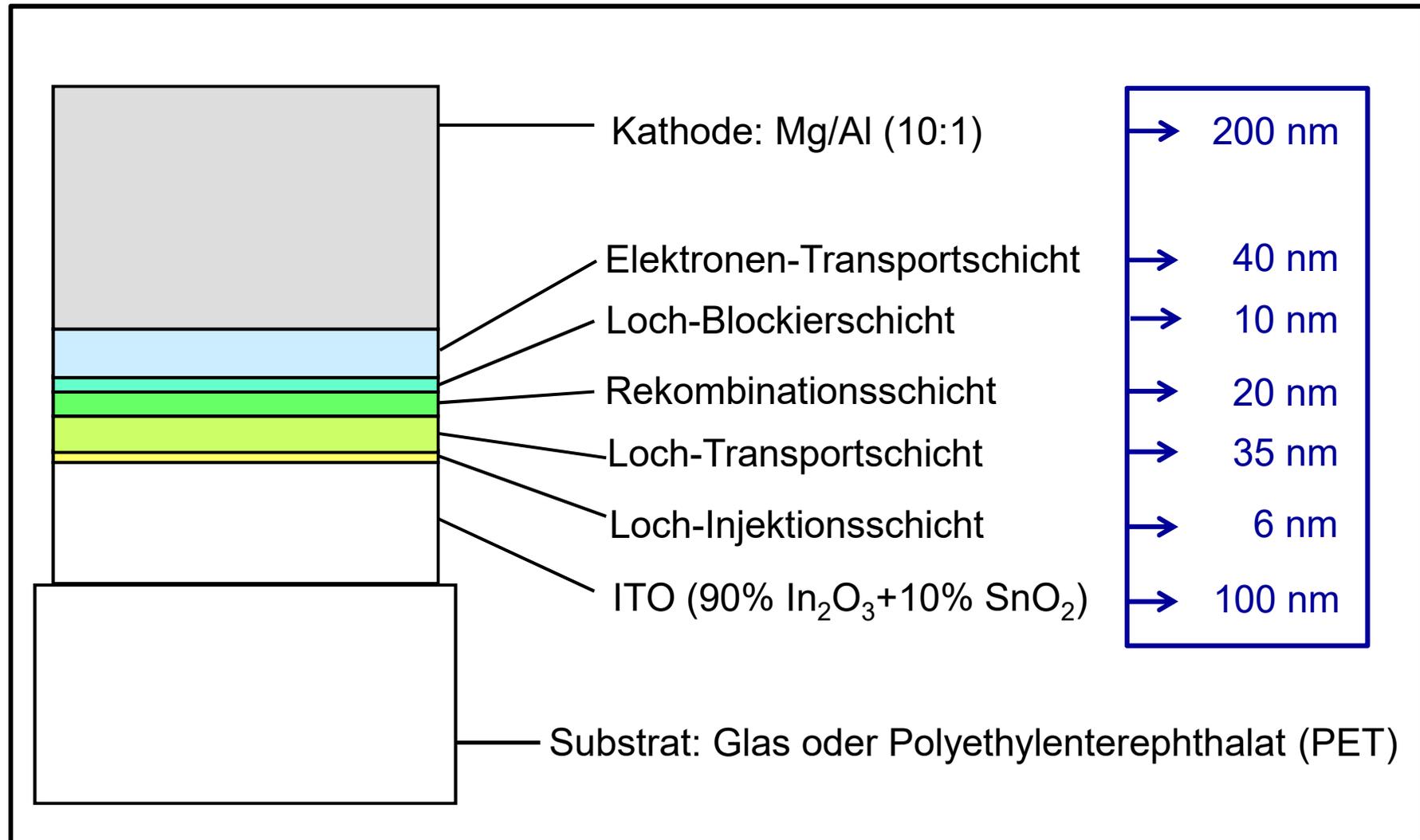
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

OLED. Positive Raumladung unter Betriebsbedingungen.



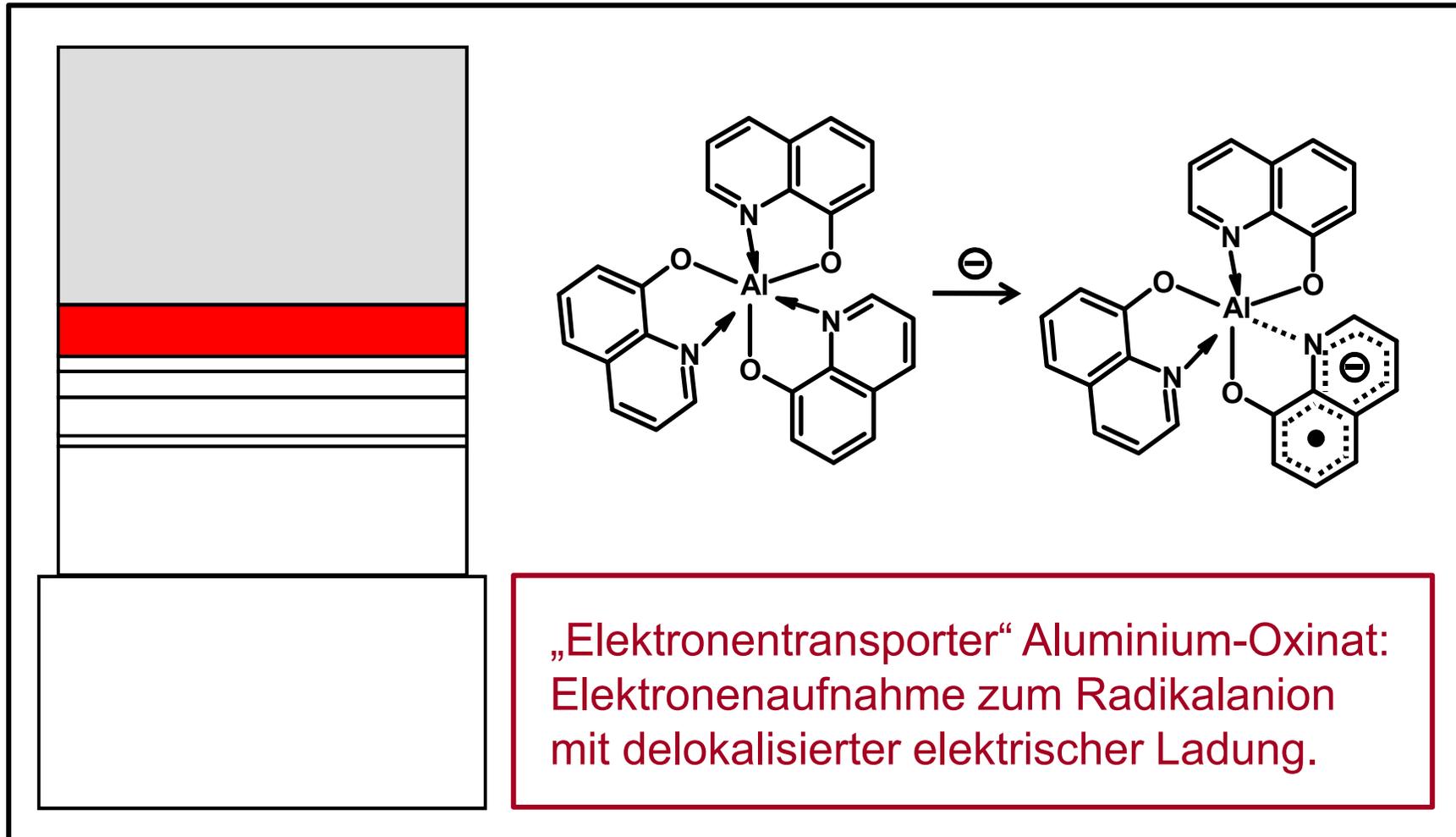
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Mehrschicht-Aufbau einer Phosphoreszenz-OLED.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

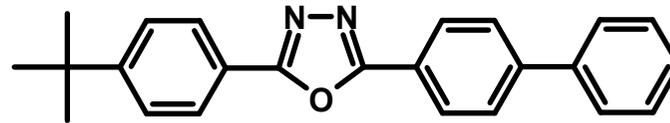
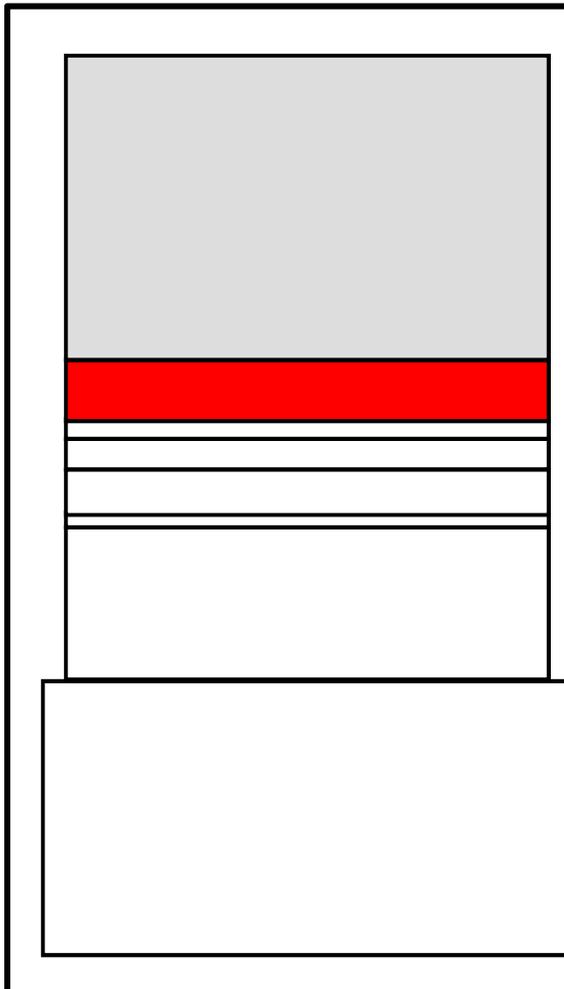
(Metall)Organische **Elektronentransportschicht**,
Strukturbeispiel.



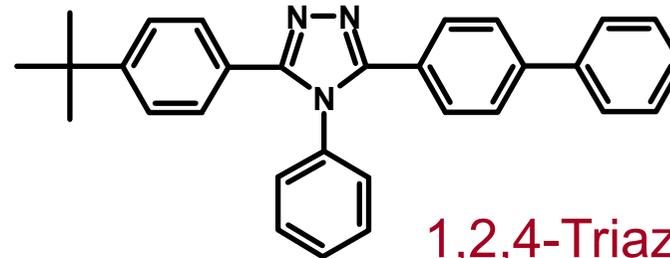
„Elektronentransporter“ Aluminium-Oxinat:
Elektronenaufnahme zum Radikalanion
mit delokalisierte elektrischer Ladung.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

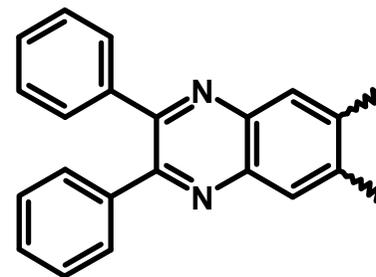
Organische **Elektronentransportschicht**, Strukturbeispiele.



1,3,4-Oxadiazol-Typ



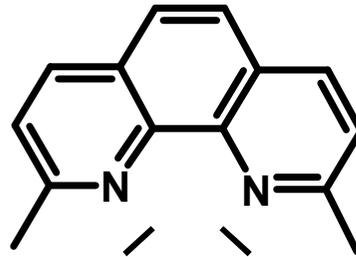
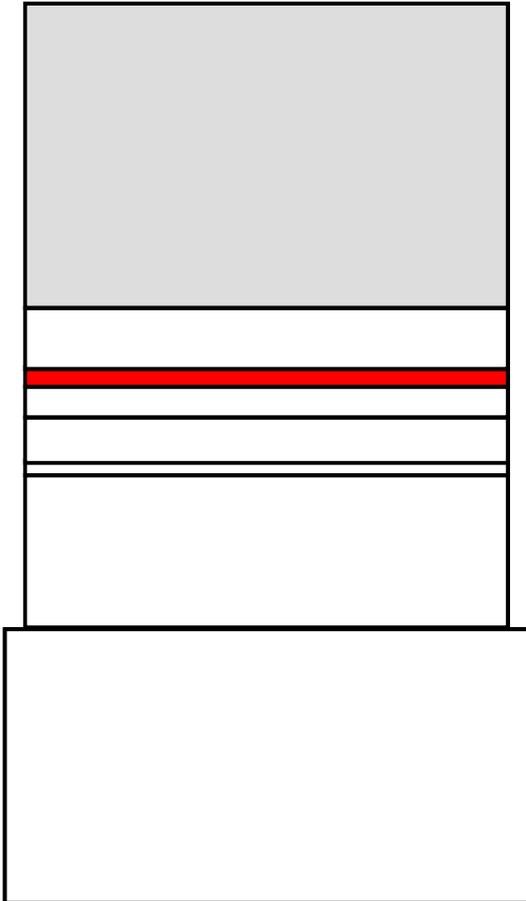
1,2,4-Triazol-Typ



Chinoxalin-Typ

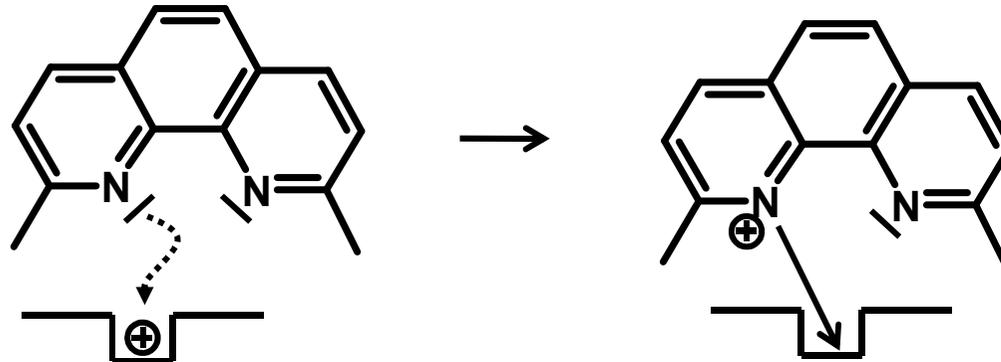
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Organische **Lochblockierschicht**, Strukturbeispiel.



2,9-Dimethyl-1,10-Phenanthrolin

Blockier-Mechanismus:

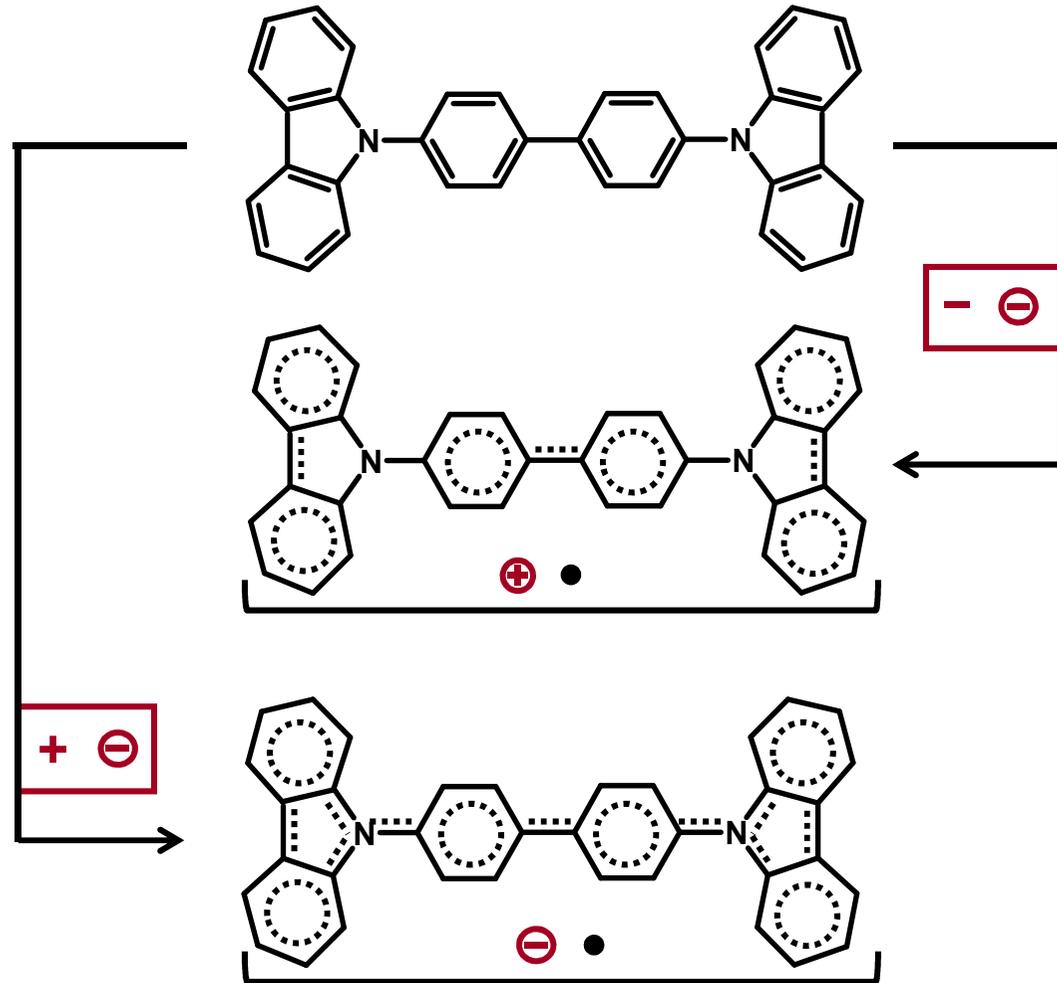
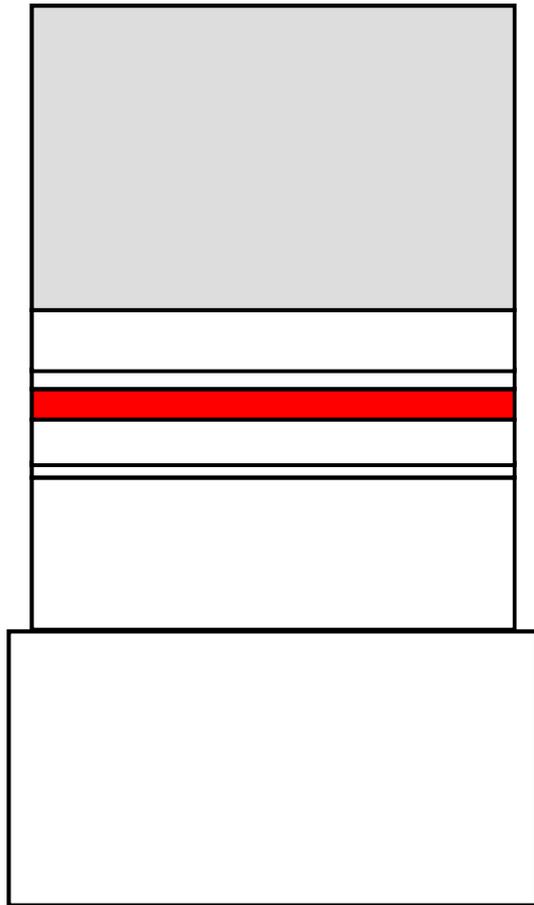


Elektronenloch: Ein nicht rekombinierter „Überläufer“ aus der Emitterschicht.

Kationische „Energimulde“, es erfolgt keine intermolekulare, „saltatorische“ Weiterleitung.

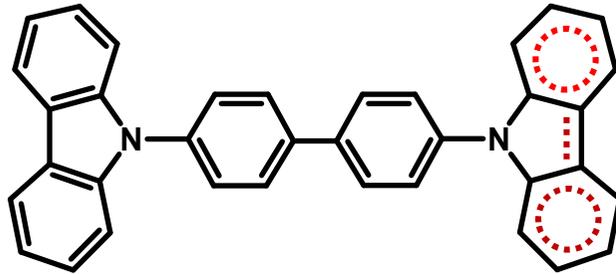
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Organische **Rekombinationsschicht**,
Strukturbeispiel, Elektronenaufnahme, Elektronenabgabe.

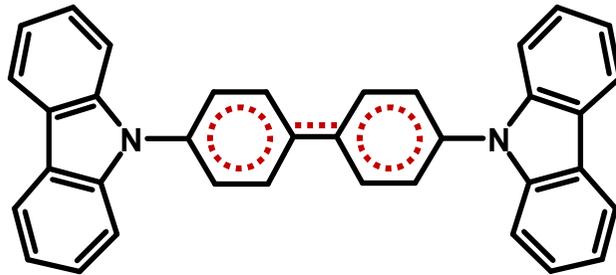


N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

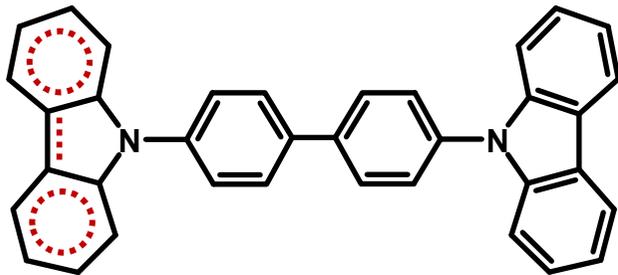
Organische **Rekombinationsschicht**: Strukturbeispiel;
Drei Zonen mit der Möglichkeit zur Elektronenaufnahme.



Radikal-Anion $\ominus \bullet$



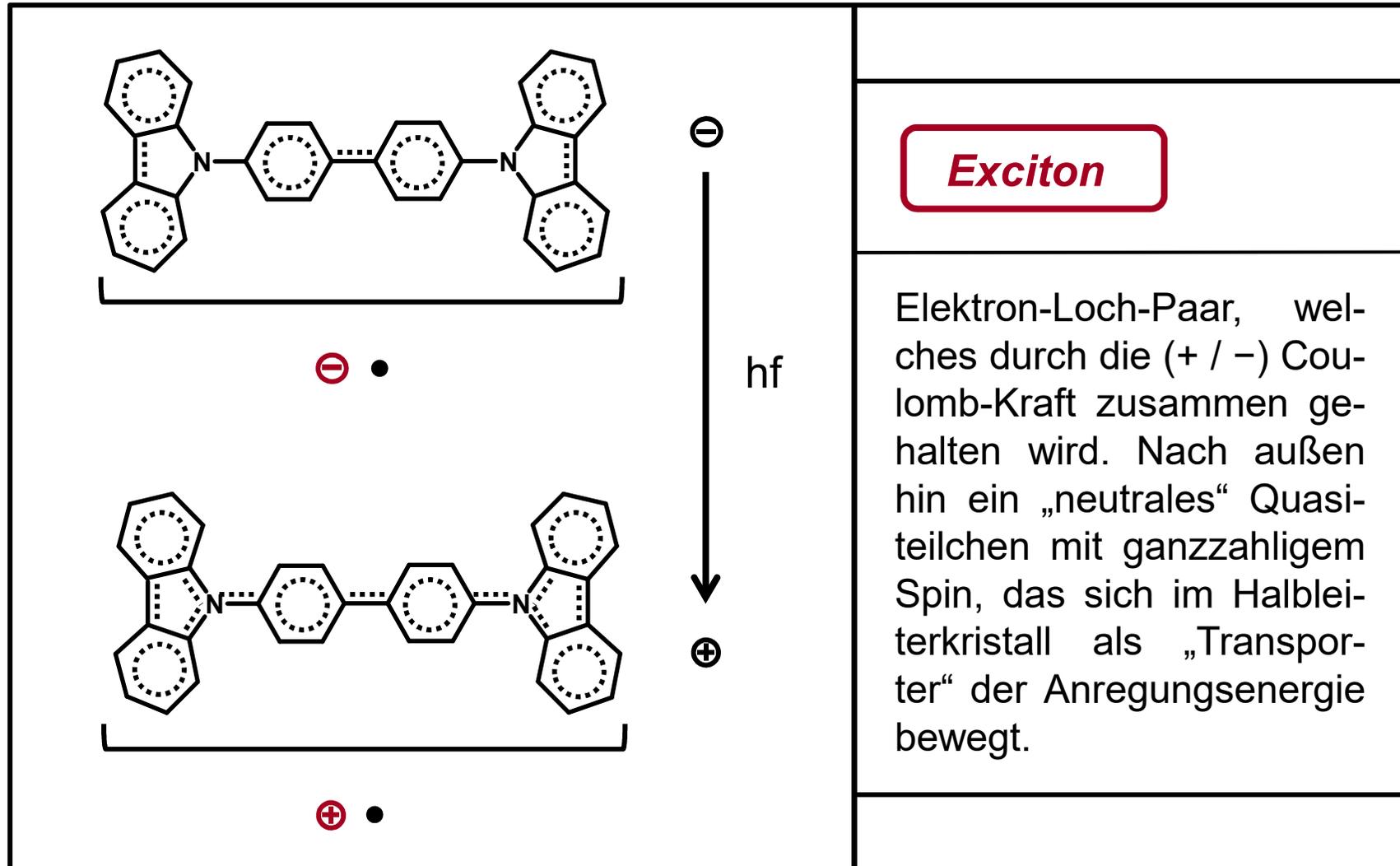
Radikal-Anion $\ominus \bullet$



Radikal-Anion $\ominus \bullet$

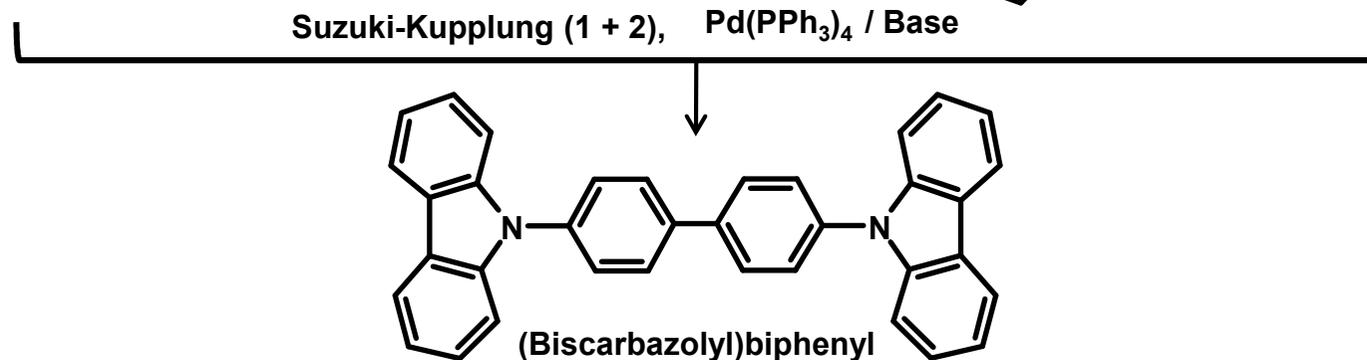
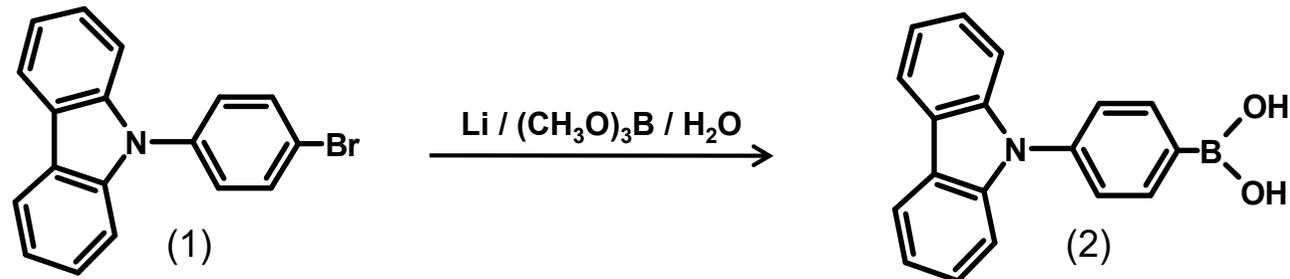
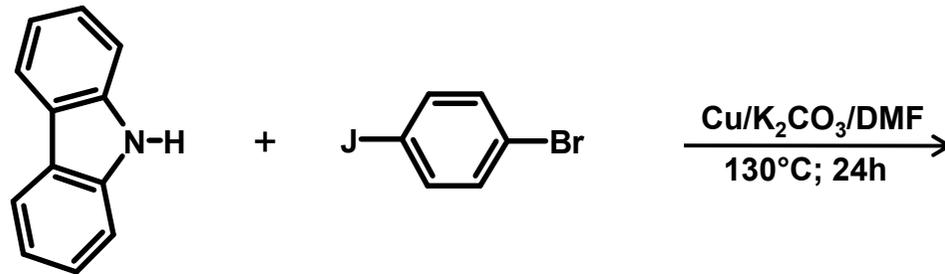
Neue aromatische Amine zur Verwendung in „OLEDs“

Organische **Rekombinationsschicht**: Exciton



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

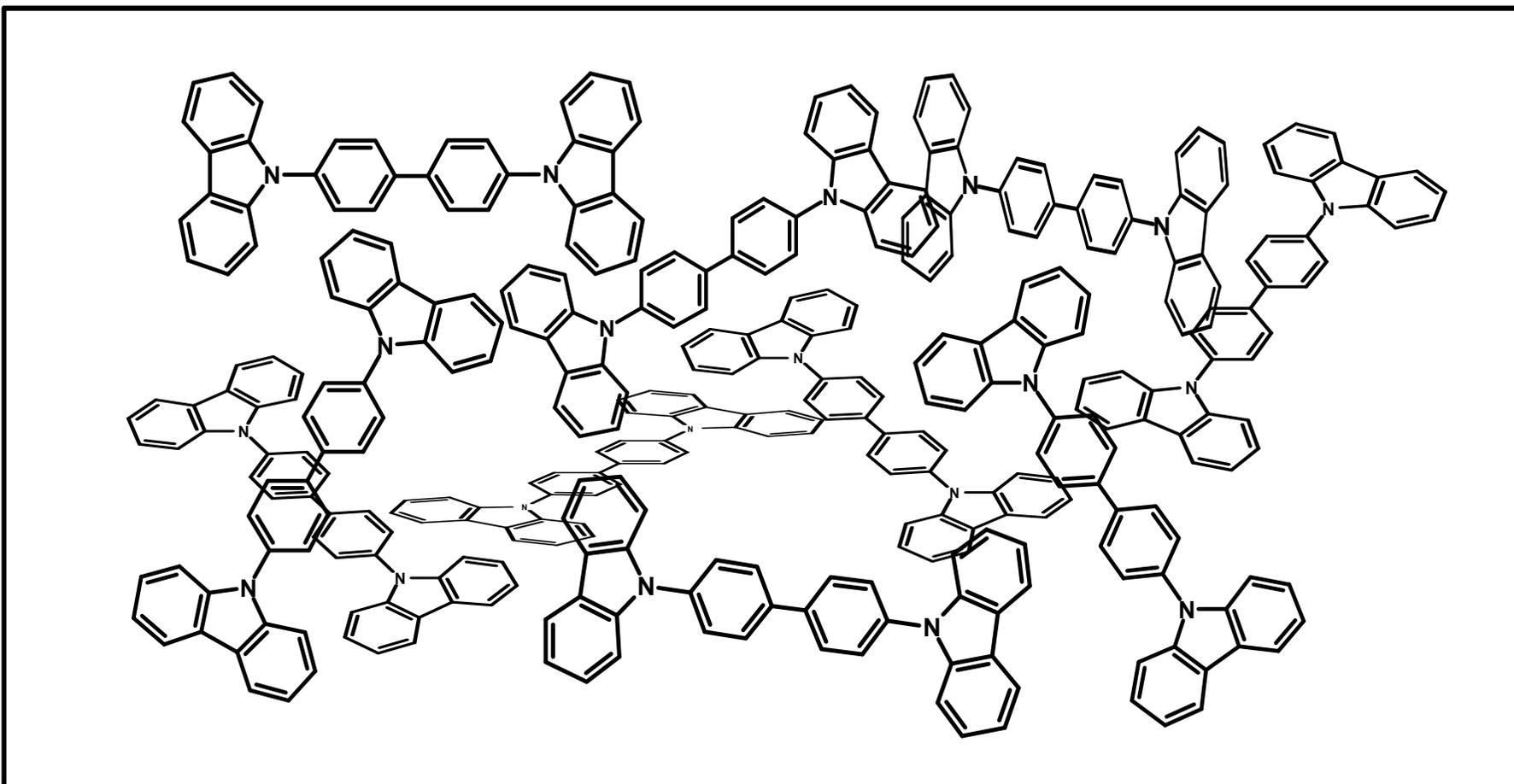
Rekombinationsschicht, Chemie, Synthese des BCBP mittels Suzuki-Kupplung.



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

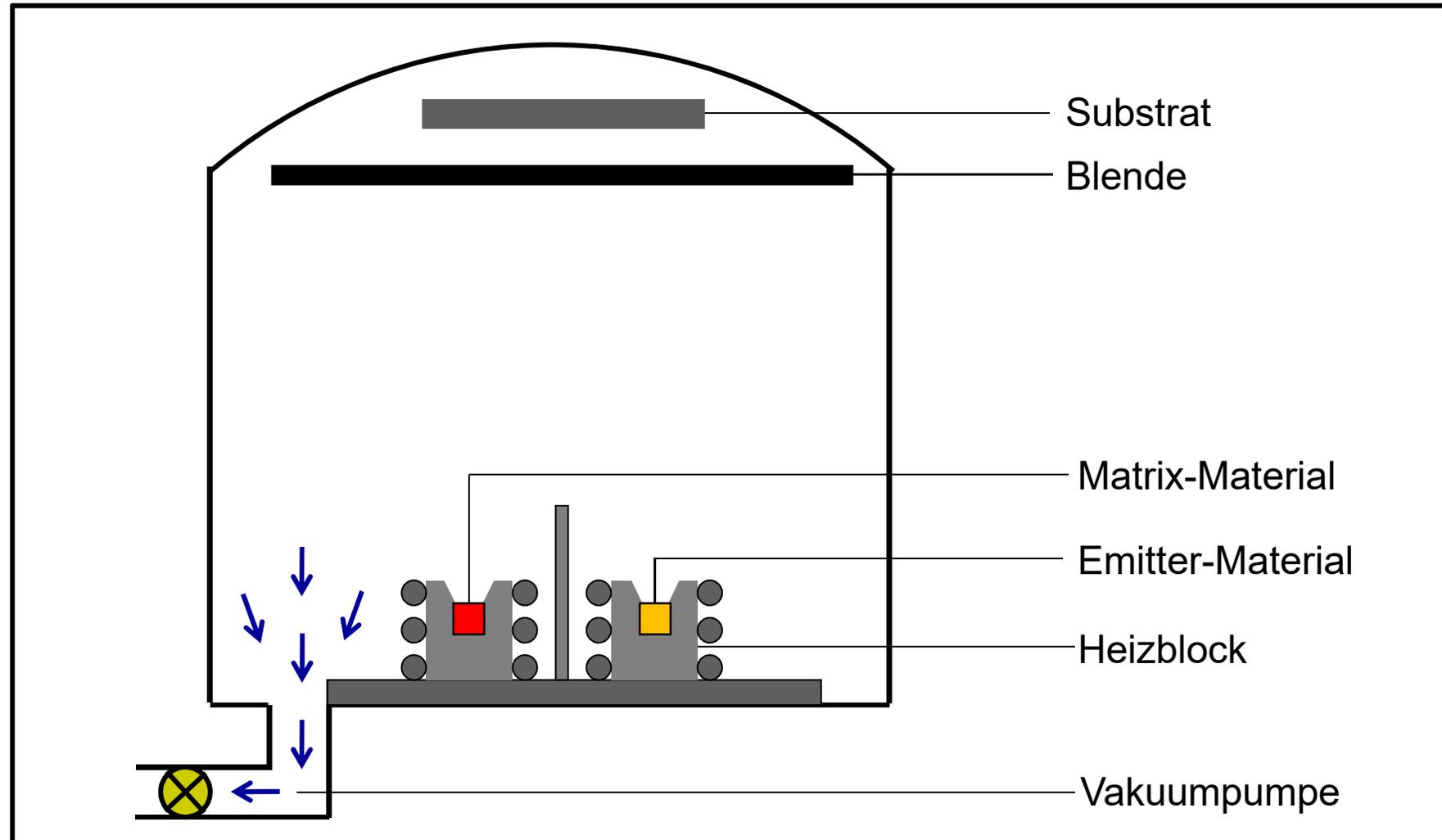
OLED, Konjugierte Aromaten (Einzelmoleküle)

**Moleküle durch „Thermische Vakuumverdampfung“ aufgetragen:
Glasartiger, nicht kristalliner Molekülverbund.**



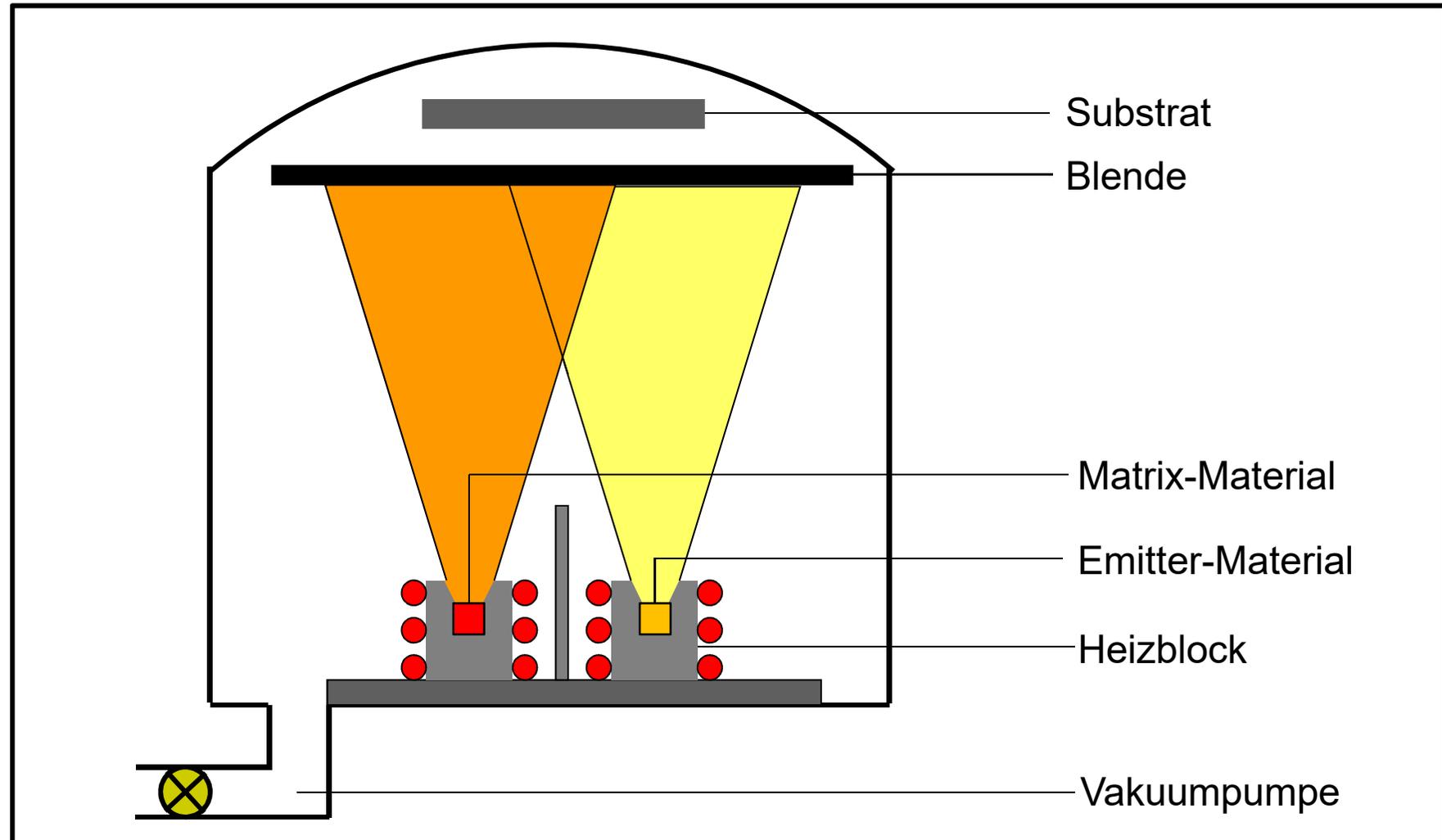
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Thermische Vakuumverdampfung, Versuchsanordnung
Ausgeschaltete Heizung, geschlossene Blende.



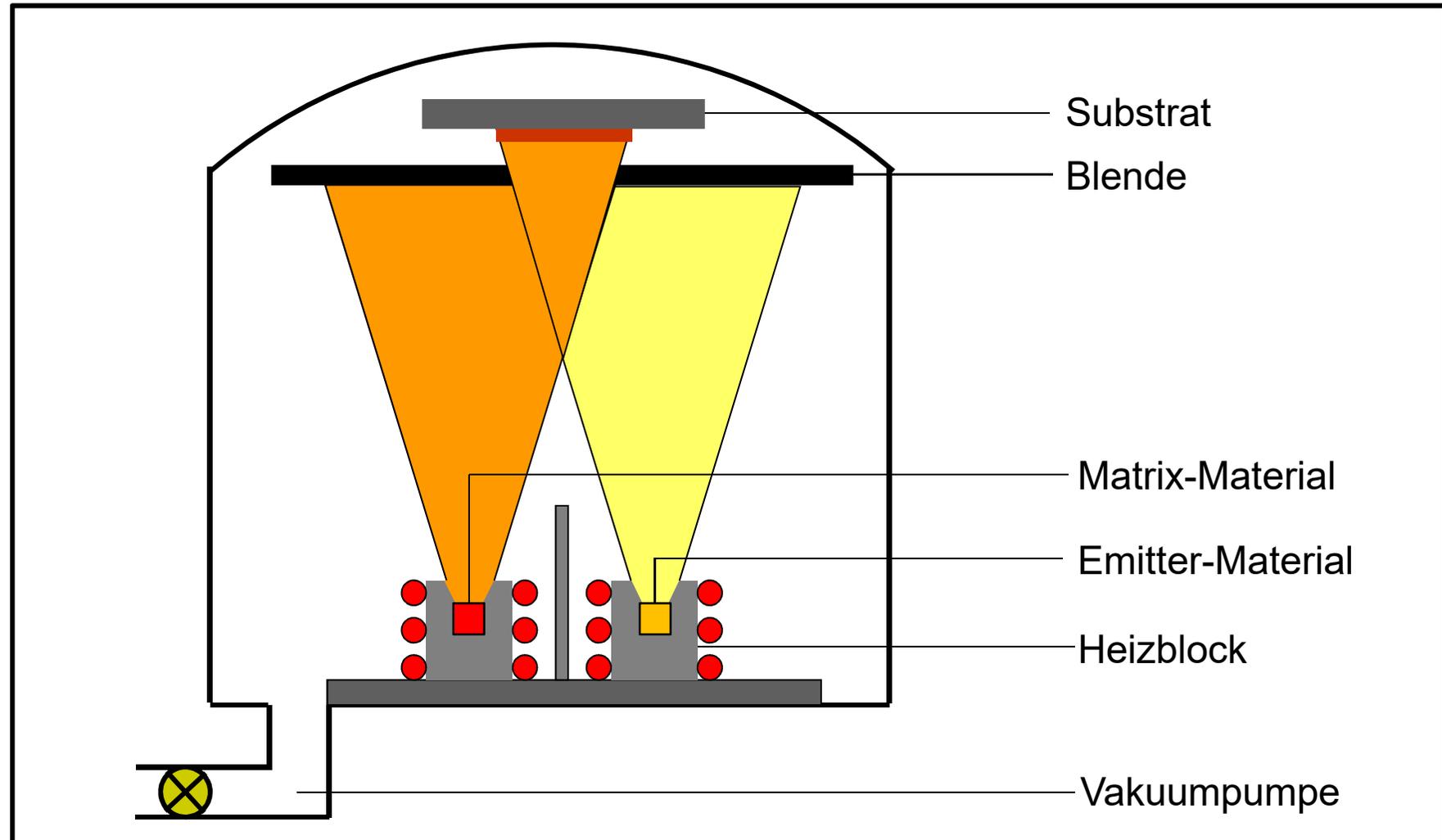
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Thermische Vakuumverdampfung, Versuchsanordnung
Eingeschaltete Heizung, geschlossene Blende.



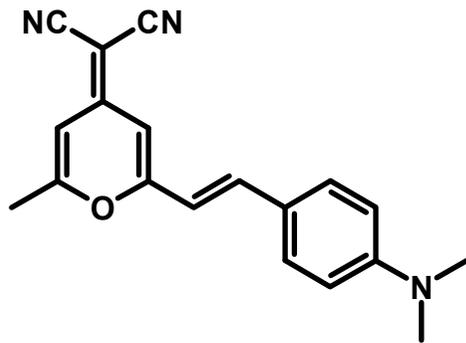
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Thermische Vakuumverdampfung, Versuchsanordnung
Eingeschaltete Heizung, geöffnete Blende.

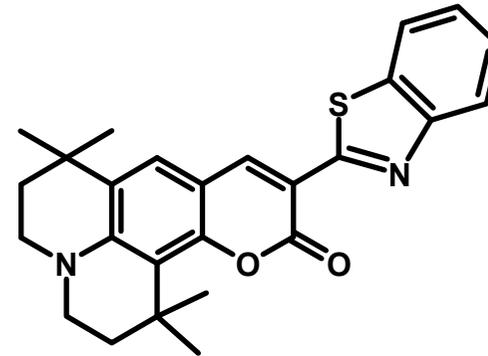


N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

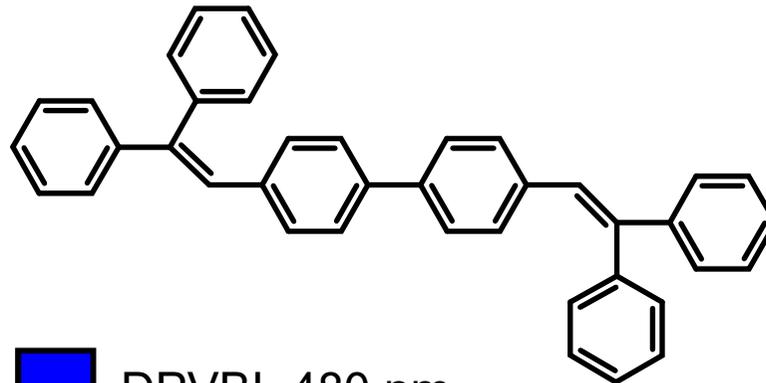
Emitterfarbstoffe, Strukturbeispiele.



 DCM, 627 nm



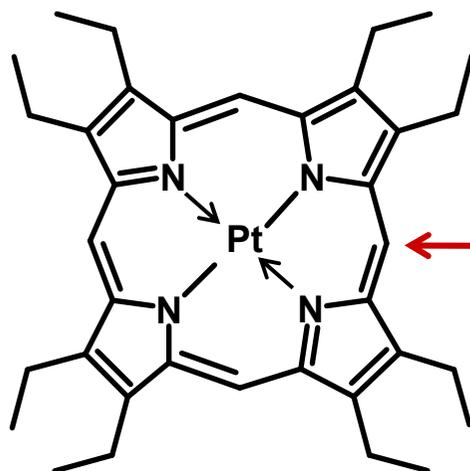
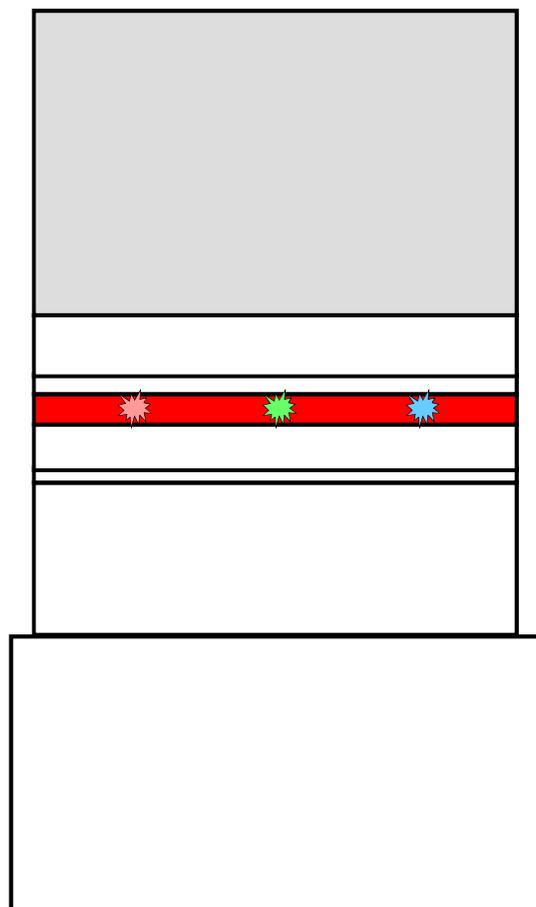
 Cumarin C545T, 550 nm



 DPVBI, 480 nm

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

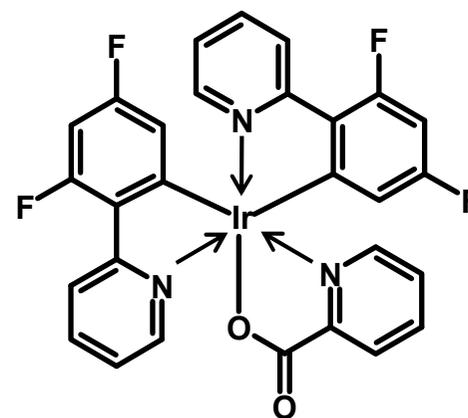
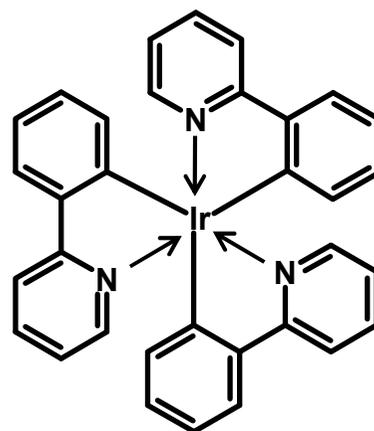
Rekombinationsschicht: Triplett-Emitter mit Platinmetallen als „Induktoren“, Strukturbeispiele.



PtOEP: Platin-octaethylporphyrin, roter Emitter

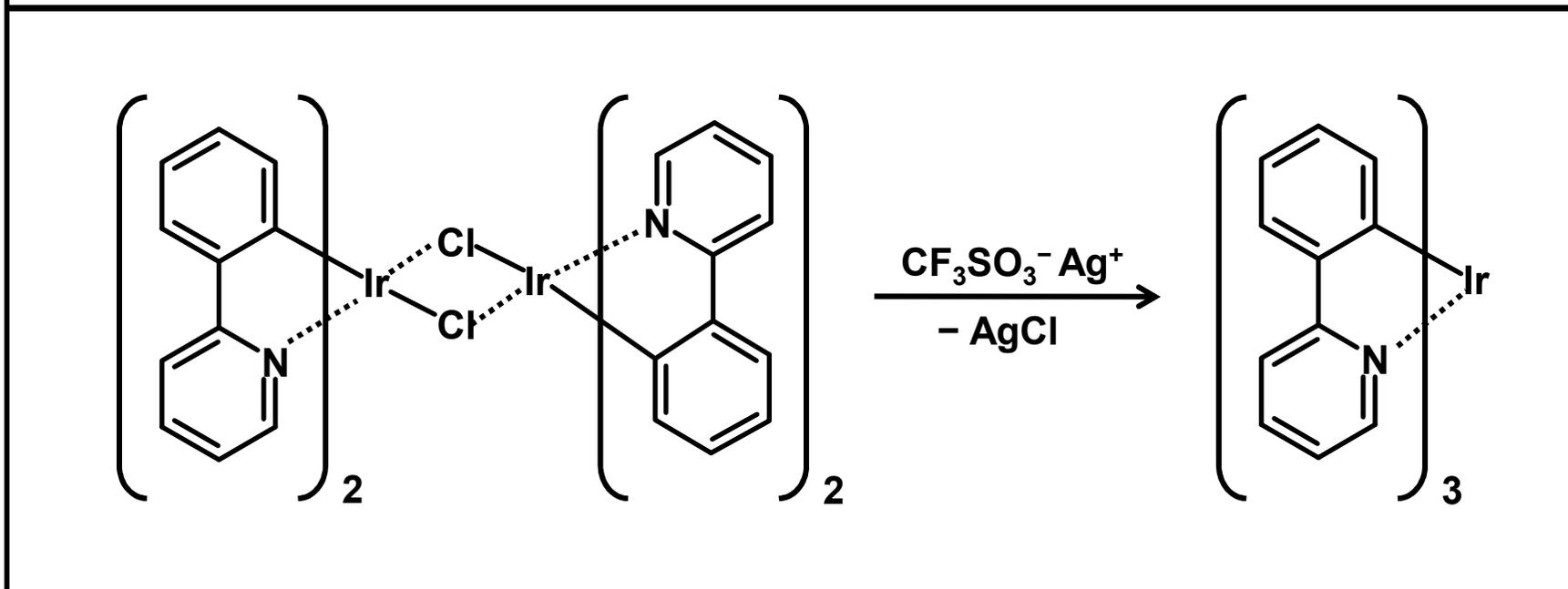
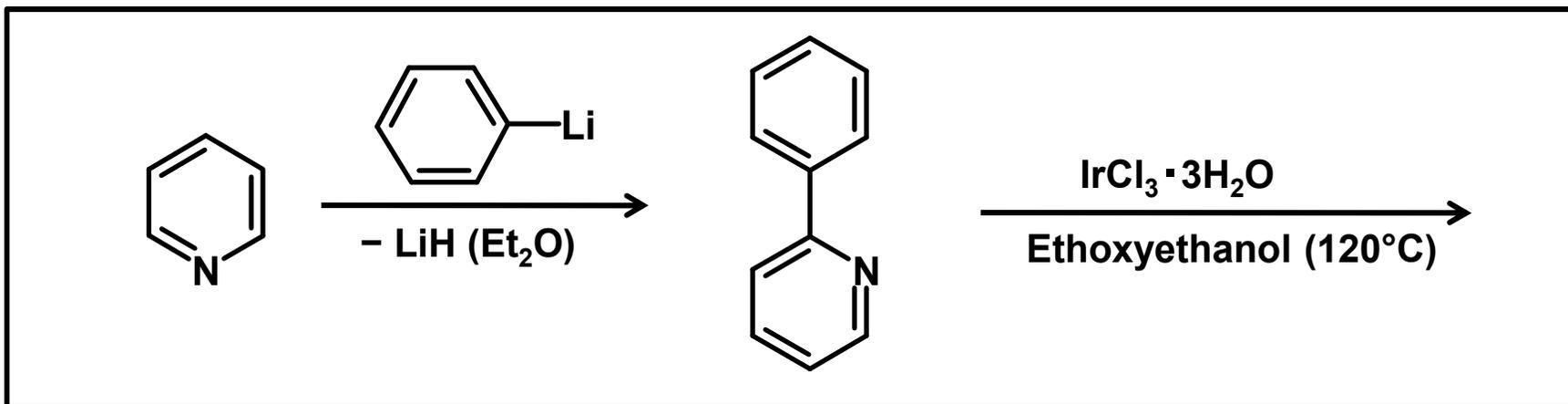
Ir(ppy)₃: Fac-Tri(2-phenylpyridin)-iridium, grüner Emitter

Firpic, blauer Emitter



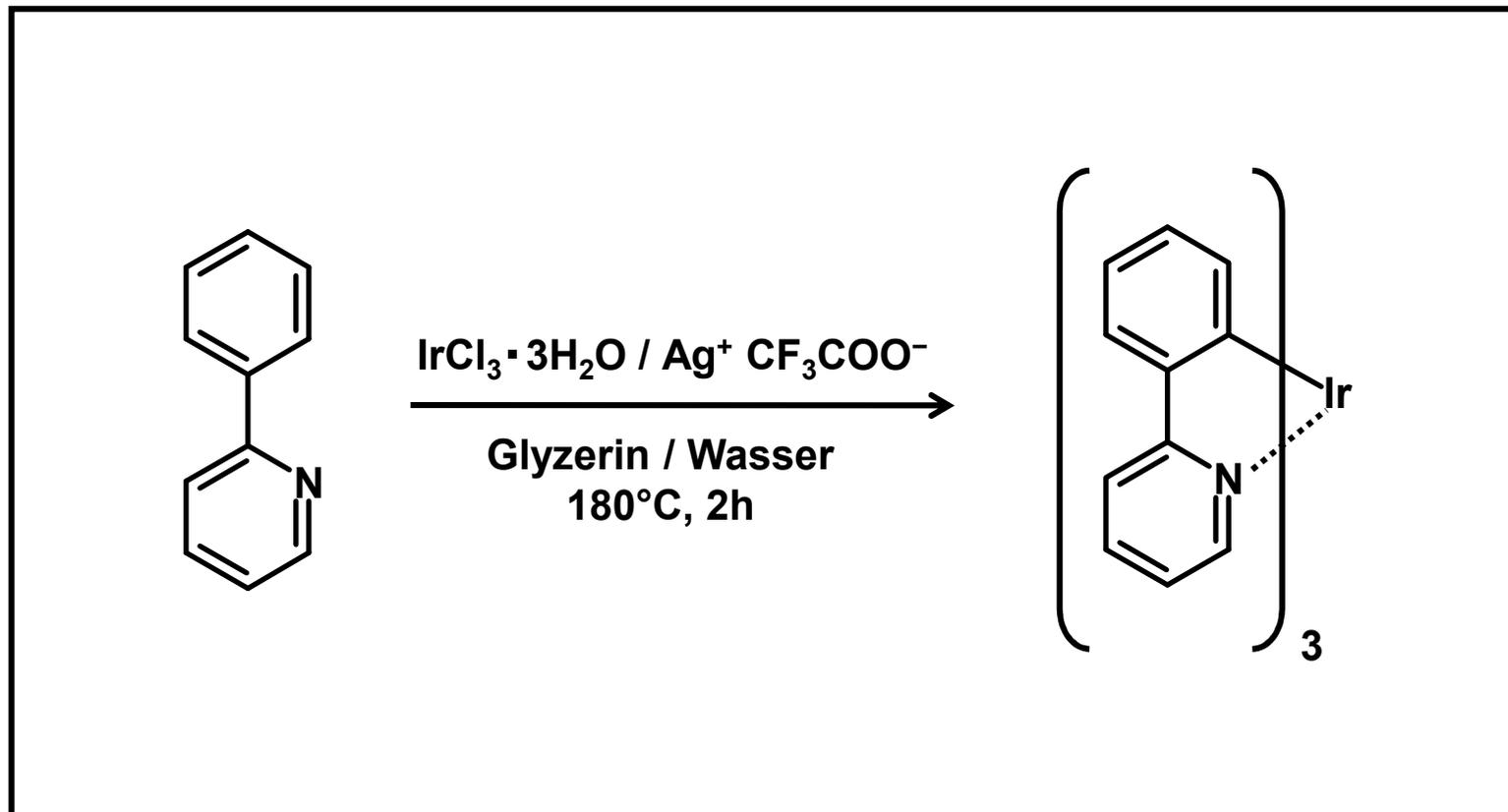
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Synthese von Ir(ppy)₃ aus Pyridin und Phenyllithium.



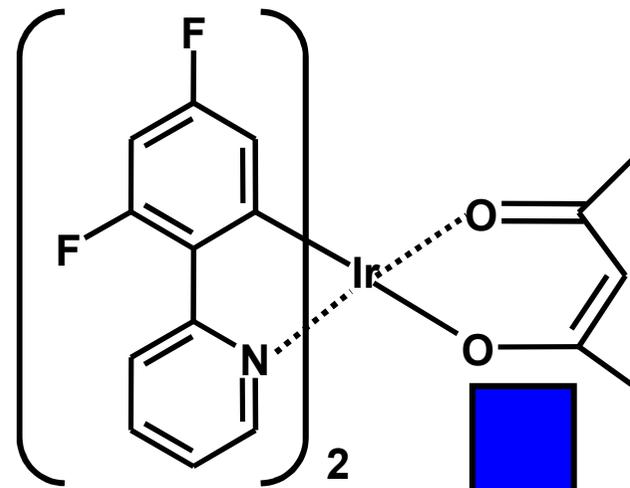
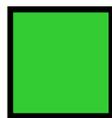
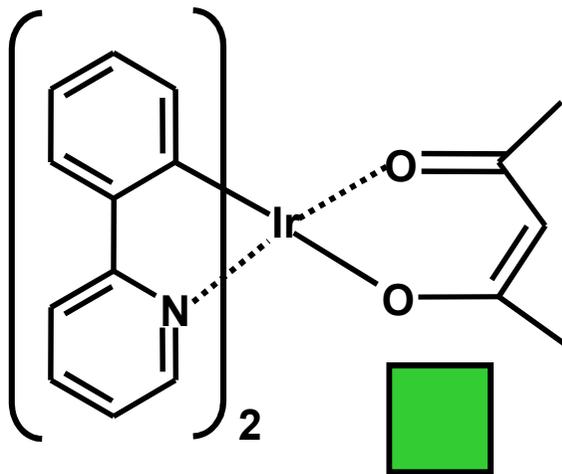
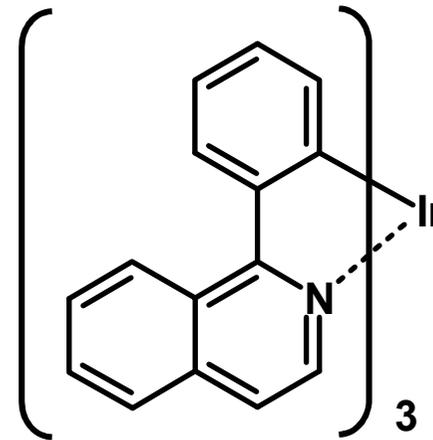
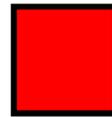
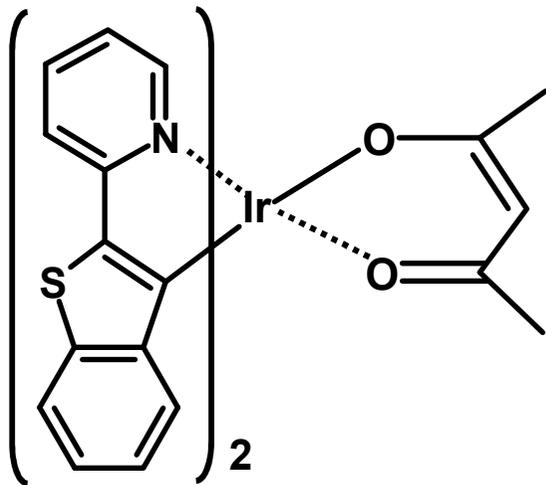
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Neue, einstufige Synthese von Ir(ppy)₃.



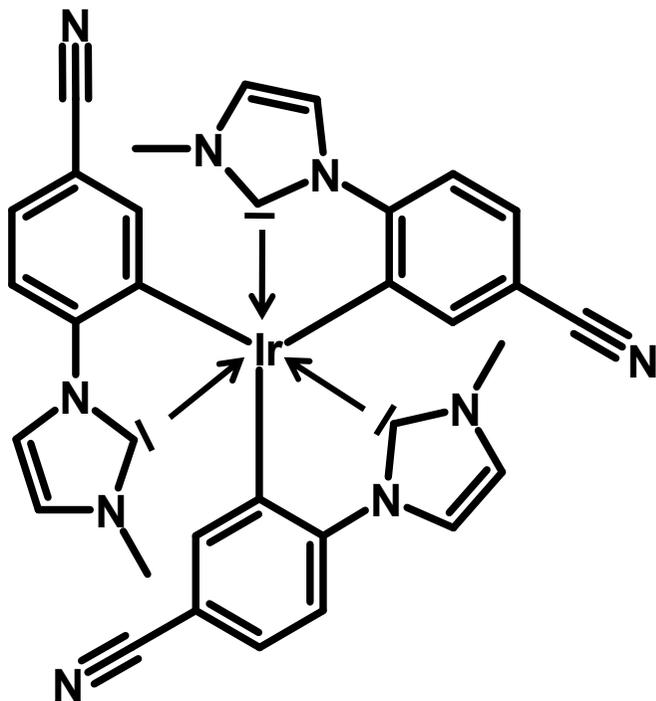
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weitere Triplett-Emitter, Strukturbeispiele.

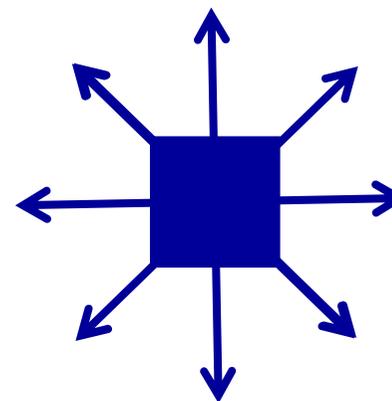


N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weiterer Triplett-Emitter, Strukturbeispiel.



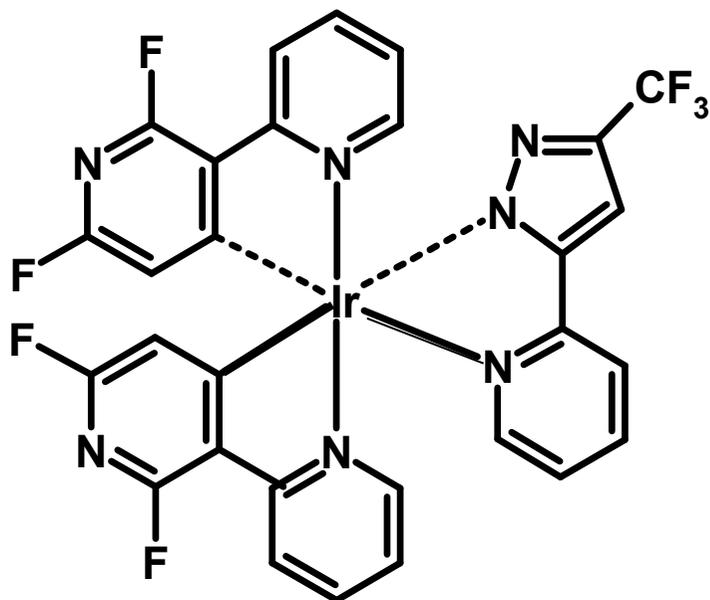
Ir-NHC:
Ir-N-Heterocyclic Carben



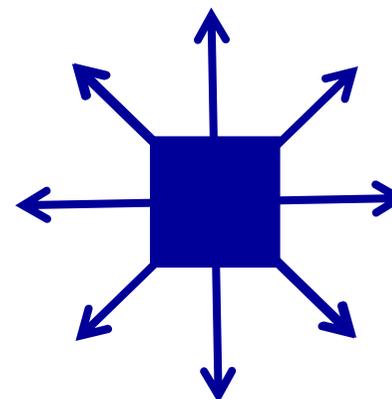
Ir (cn-ptnic)₃ :
Carben-Triplett-Emitter mit intensiver **Blaulich**-Emission.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weiterer Triplett-Emitter, Strukturbeispiel.



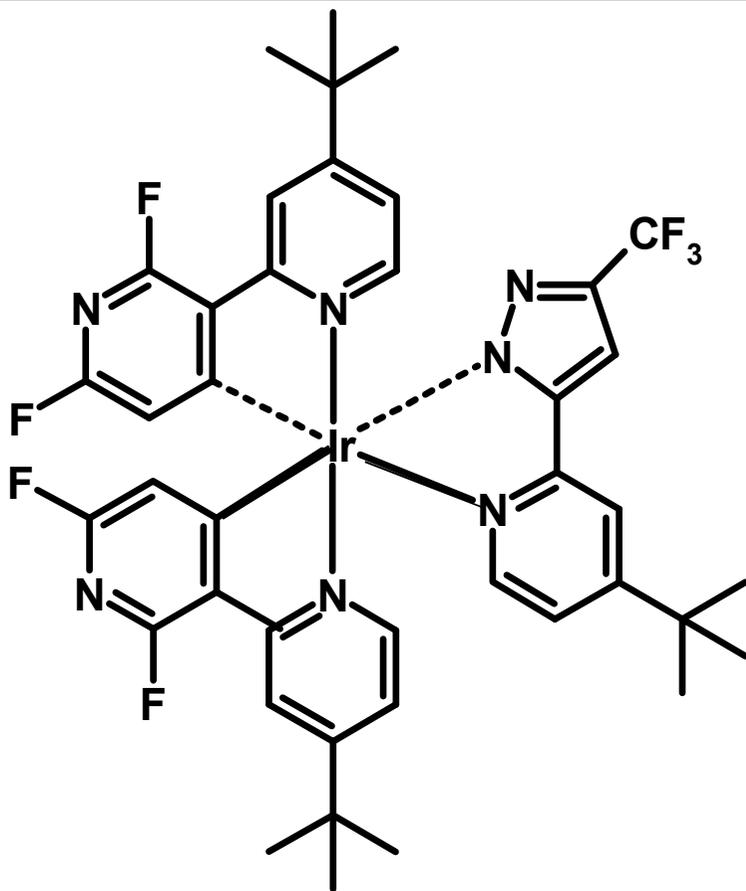
Ir-(dfppy)₂(fppz)
Ir-Heteroleptic Complex



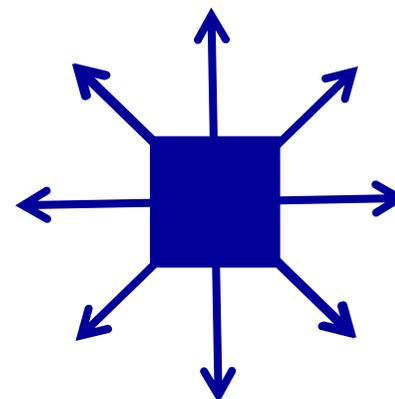
Ir-(dfppy)₂(fppz):
Ir (III) Komplex mit intensiver **Blaulicht**-Emission.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weiterer Triplett-Emitter, Strukturbeispiel.



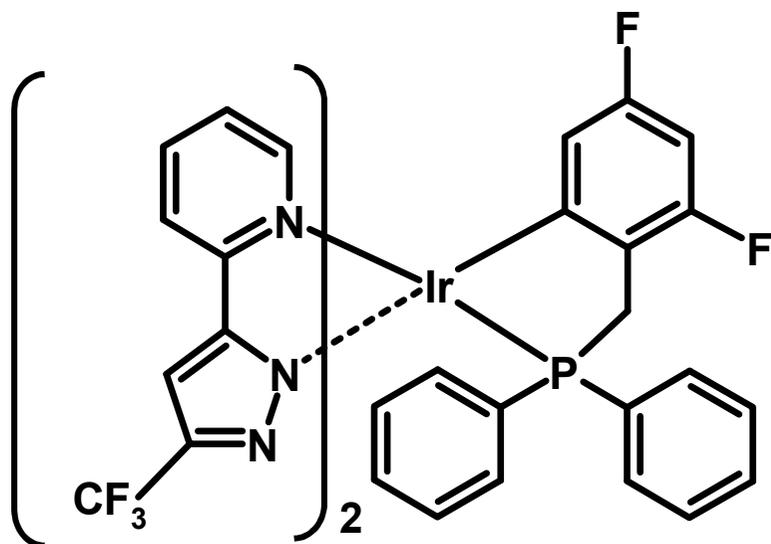
Ir-(dfpybpy)₂(fpbpz)
Ir-Heteroleptic Complex



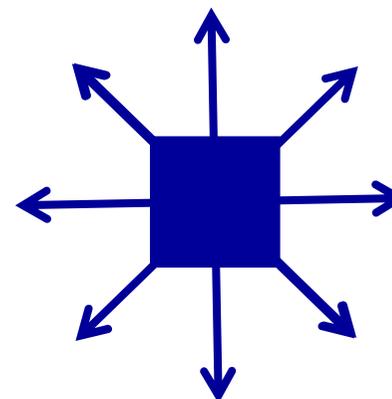
Ir-(dfpybpy)₂(fpbpz):
Ir (III) Komplex mit intensiver **Blaulicht**-Emission.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weiterer Triplett-Emitter, Strukturbeispiel.



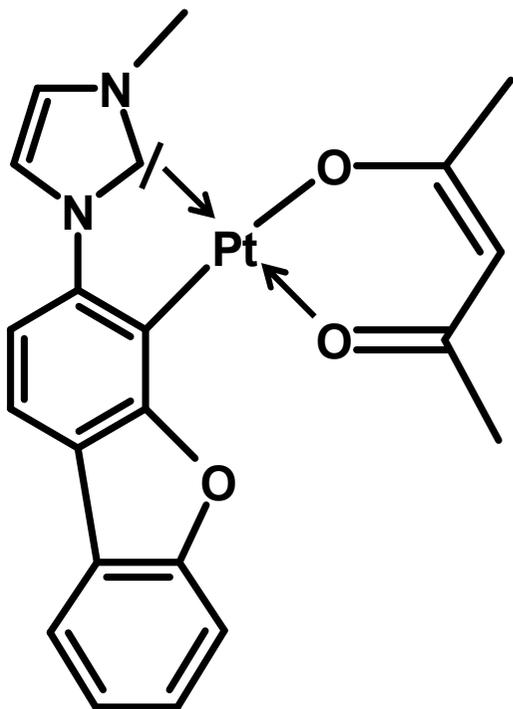
Ir-Phosphan-Complex



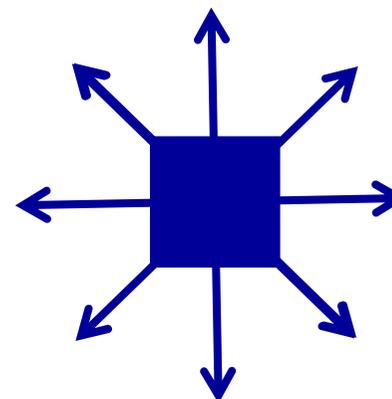
Ir (III) Komplex mit intensiver **Blaulicht**-Emission.
(Yang, Xu, Zhou, 2015)

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weiterer Triplett-Emitter, Strukturbeispiel.



Pt-NHC:
Pt-N-Heterocyclic Carben

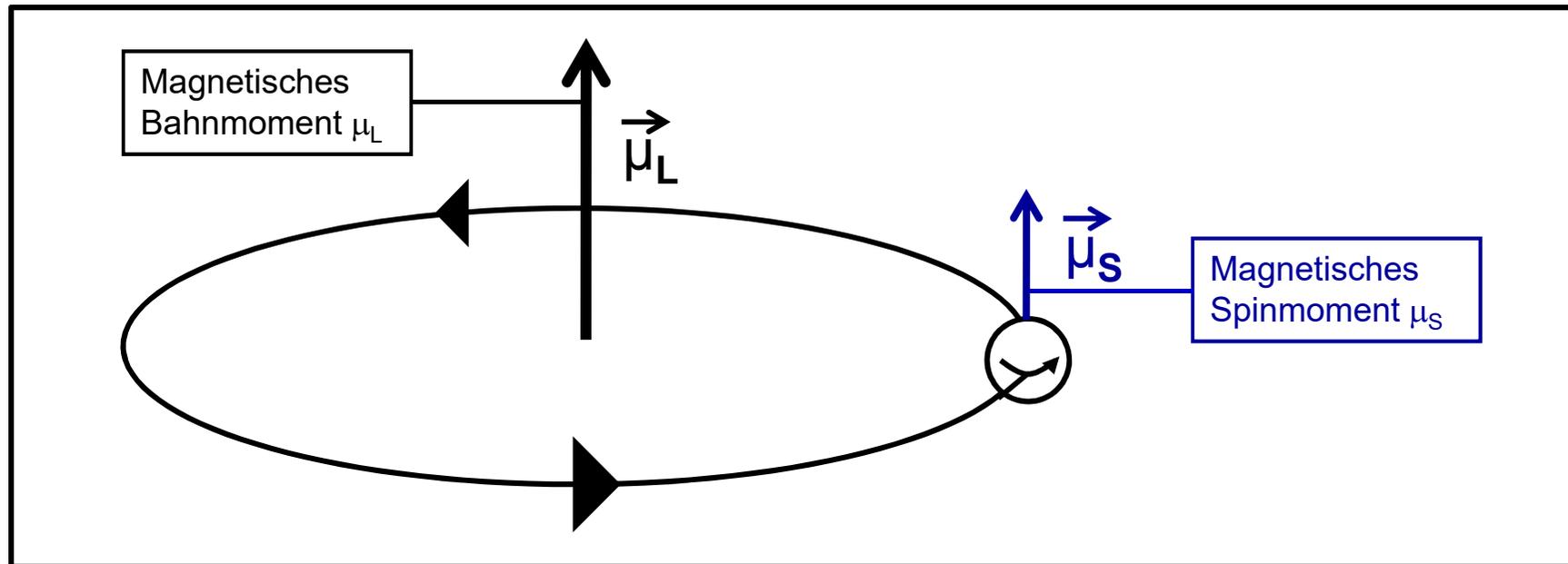


Carben-Triplett-Emitter mit intensiver **Blau**licht-Emission
(BASF SE, 2010)

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Triplett-Emitter, Spin-Bahn-Wechselwirkung.

Singulett-Zustand \longrightarrow Triplett-Zustand (Intersystem Crossing, ISC):
Nur bei großer **Spin-Bahn-Wechselwirkung** in Anwesenheit „schwerer“ Atome möglich. Die **Spin-Bahn-Wechselwirkung** ist **magnetischer** Natur.



Spindrehimpuls (S) + Bahndrehimpuls (L) = Gesamtdrehimpuls (J).

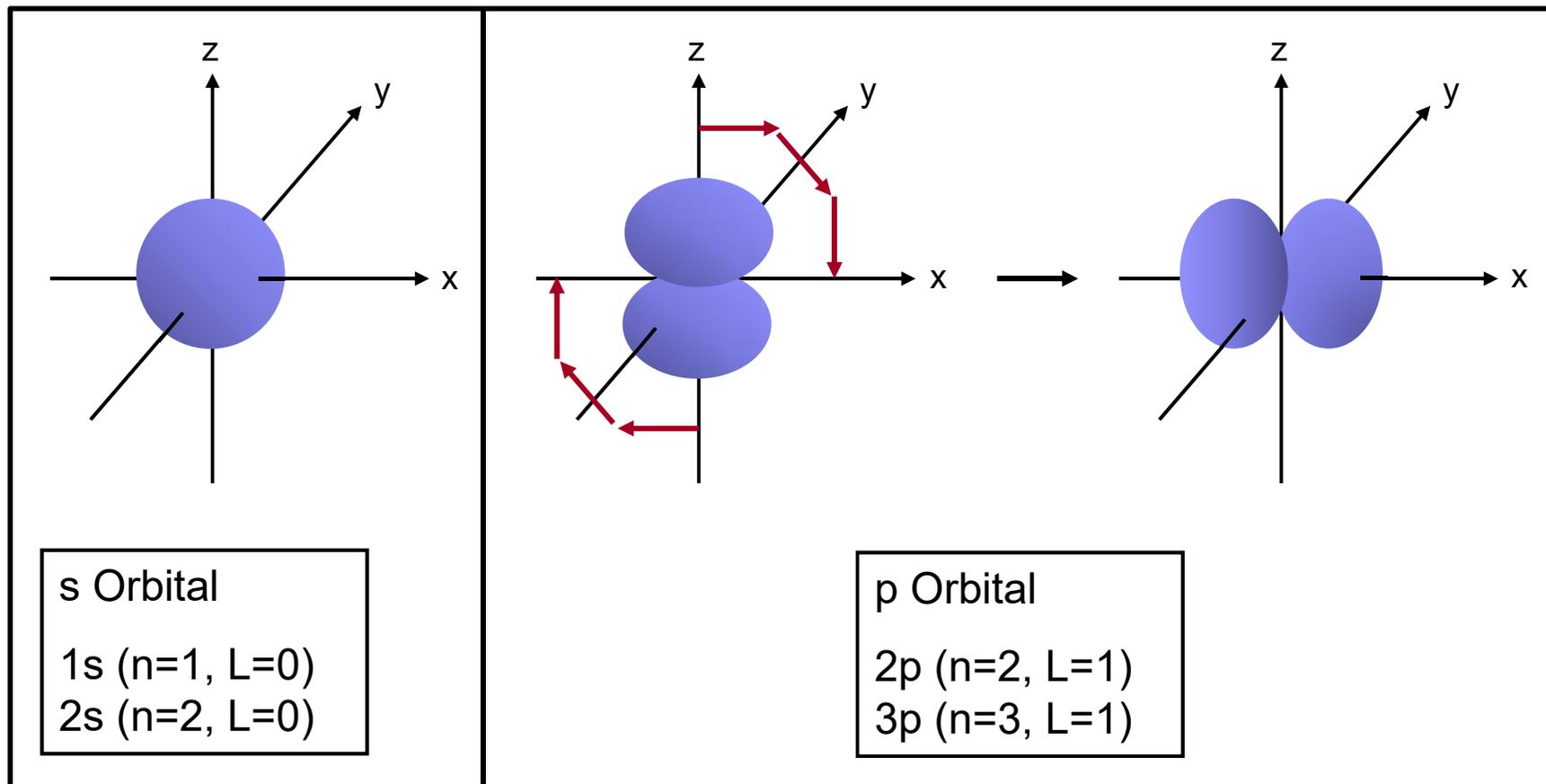
$$\longrightarrow S + L = J.$$

Die Wechselwirkung zwischen den damit verknüpften μ_S und μ_L ist $\sim Z^4$ (!);
(Z = Kernladungszahl).

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Triplett-Emitter, Spin-Bahn-Wechselwirkung.

Damit ein atomar gebundenes Elektron einen Bahndrehimpuls besitzt, muss es möglich sein, das Orbital, welches es besetzt, durch **Rotation** in ein vollständig äquivalentes, entartetes Orbital zu überführen:



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Triplett-Emitter

Elektronenkonfiguration von Iridium und von Platin.

Iridium

Ir

(Xe) $4f^{14} 5d^7 6s^2$

Z = 77

Platin

Pt

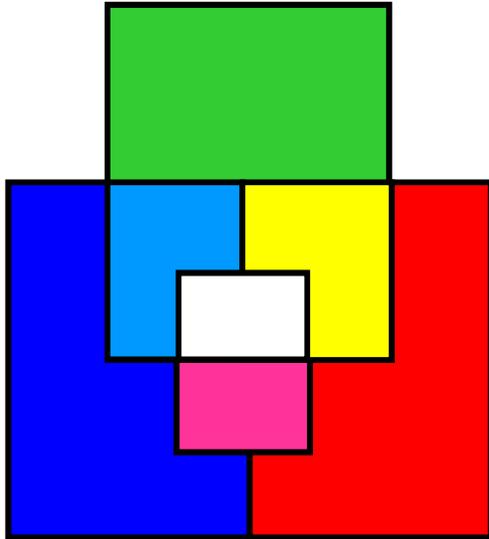
(Xe) $4f^{14} 5d^9 6s^1$

Z = 78

Elektronen mit hohem
Bahndrehimpuls.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Additive Farbmischung

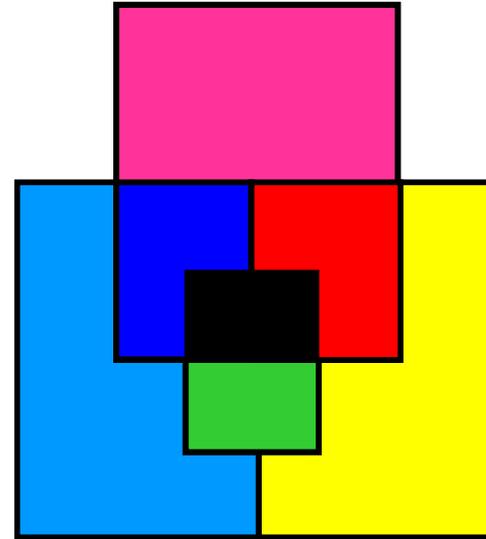


Summarische Überlagerung verschiedenfarbiger Lichtwellen an ein und derselben Stelle.

Beispiele:
Farbfernseher, Farbprojektoren,
Leuchtdioden.

Rot + Blau + Grün → Weiß

Subtraktive Farbmischung



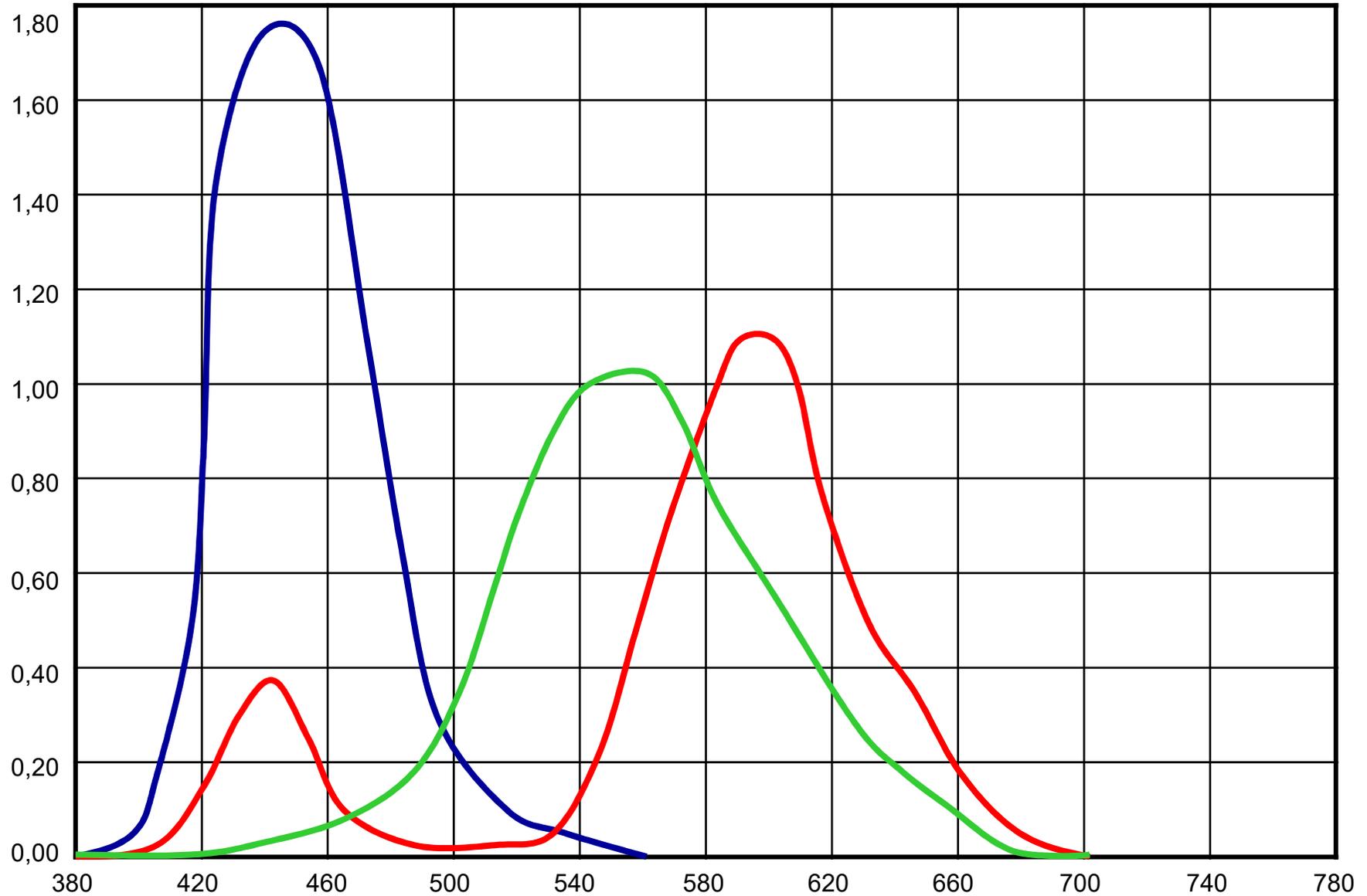
Selektive Ausblendung/Absorption verschiedenfarbiger Lichtwellen an ein und derselben Stelle

Beispiele:
Hintereinander geschaltete Farbfilter,
gemischte Farbpigmente.

Purpur + Cyan + Gelb → Schwarz

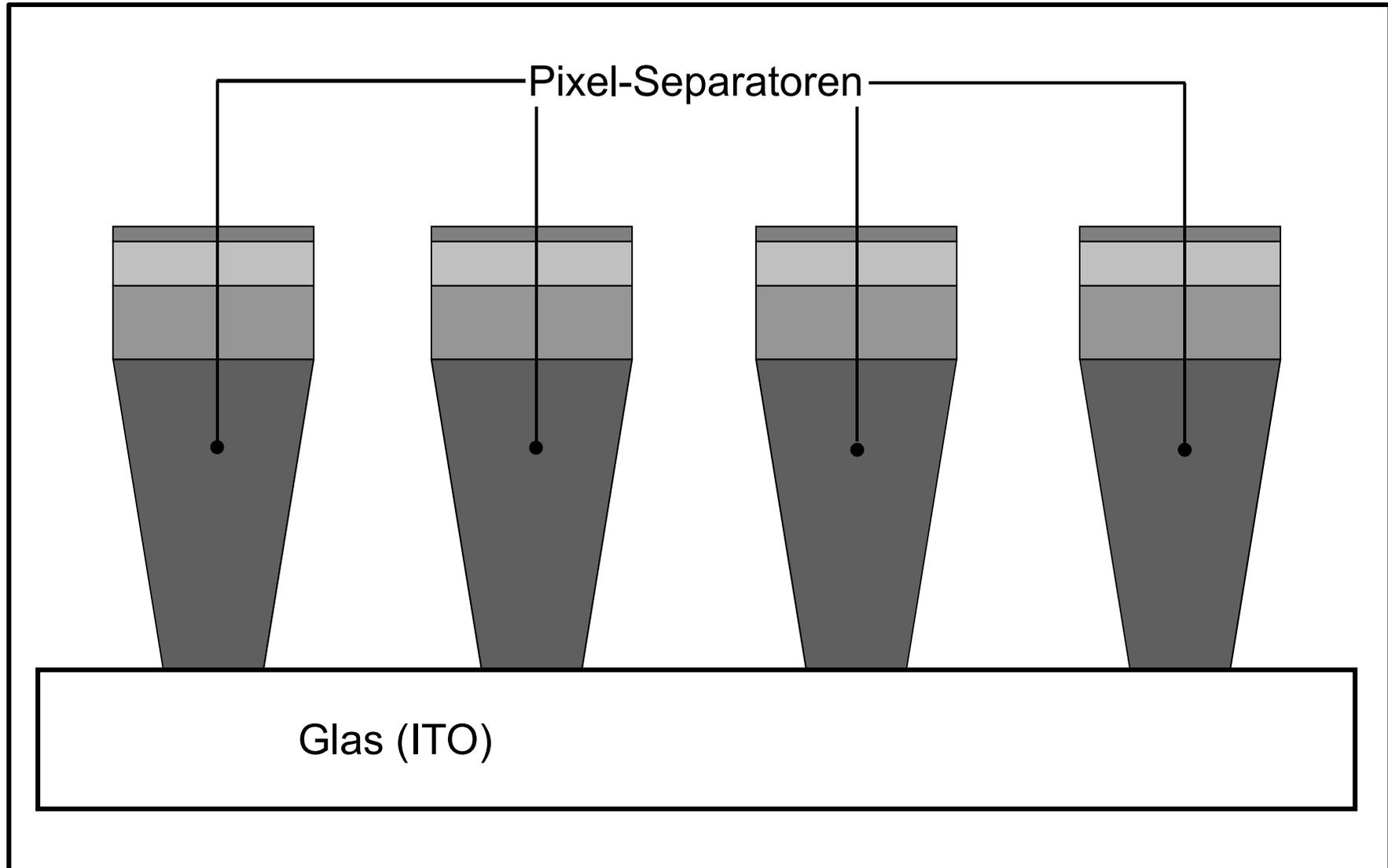
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Normspektralwerte farbtüchtiger Sehzapfen im Auge.



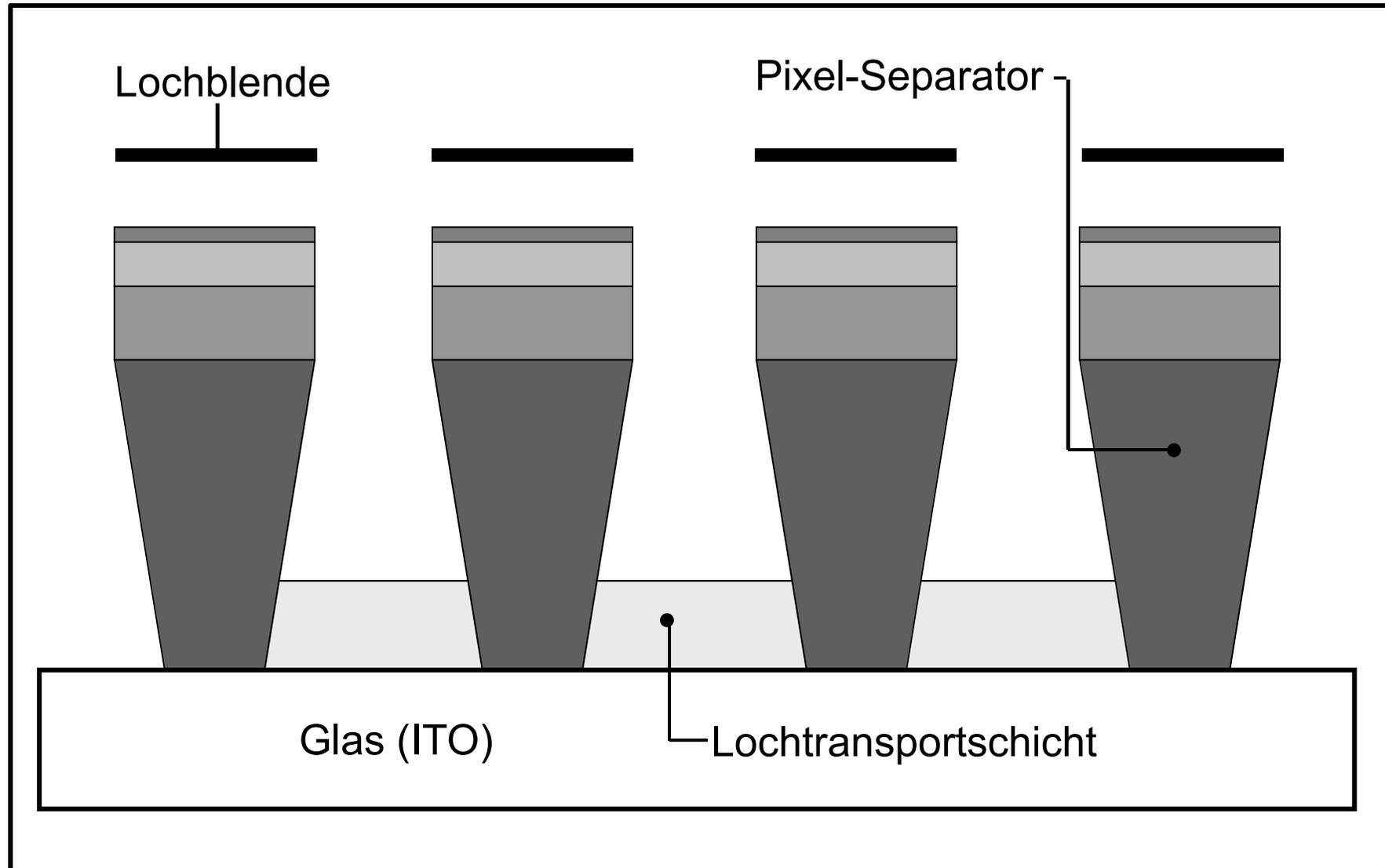
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays.



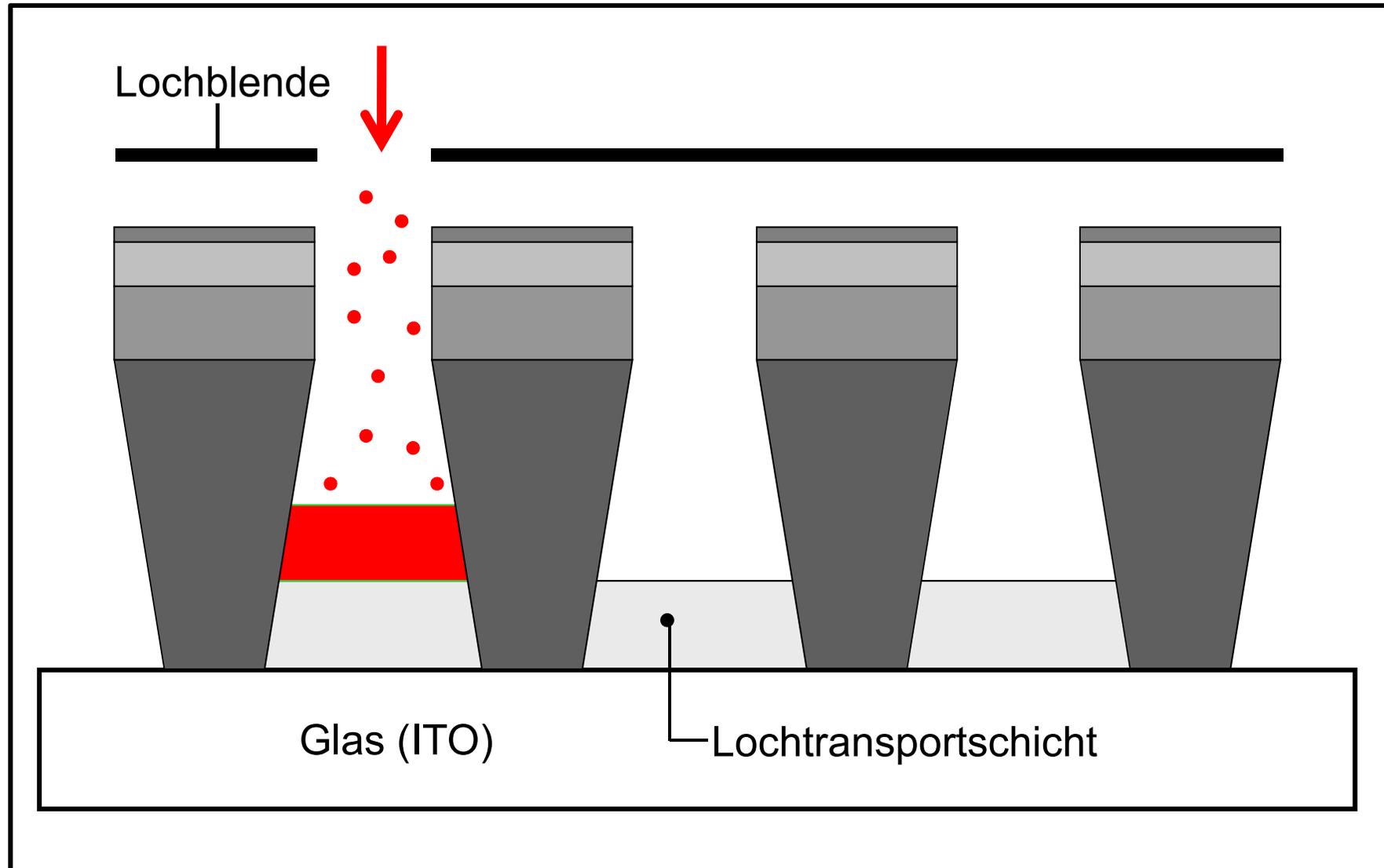
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays.



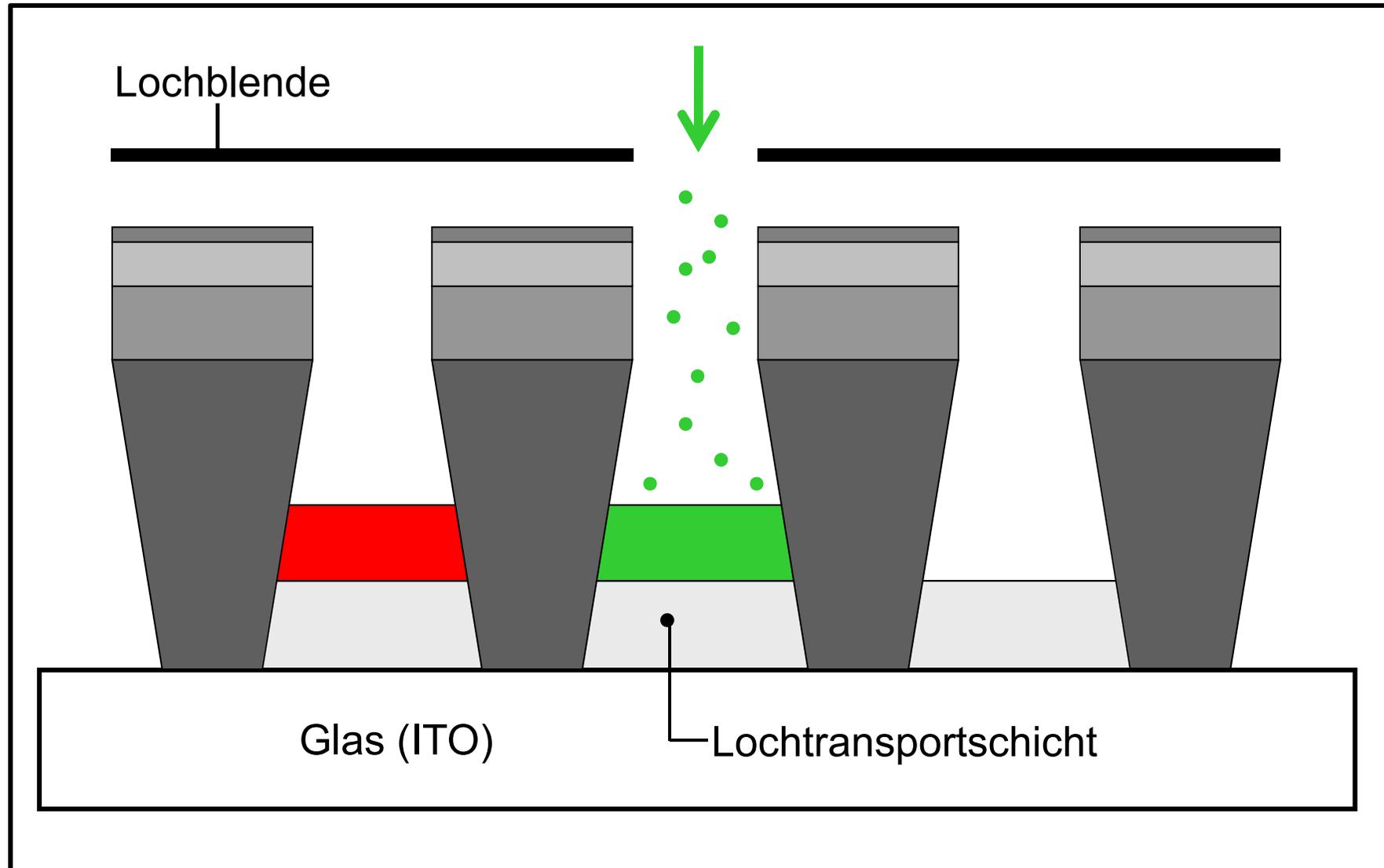
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays (Piezo-Inkjet).



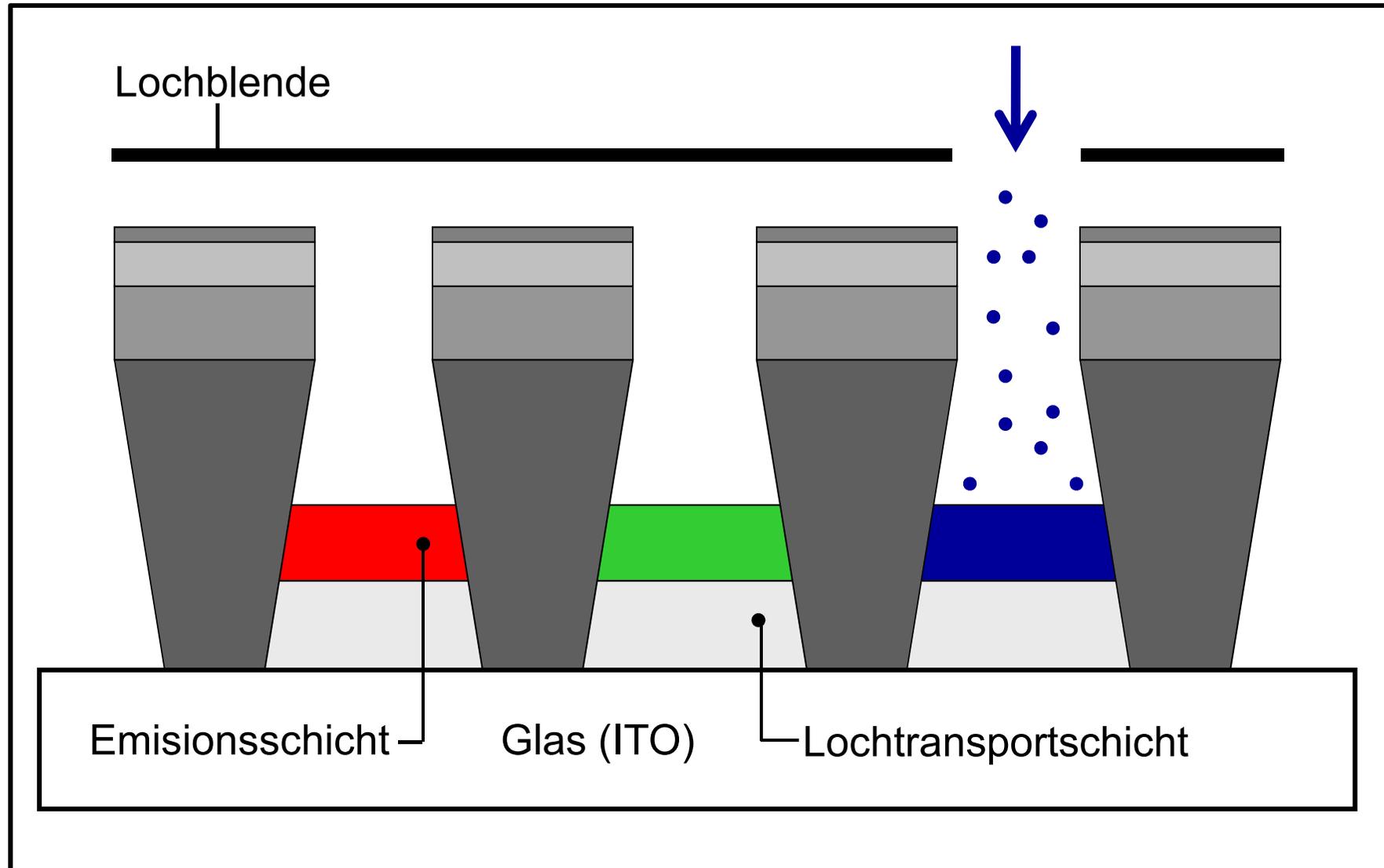
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays (Piezo-Inkjet).



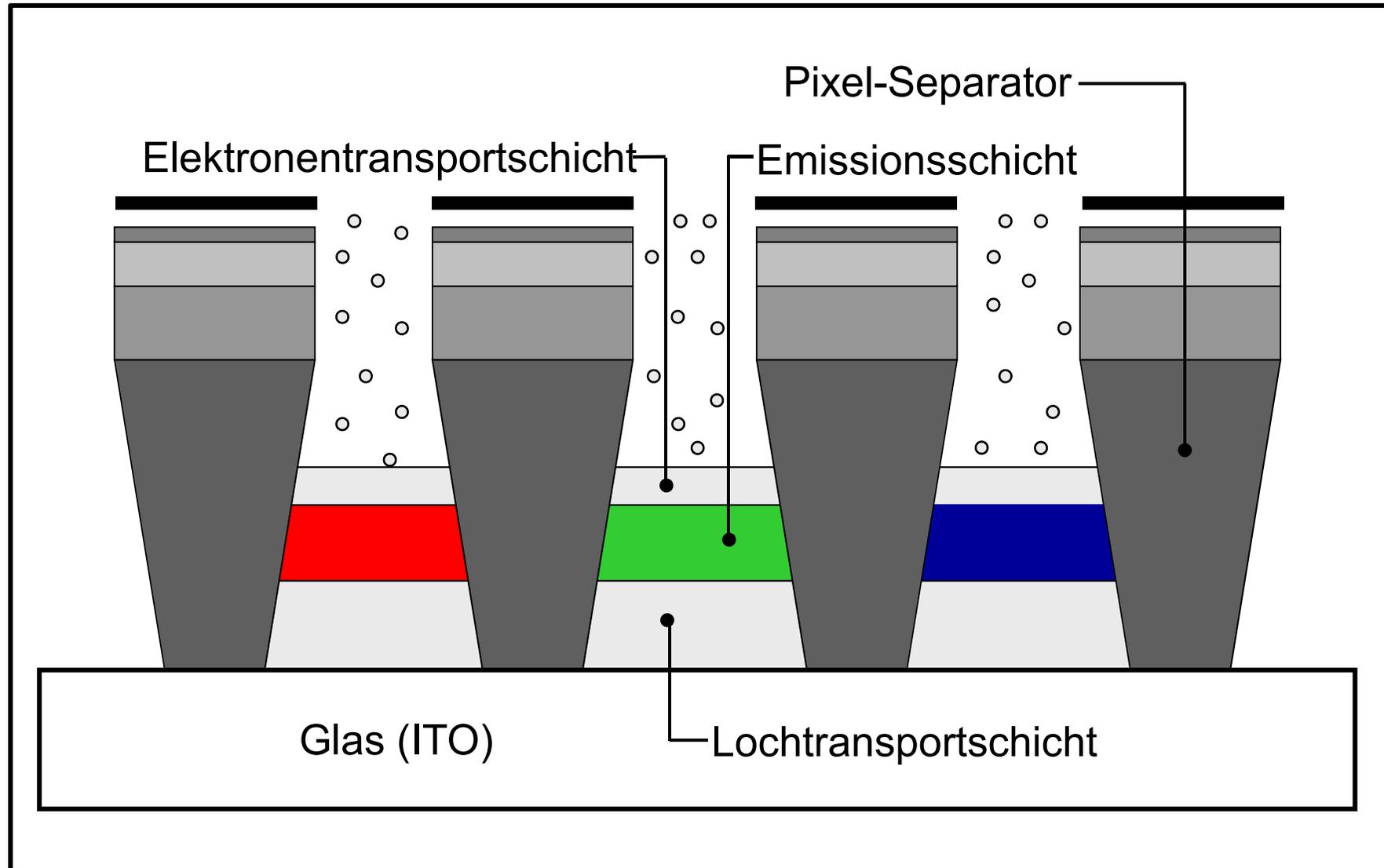
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays (Piezo-Inkjet).



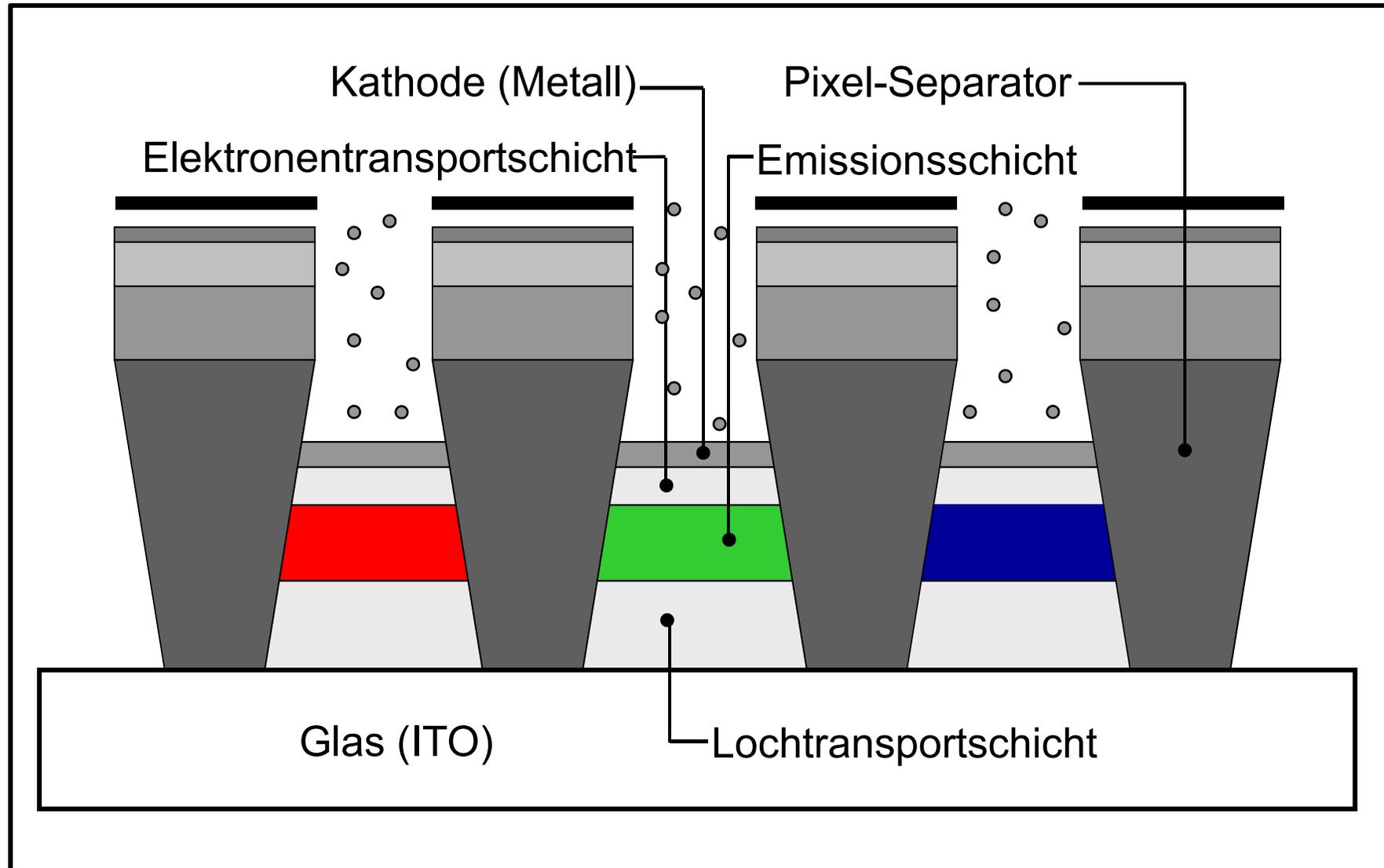
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays.



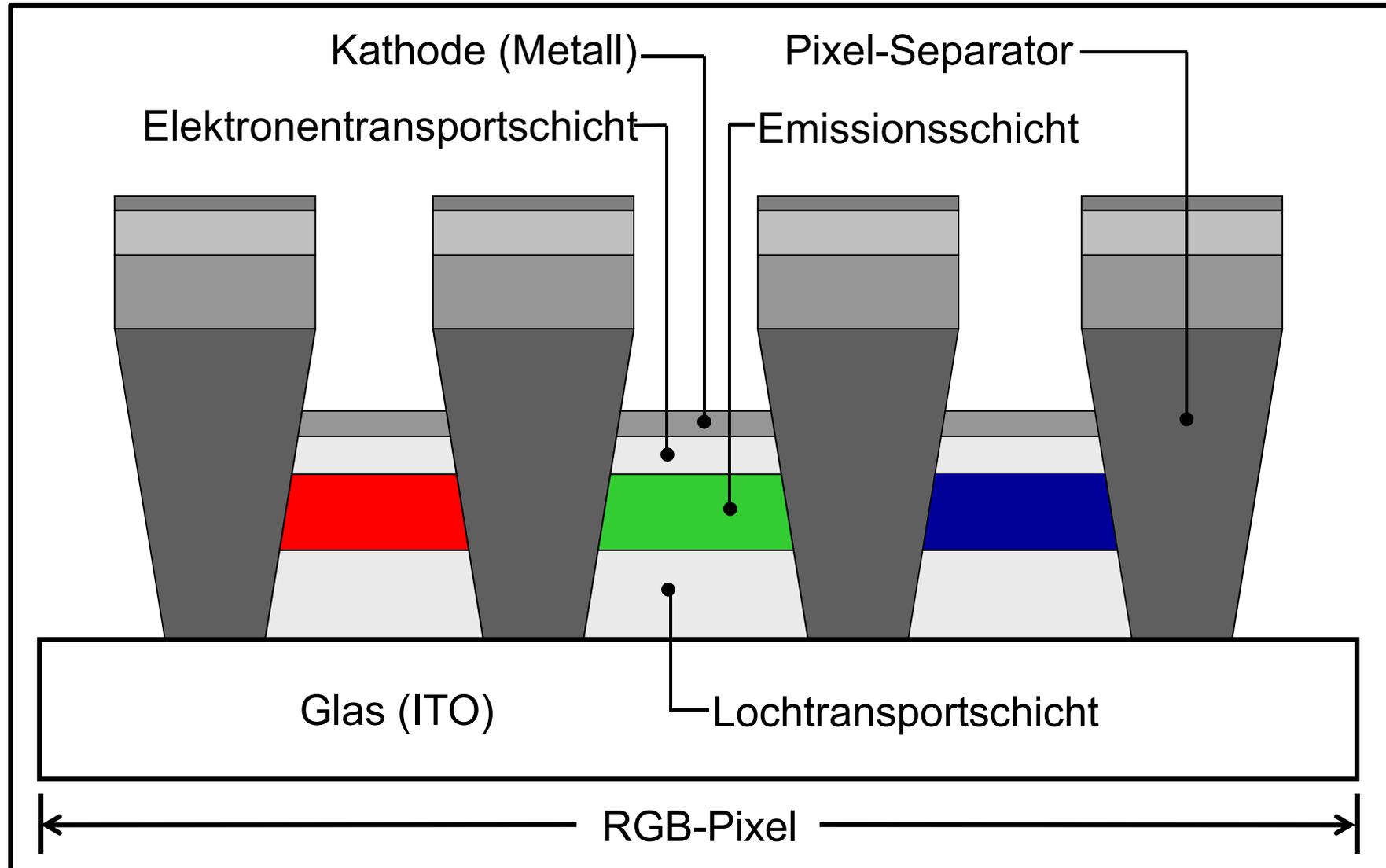
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays.



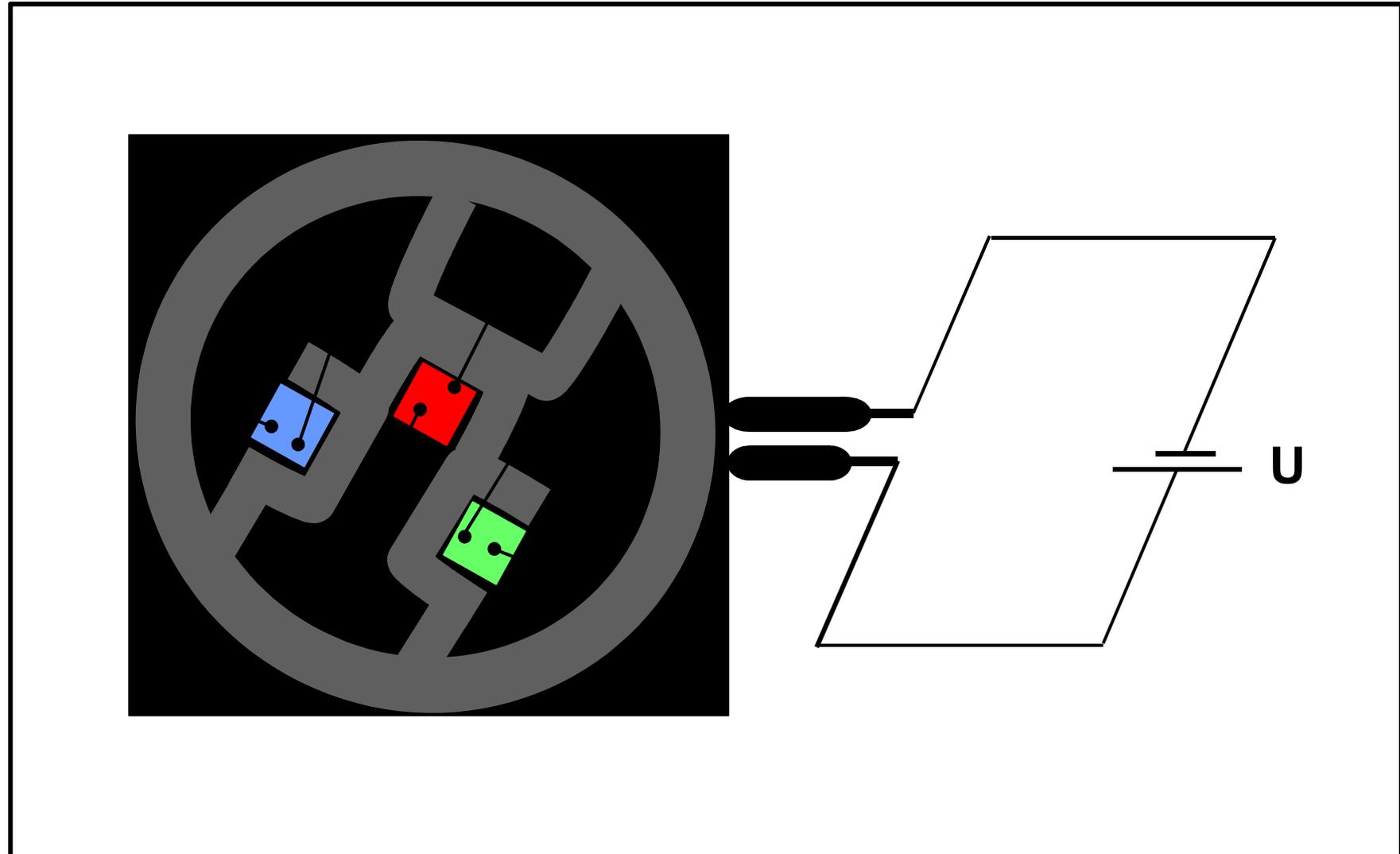
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Strukturierung und Aufbau neuer Diodendisplays.



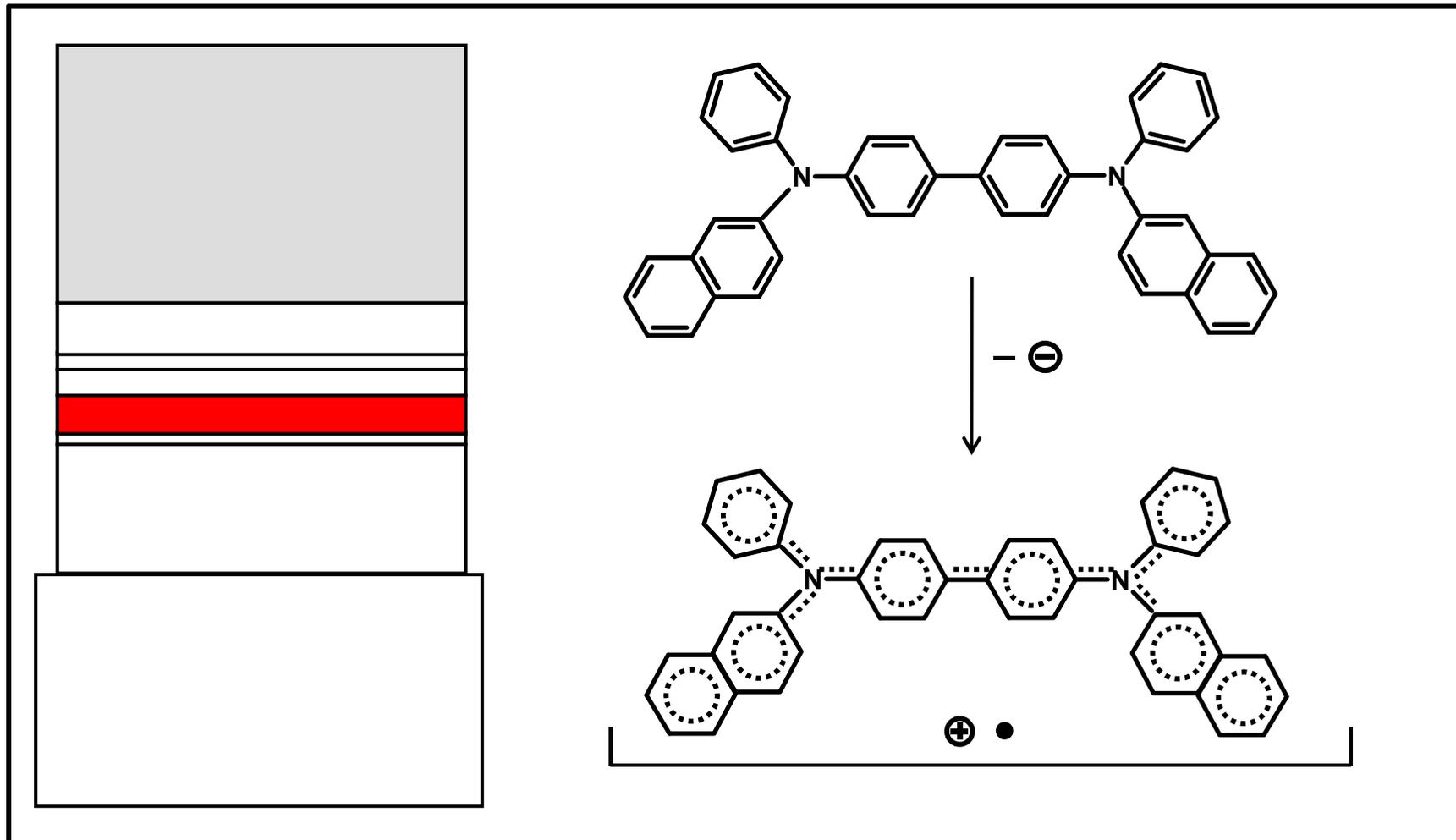
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Rot-Grün-Blau-LED (RGB-LED, Skizze).



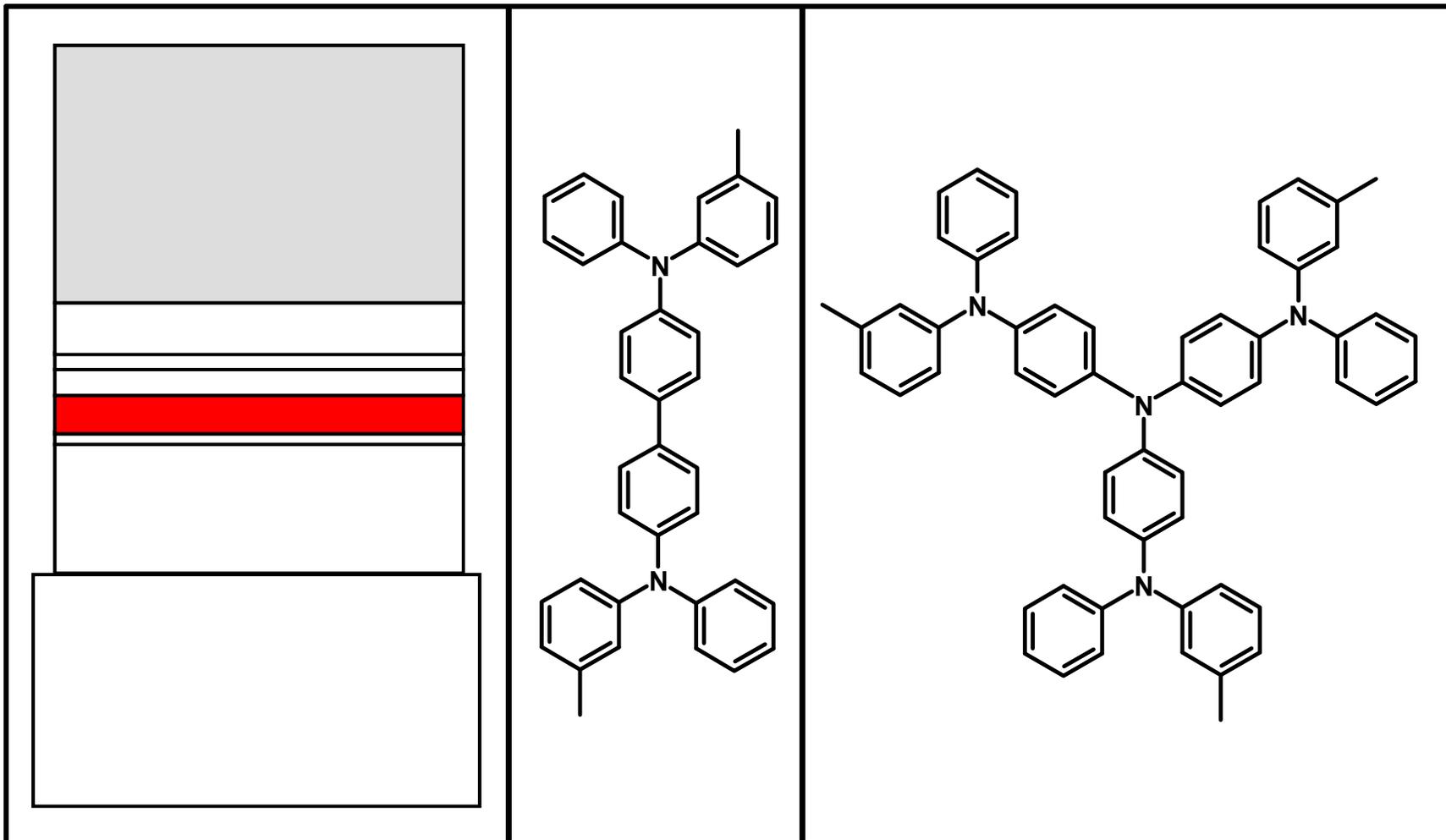
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Organische **Lochtransportschicht**,
Triphenylamin-Derivat als Strukturbeispiel, e^{\ominus} -Verlust.



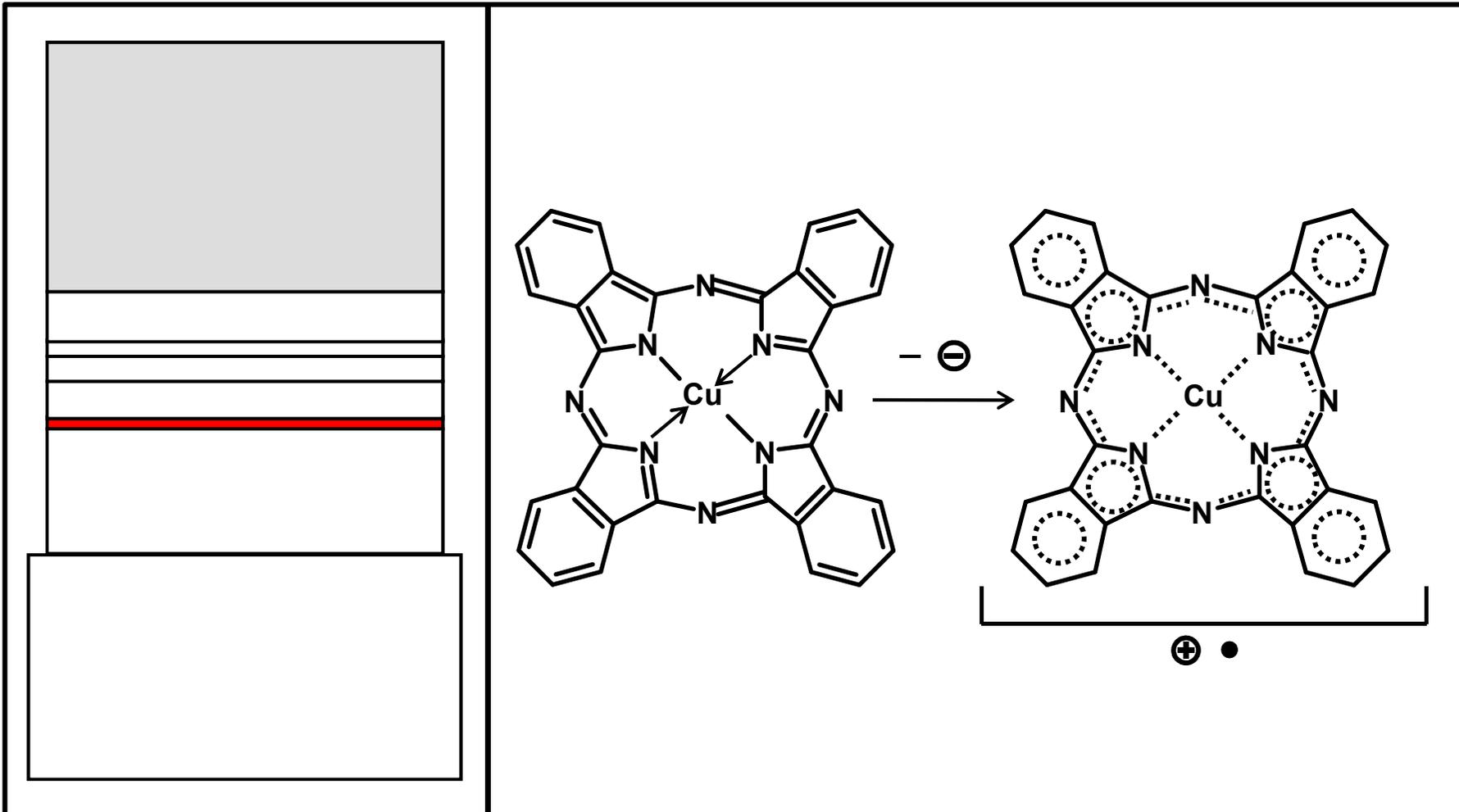
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Organische **Lochtransportschicht**,
Triphenylamin-Derivate, zwei weitere Strukturbeispiele.



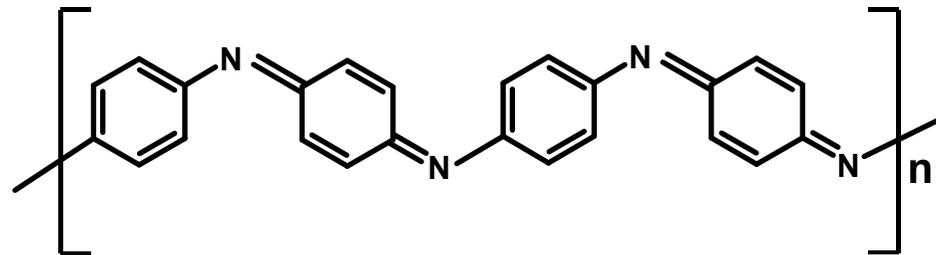
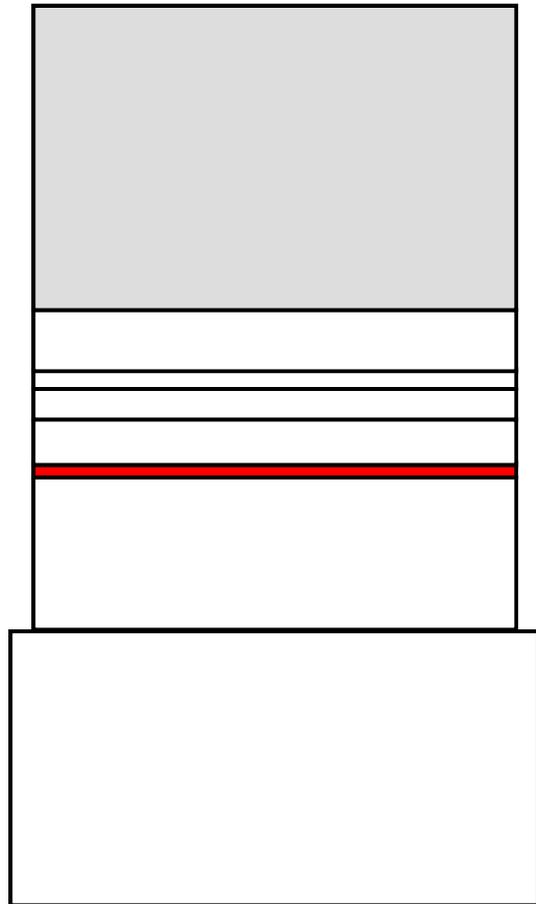
N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Metallorganische **Lochinjektionsschicht**,
Strukturbeispiel: Kupfer-Phthalocyanin.

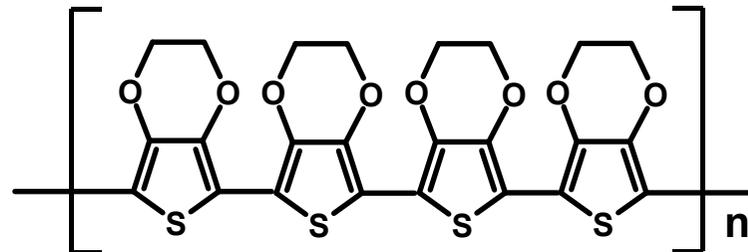


N-Heterocyclische Chemikalien für „OLED-Emitterschichten“

Organische **Lochinjektionsschicht**,
Weitere nichtmetallische, polymere Leiter.



PANI: Polyanilin



PEDOT: Polyethylenoxithiophen

Fallstudienaufgabe zum FuE-Projektmanagement

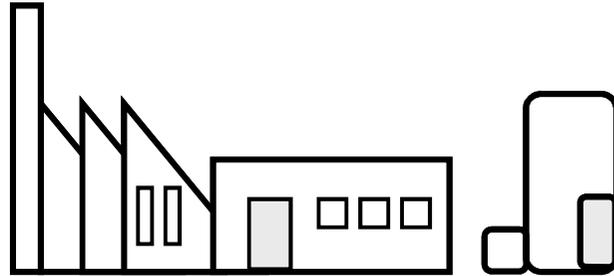


Planen Sie für Ihr Innovationsvorhaben „N-Heterocyclen für Emitter-Schichten in OLEDs“ ein entsprechendes FuE-Projekt!

- Rahmenbedingung: Das zu planende FuE-Projekt soll für Ihr (Start-up)Unternehmen bzw. Institut für angewandte Forschung von strategischer Bedeutung sein!
- Definieren sie ein aus Ihrer Sicht plausibles Zielsystem für dieses FuE-Vorhaben: Chemisch-technische, wirtschaftliche und zeitliche Ziele unter Beachtung des Standes der Wissenschaft, des Standes der Technik, der aktuellen Entwicklung des Marktes und der Wettbewerber. Benutzen Sie zur Einschätzung des wirtschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Umfeldes zusätzlich Daten und Fakten aus den Internet/WWW!.
- Schätzen Sie den für die vollständige Erreichung des Zielsystems notwendigen Personal- und Sachaufwand ab!
- Entscheiden Sie sich für eine zweckdienliche Projektorganisation!
- Bestimmen Sie die zielrelevanten Aufgaben und klassifizieren Sie diese jeweils nach der Anzahl der bei ihrer Lösung beteiligten Fachfunktionen!
- Führen Sie darauf basierend eine grobe Projektstrukturplanung (Skizze) durch!
- Skizzieren Sie einen einfachen Projektphasenplan/Ablaufplan mittels Balken auf einer Zeitachse nach Henry Gantt!
- Erstellen Sie für das Projekt eine aus Ihrer Sicht plausible SWOT Analyse!

Fallstudienaufgabe zum FuE-Projektmanagement

N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs



Das Chemieunternehmen „[...] GmbH“:

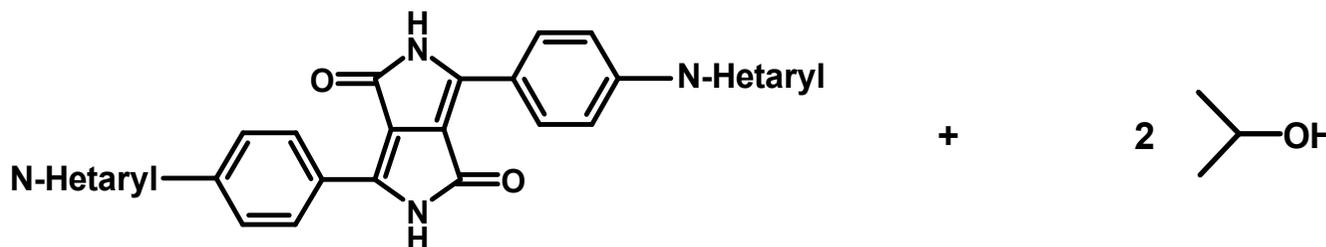
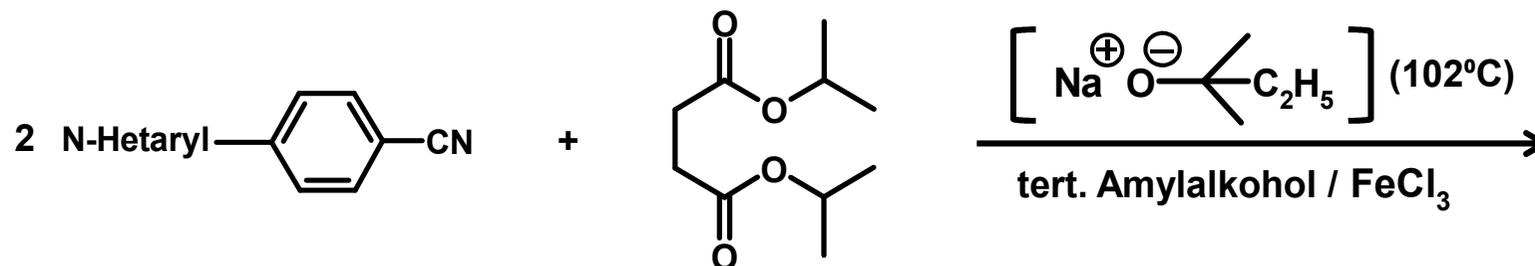
Größe: Mittelständischer Betrieb, 840 Mitarbeiter, davon 35 Chemiker, 47 Ingenieure (FH), 19 Ingenieure (TU).

Eigene Forschung und Entwicklung, eigene Produktion.

Seit 7 Jahren aktiv auf dem Gebiet „Chemikalien für Organische Leuchtdioden“. Chemische Spezialität: N-Heterocyclische Verbindungen.

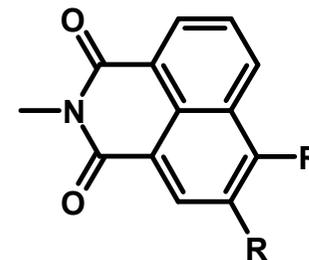
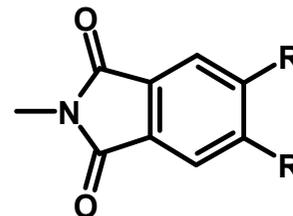
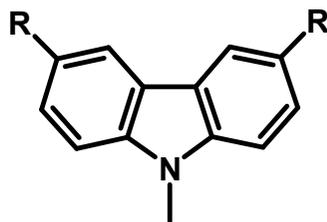
N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Stobbe-Kondensation N-hetaryl-substituierter Benzotrile.



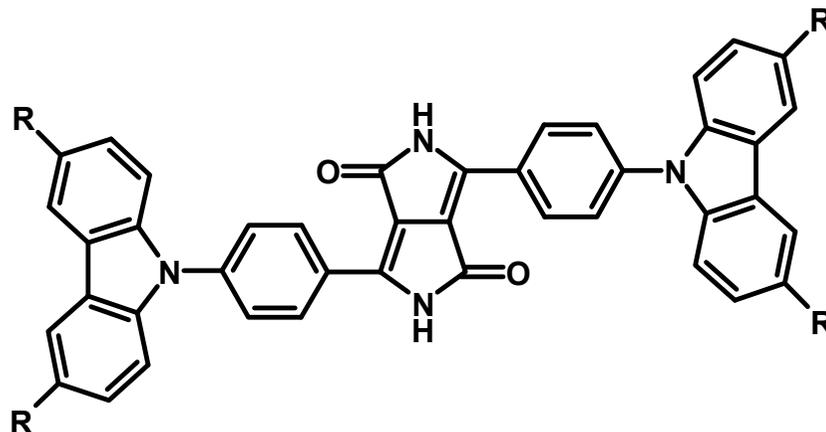
N-Hetaryl \longrightarrow

Mit R = H, F, Cl, Br,
Alkyl, O-Alkyl

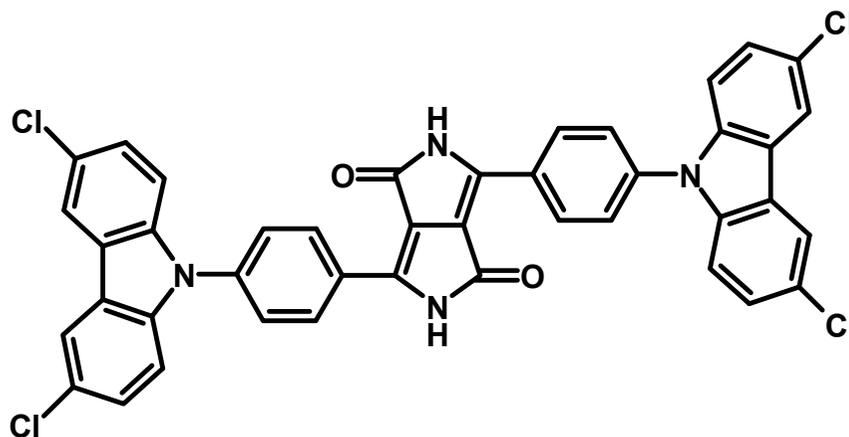


N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.

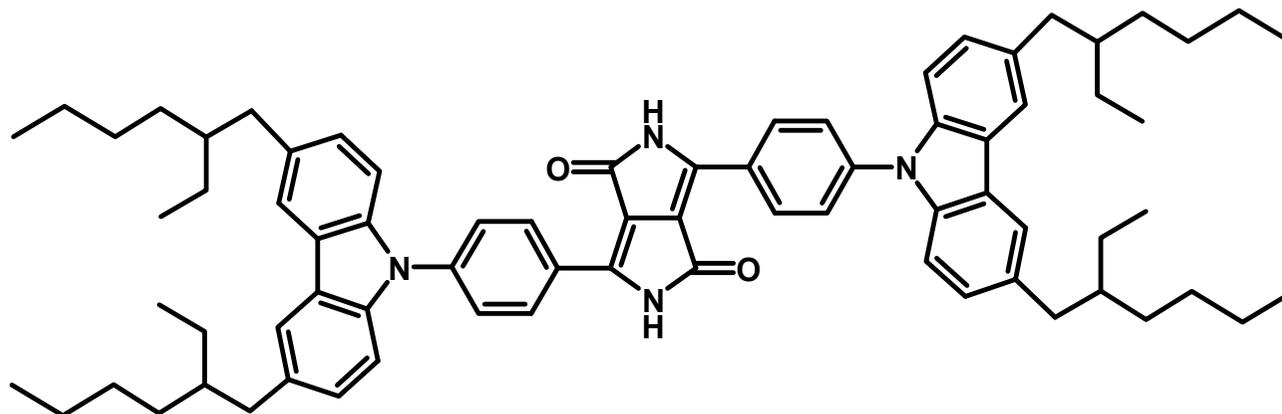
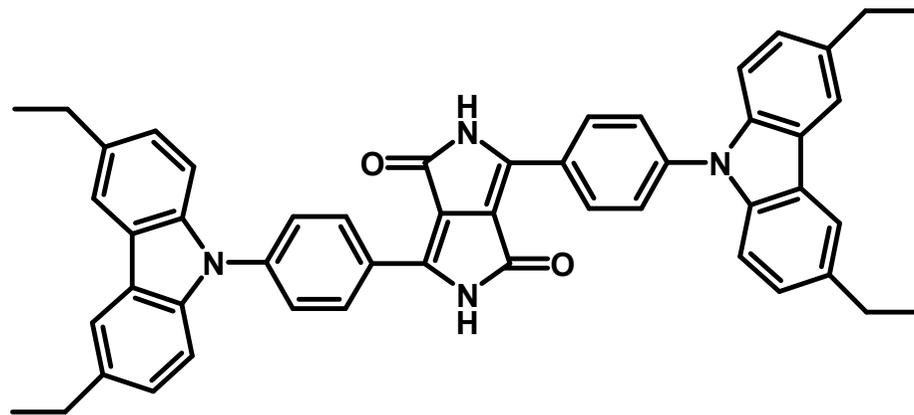


Mit R = H, F, Cl, Br,
Alkyl, O-Alkyl



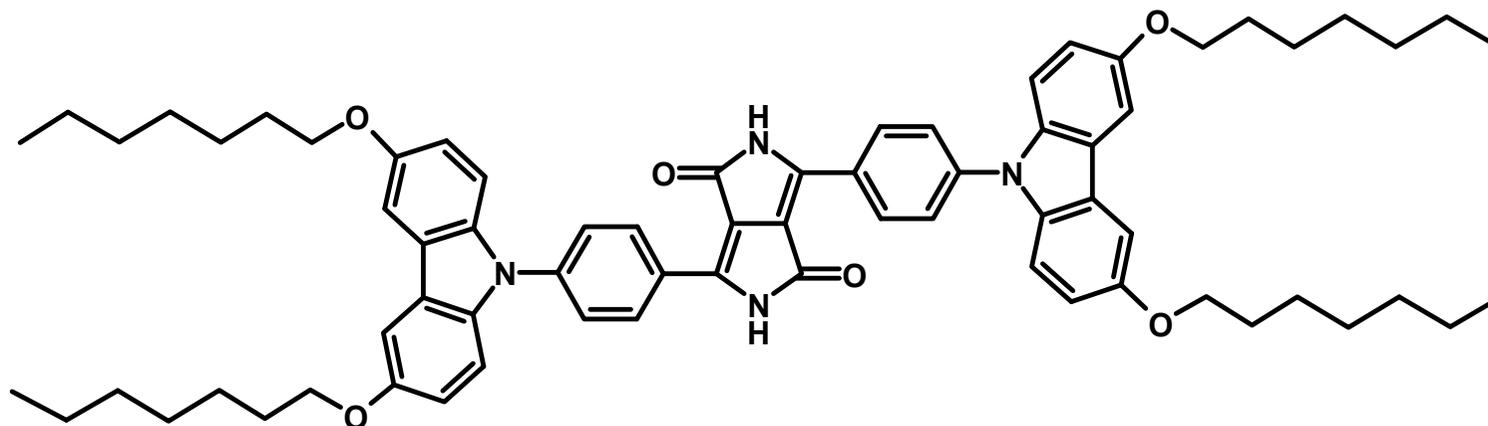
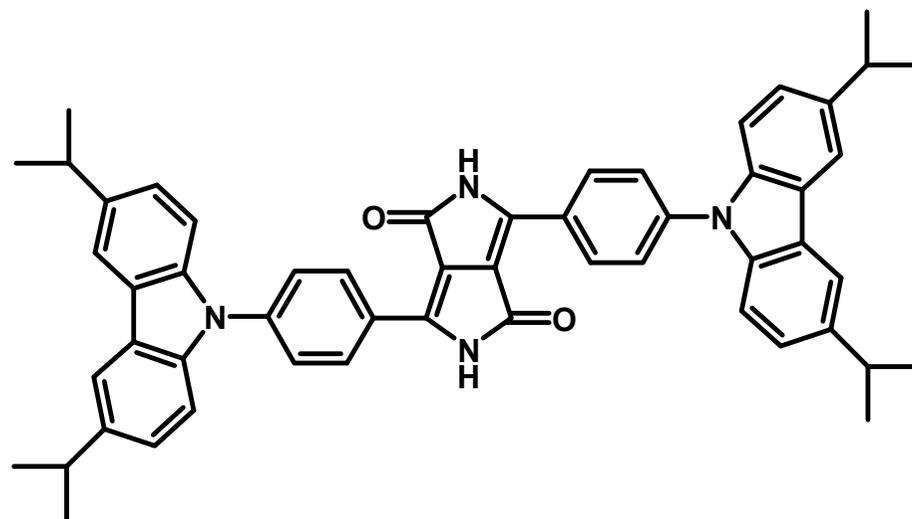
N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.



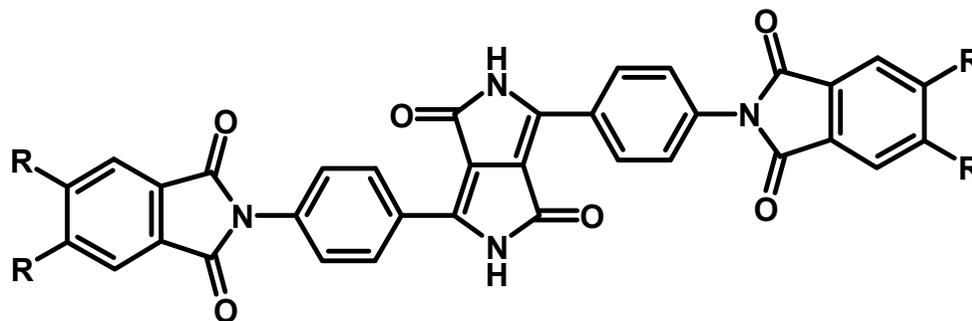
N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.

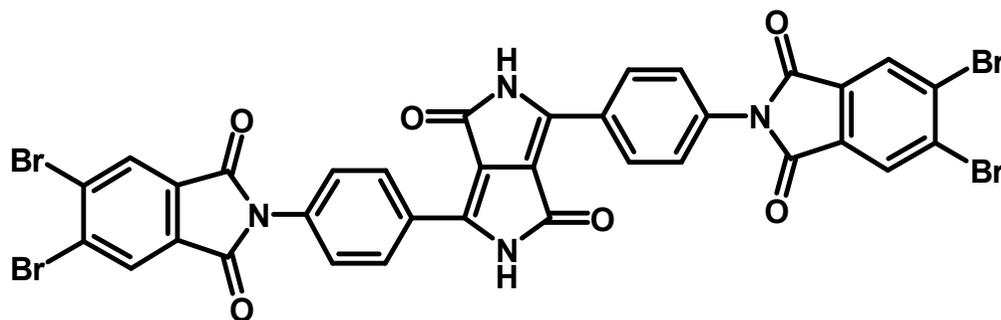


N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.



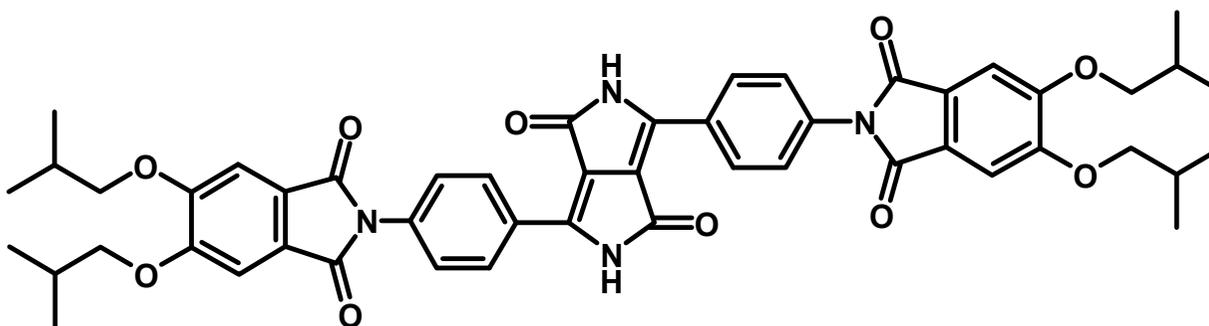
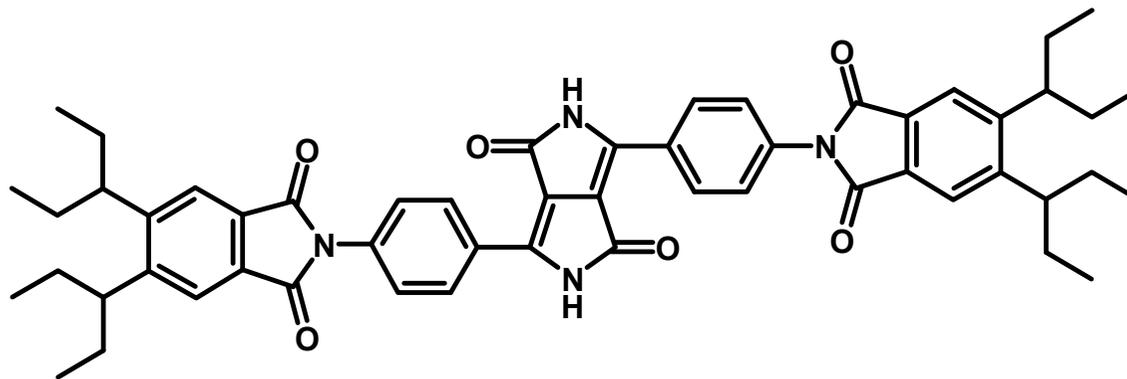
Mit R = H, F, Cl, Br,
Alkyl, O-Alkyl



Anstelle von Brom:
Fluor oder Chlor,

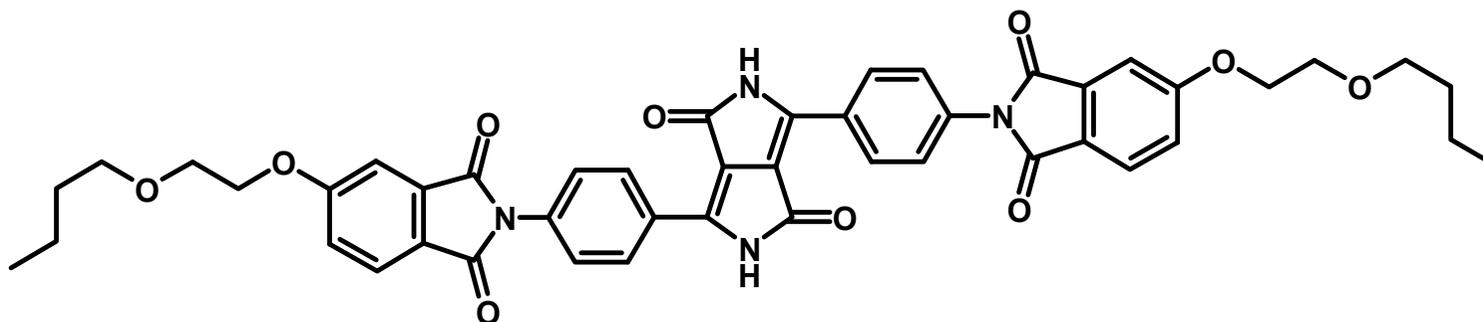
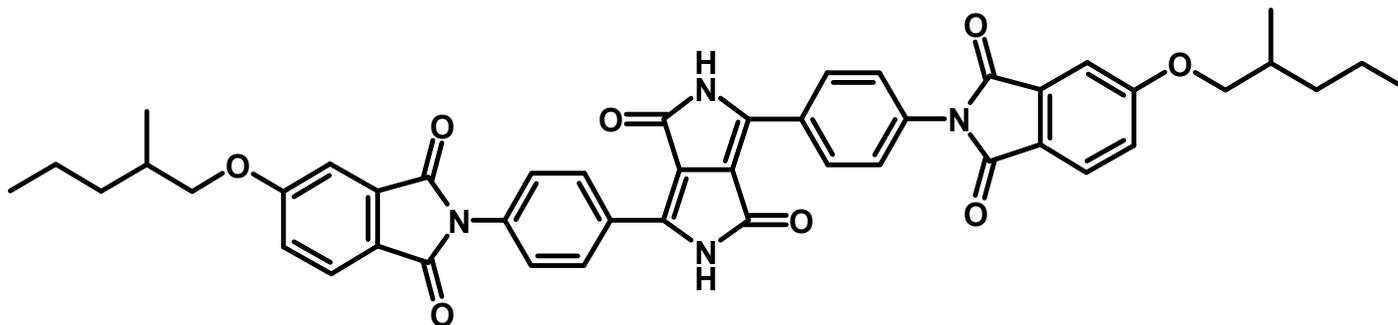
N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.



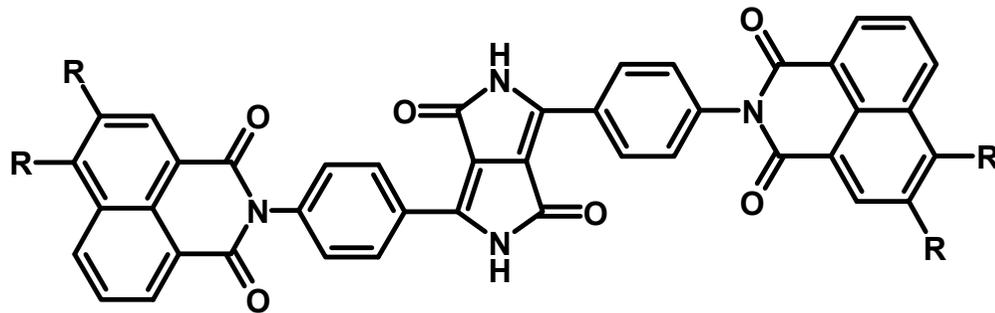
N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.

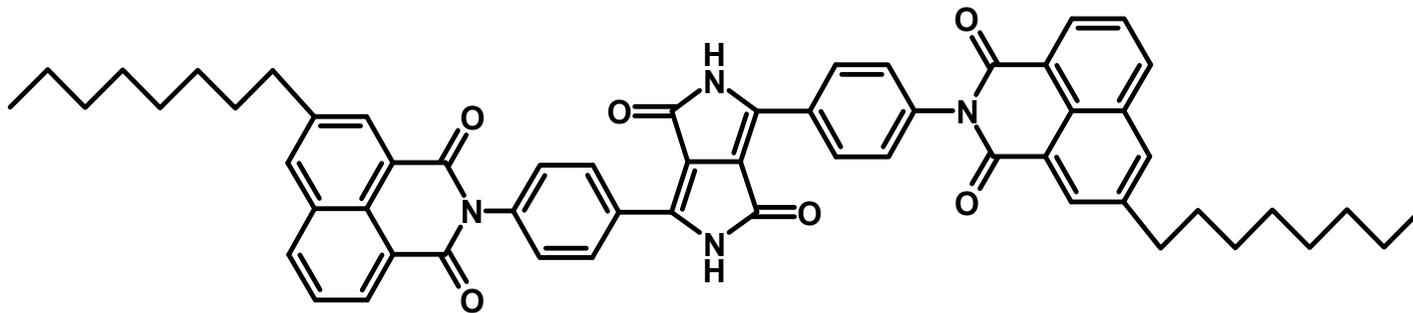


N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.

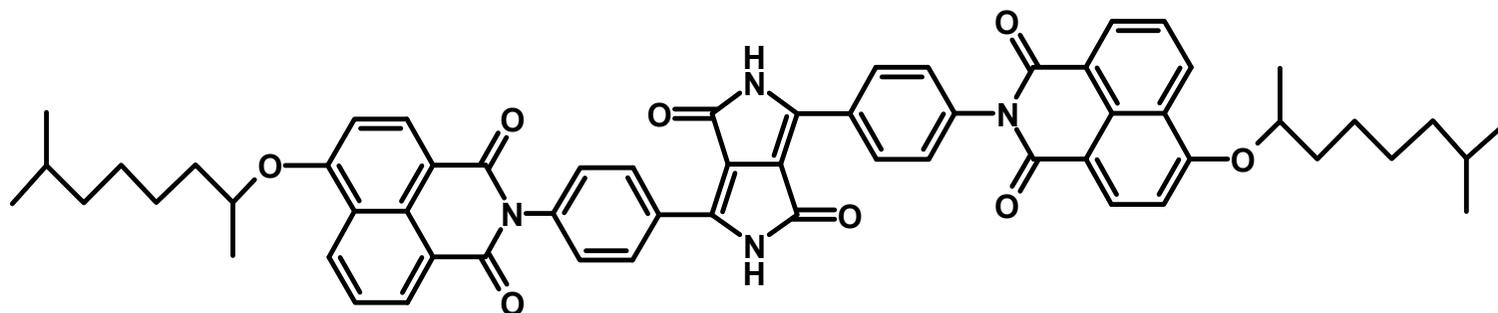
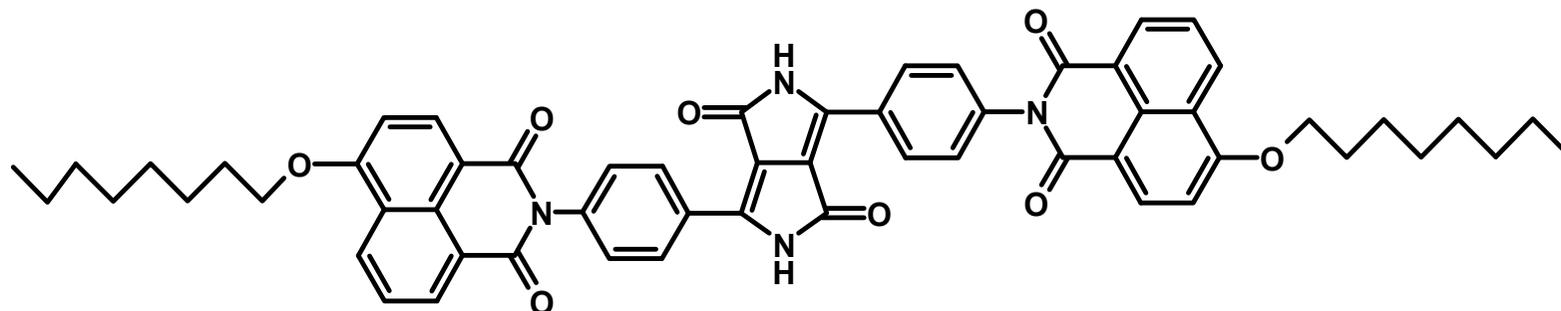


Mit R = H, F, Cl, Br,
Alkyl, O-Alkyl



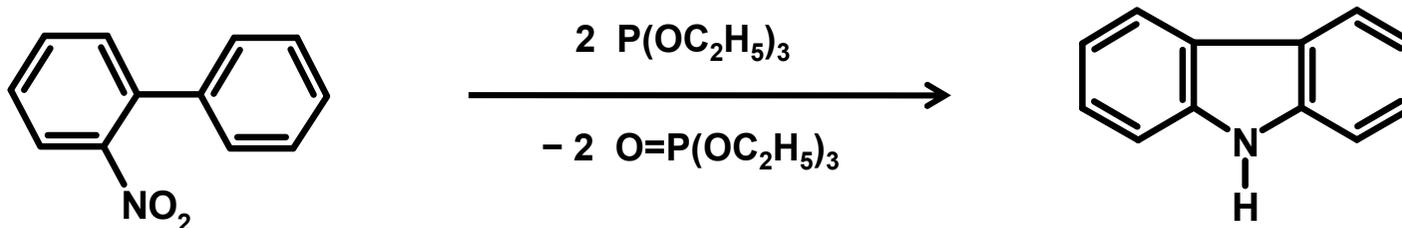
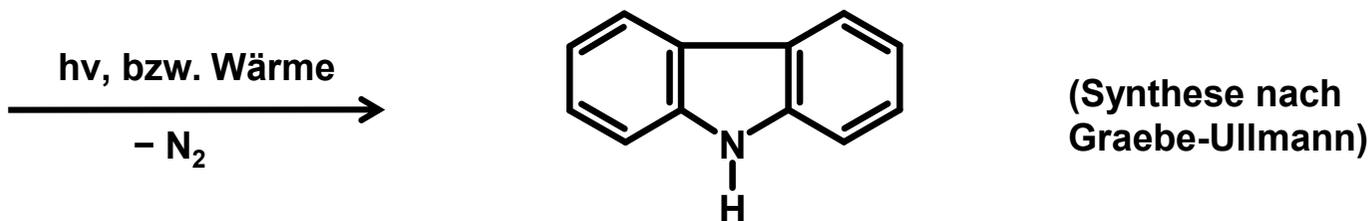
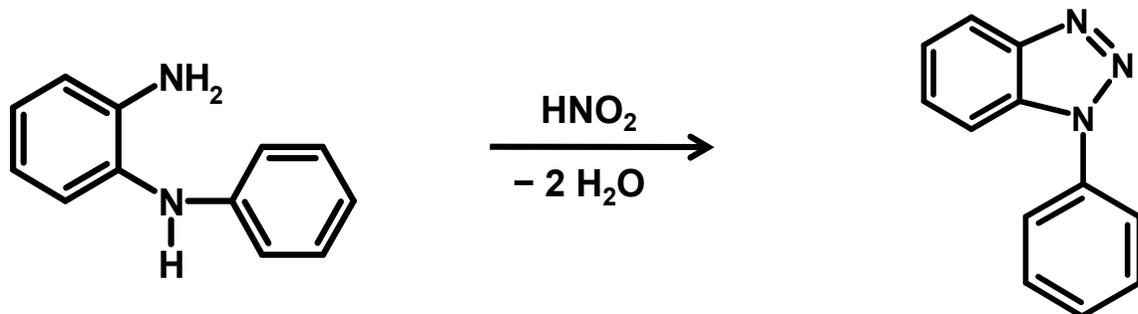
N-Heterocyclen für Emitterschichten in OLEDs

Beispiele für Zielstrukturen in orientierenden Laborsynthesen.



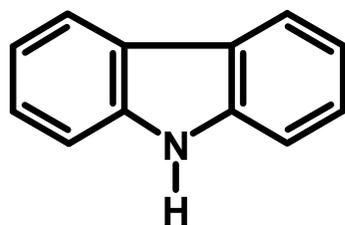
Neue aromatische Amine zur Verwendung in „OLEDs“

Carbazol-Synthesen (Graebe Ullmann; Reduzierende Cyclisierung).

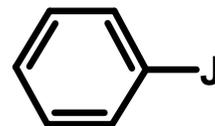


Neue aromatische Amine zur Verwendung in „OLEDs“

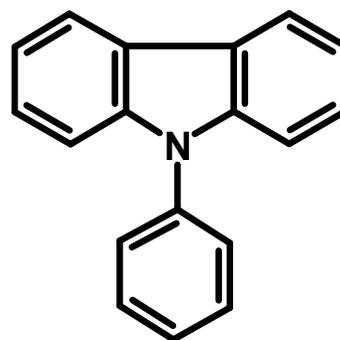
Synthese von N-Phenylcarbazol nach Ullmann.



+



$K_2CO_3 / (Cu)$



N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Anwendungen von Organischen Leuchtdioden, 2020.

Allgemeine Lichtquellen	„Leuchtfenster“
Designer-Lampen	Hintergrundlicht für LCDs
Touchscreens aller Art	Anzeigetafeln für Werbung
Bildschirme von Smart-TVs	PC-Monitore
Verkehrsmarkierungen	Innenraum-Markierungen

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Anwendungen von Organischen Leuchtdioden, 2020.

Displays: Aufrollbare Sets	Displays: Wearable Devices
Displays: Spielekonsolen	Displays: Elektrogeräte
Displays: Notebooks	Displays: Rundfunkgeräte
Displays: Smartphones	Displays: iPads
Displays: Digitalkameras	Displays: MP3-Player

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Physikalisches Anforderungsprofil von OLEDs, 2020.

Physikalische Parameter 2020

Effizienz des Panels	140 lm/W
Beleuchtungsstärke	> 15.000 cd/m ²
Lumen-Output	> 40.000 lm/m ²
Color Rendering Index, CRI	> 95 %
Lebensdauer bei 3000 cd/m ²	> 40.000 h
Maximale Größe	500 x 500 mm ²

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Entwicklung der Flächen-Anwendungen von OLEDs.

Jahr	Anwendung
2007	Kleine Displays
2008	Mittlere, große Displays
2010	Beleuchtungszwecke
2012	Flexible Dekorleuchten
ab 2020	Großflächige Anzeigetafeln

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Weltweiter Umsatz mit Organischen Leuchtdioden. (2020-2023: Prognosen)

Jahr	Umsatz (Milliarden €)	Zuwachs zum Vorjahr
2014	07,9	–
2015	12,0	51,8 %
2016	15,5	29,2 %
2017	19,0	22,6 %
2018	25,0	31,6 %
2019	30,0	20,0 %
2020	35,0	16,7 %
2021	39,2	12,0 %
2022	41,8	06,6 %
2023	44,4	06,2 %

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Szenario 2025 seitens „Markt-Technologie-Analysten“.

- Jede dritte Lichtquelle ist eine LED.
- Stromverbrauch, weltweit: – 10%.
- Jedes Jahr um 100 Mrd. € reduzierte Stromkosten.
- 50 Mrd. € weniger Investitionskosten für Kraftwerke.
- Automobile mit Verbrennungsmotor:
Senkung des Kraftstoffverbrauchs um 0,2 Liter pro
100 km mit weißen LEDs.

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Hauptproduzenten von OLED – Displays, weltweit, 2020.

Unternehmen	Land
AU Optronics	TWN
BOE Display	CHN
China Star Optoelectronics Technology	CHN
eMagin Corporation	USA
EverDisplay Optronics	CHN
Guangzhou New Vision Optoelectronics	CHN
Innolux	TWN
Japan Display	JPN
Kopin	USA
Kunetech	–

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

Hauptproduzenten von OLED – Displays, weltweit, 2020.

Unternehmen	Land
Kyocera Display	JPN
LG Display	KOR
MicroOled	GER
Nippon Seki	JPN
Oasis New Energy	CHN
OLiGHTEK	CHN
Pioneer	JPN
RiT Display	TWN
Royole	CHN
Samsung Display	KOR

N-Heterocyclische Verbindungen für „OLEDs“

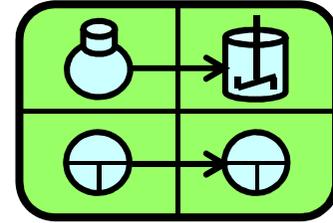
Hauptproduzenten von OLED – Displays, weltweit, 2020.

Unternehmen	Land
Seeya Technology	CHN
Sharp	JPN
Sichuan CCO	CHN
Sony	JPN
Tianma	CHN
Truly Semiconductors	HKG
Visionox	CHN
Winstar	TWN
Wintek	TWN
WiseChip	TWN

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zum Thema: N-Heterocyclische Verbindungen für Organische Leuchtdioden, „OLEDs“.

- W. E. Howard: Better displays with organic films, *Scientific American*. 290, Nr. 2, 2004, 76–81.
- D. Hertel, C.D. Müller, K. Meerholz, *Chemie in unserer Zeit* 2005, 336.
- H. Yersin, *Highly Efficient OLEDs with Phosphorescent Materials*, Wiley-VCH, Berlin, 2007.
- B. E. A. Saleh, M. C. Teich, *Grundlagen der Photonik*, Wiley-VCH, Weinheim, 2008.
- B. Riedel, *Effizienzsteigerung in organischen Leuchtdioden*, Dissertation, KIT-Scientific Publishing, Karlsruhe 2011.
- Joseph Shinar (Hrsg.): *Organic Light-Emitting Devices: A Survey*. Springer, New York, 2012.
- T. Tsujimura, *OLED Displays, Fundamentals and Applications*, J. Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2012.
- A. Buckley, *Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs)*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2013.
- C. Kölper, W. Bergbauer, M. Strassburg, N. Lindner, *Physik in unserer Zeit*, 2011, 92-98.
- X. Yang, X. Xu, G. Zhou, *J. Mater. Chem. C*, 2015, 913-944.
- D. Wöhrle, *Chemie in unserer Zeit*, 2015, 386-401.
- D. Wöhrle, *Chemie in unserer Zeit*, 2016, 244-259.
- D.J. Gaspar, E. Polikarpov, *OLED Fundamentals, Materials, Devices and Processing of Organic Light-Emitting Diodes*, CRC Press, Abingdon, U.K., 2015.
- G. Baldocchini, *Organometallic Luminescence: A Case Study on Alq3, an OLED Reference Material*, Elsevier, Woodhead Publishing, Cambridge 2020.
- M. Kodon, *OLED Displays and Lighting*, J. Wiley & Sons, Chichester, 2017.
- R. Z. Li, *Organic Light-Emitting Materials and Devices*, CRC Press, Abingdon, U.K., 2017.
- P. A. Tipler, G. Mosca, P. Kersten, J. Wagner, *Physik*, Springer-Spektrum, Berlin, 2019.
- H. Yersin (Hrsg.): *Highly Efficient OLEDs*, Wiley-VCH, Weinheim, 2019.
- R. Mertens, *The OLED Handbook, A Guide to OLED Technology, Industry & Market*, Metalgrass, Kfar Saba, Isreal, 2020.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie

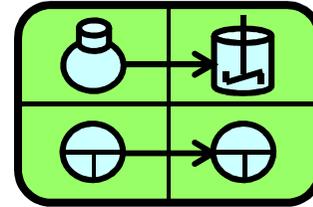


Zusatzmodul 03 für Chemiker (m/w/d)

Informationsmaterial zum Lerninhalt:
Klarlacke für Automobile, Chemie und Physik.

***Lösemittelarmer Klarlack für
die Automobilproduktion.***

FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Lerninhalt



Chemie und Physik

***Lösemittelarmer Klarlack für
die Automobilproduktion.***

Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Hintergrund (Gesetzgebung; Gesellschaftliche Forderung).

Klimaschutzvorgabe (seit 1990):

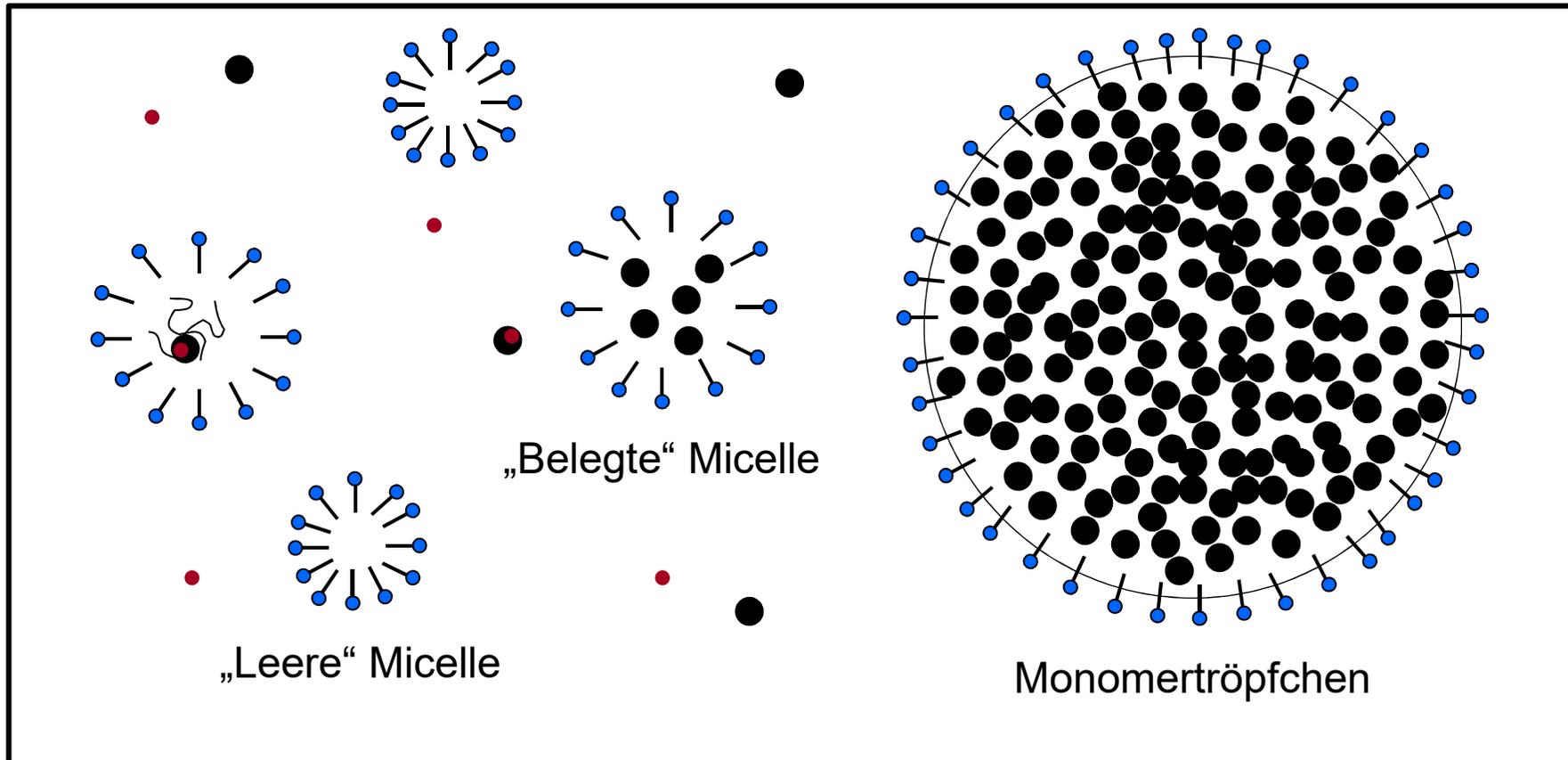
Reduktion der Emissionen von organischen Lösemitteln bei der Automobilproduktion um 2/3.

Der **Cosolvens-Gehalt im Flüssiglack darf maximal 20 Gewichts-%** (gegenüber 60 Gewichts-% bei konventionellen Lacken) ausmachen.

VOC 130 - 140 g/l

$$\text{VOC (g/l)} = \frac{\text{Masse flüchtiger Anteile (g)} - \text{Masse Wasser (g)}}{\text{Volumen Lack (l)} - \text{Volumen Wasser (l)}}$$

Emulsionspolymerisation, Phase 1: Teilchenbildung.

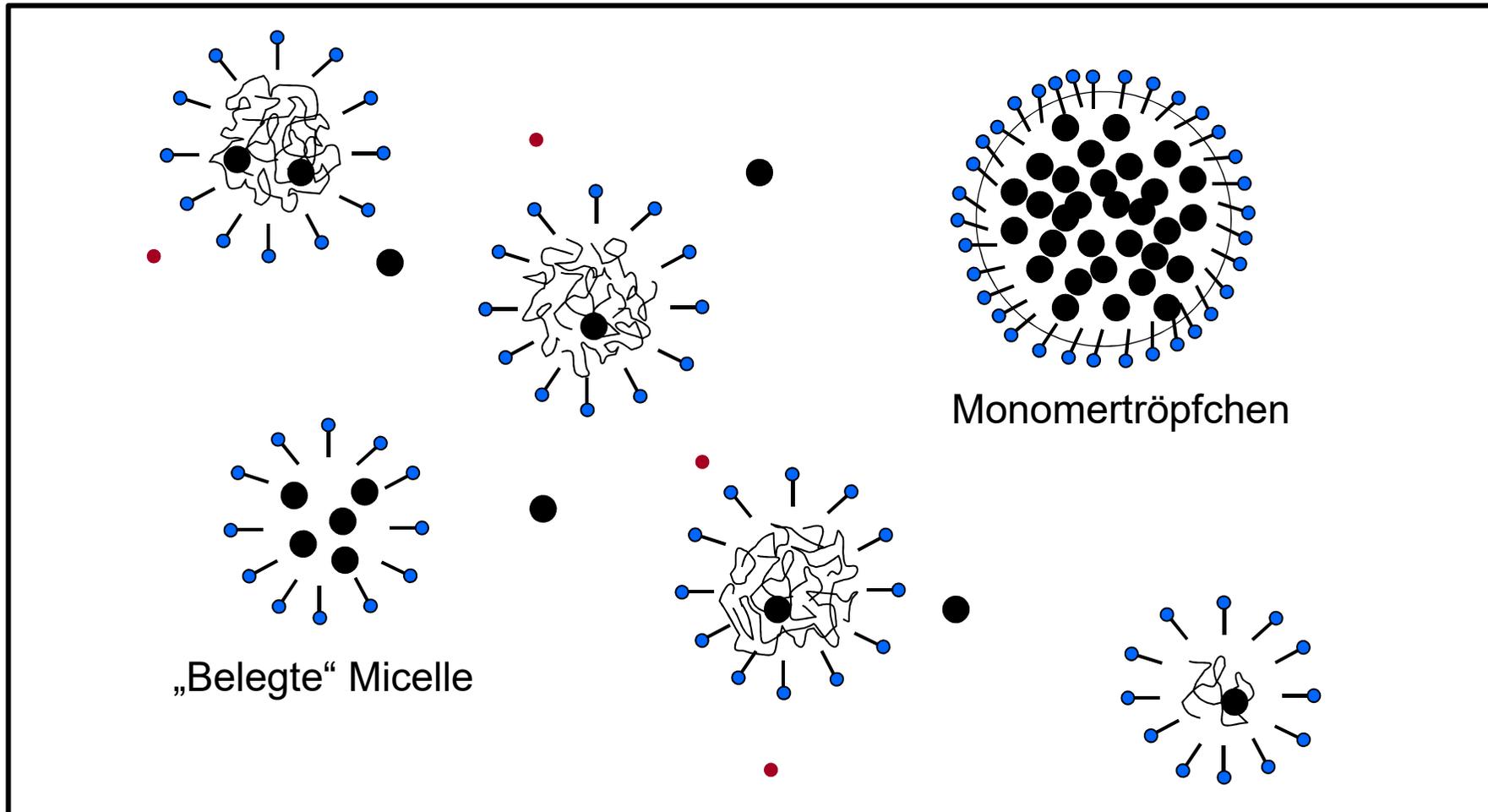


wasserlösliches Initiatorradikal, z.B. aus $K_2S_2O_8$:
 $S_2O_8^{2-} + Fe^{2+} \rightarrow SO_4^{2-} + SO_4^{\cdot-} + Fe^{3+}$



Tensidmolekül (z.B. Kalium-Laurat)

Emulsionspolymerisation, Phase 2: Teilchenwachstum.

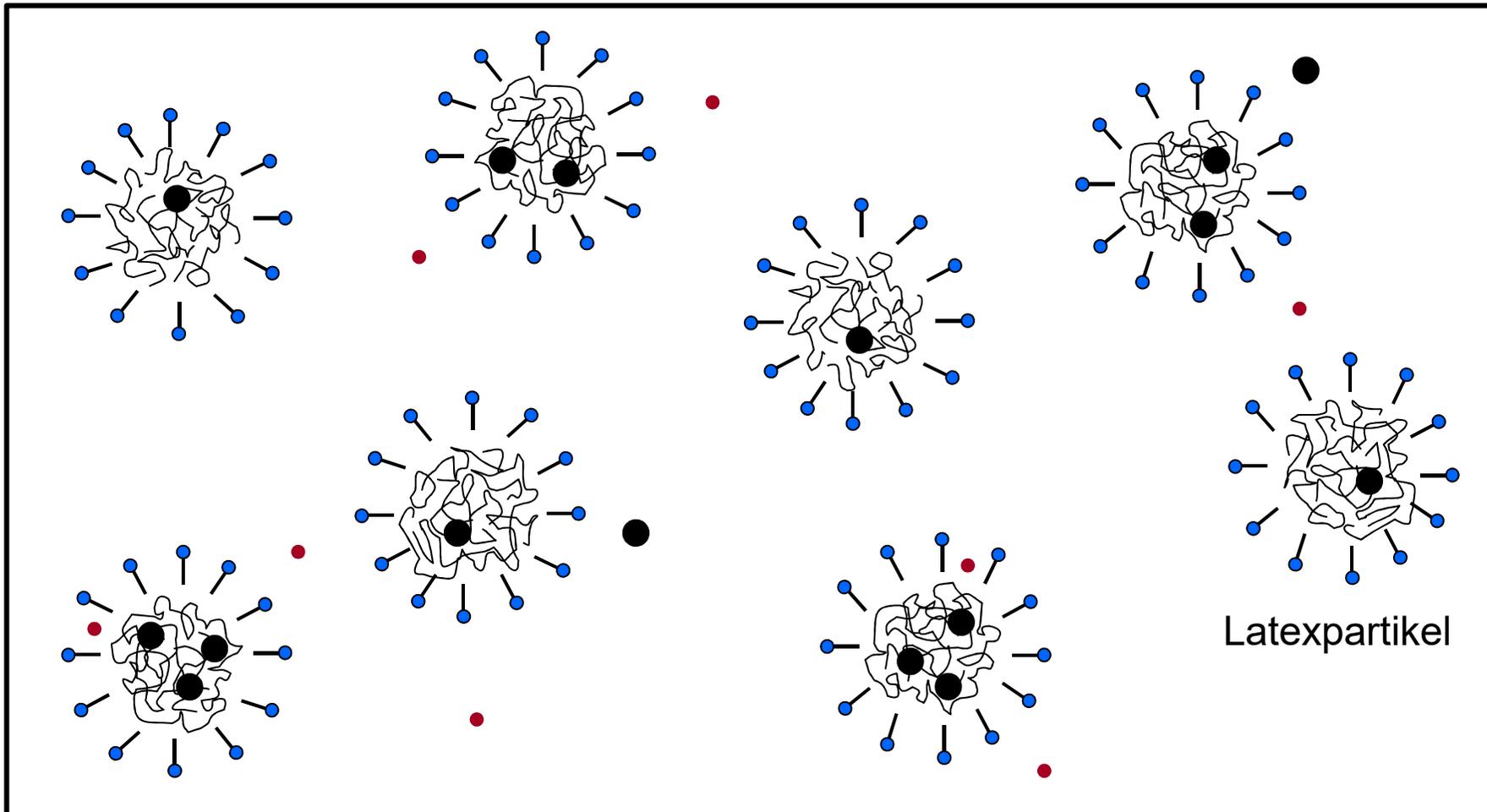


→ wasserlösliches Initiatorradikal, z.B. aus $K_2S_2O_8$



→ Tensidmolekül (z.B. Kalium-Laurat)

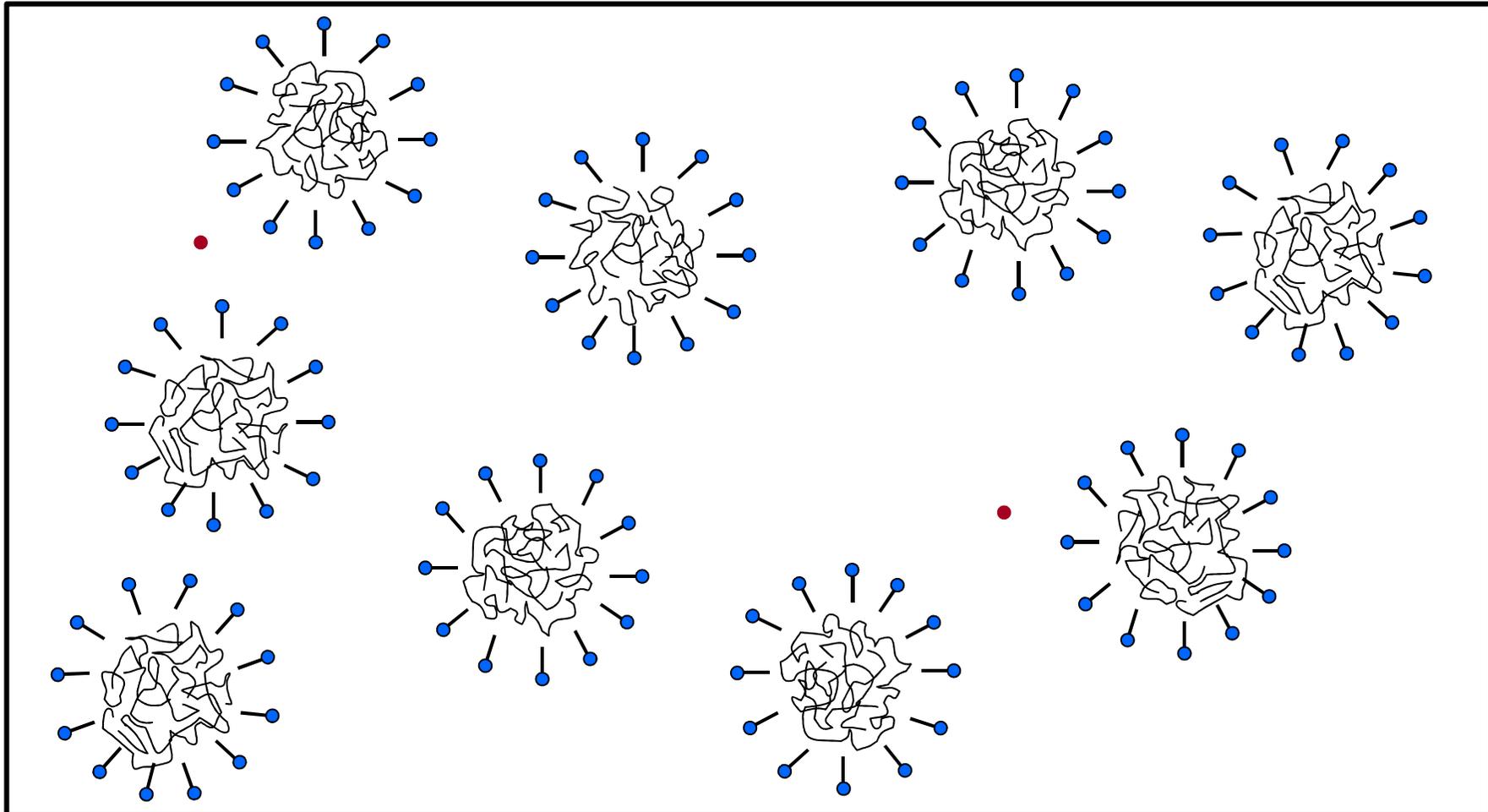
Emulsionspolymerisation, Phase 3: Verarmung an Monomer.



wasserlösliches Initiatorradikal, z.B. aus $K_2S_2O_8$

Primärdispersion, Teilchen- \varnothing : 1 – 100 nm

Emulsionspolymerisation, Phase 4: Reaktionsende.

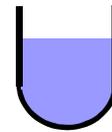
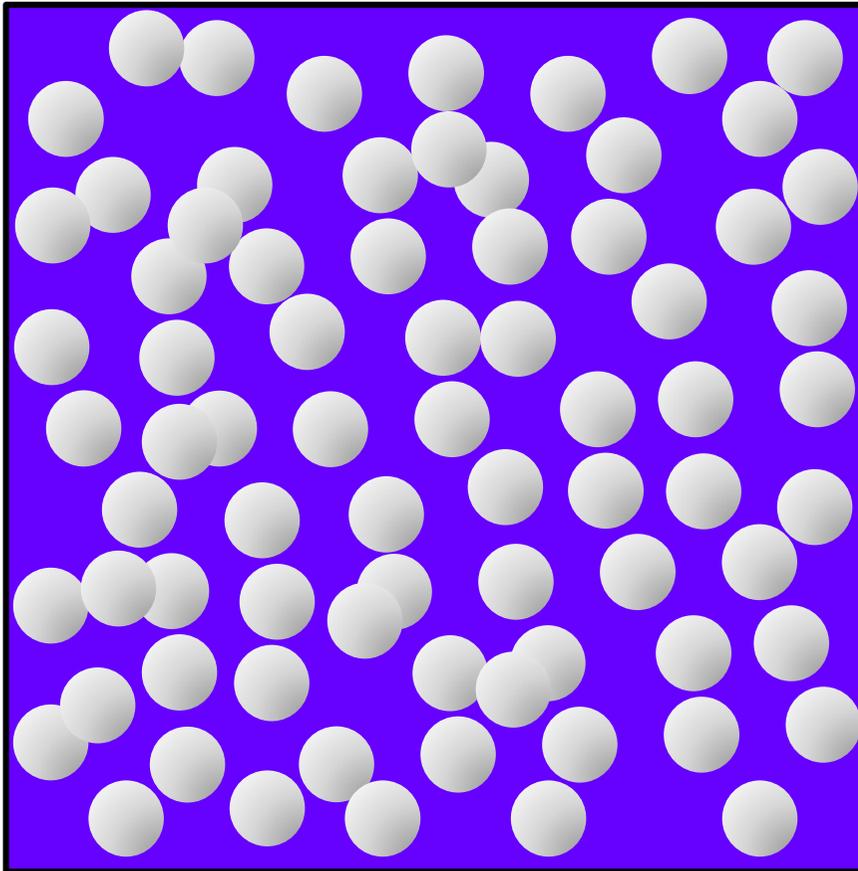


wasserlösliches Initiatorradikal, z.B. aus $K_2S_2O_8$

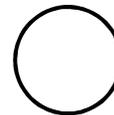
Primärdispersion, Teilchen- \varnothing : 1 – 100 nm

Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Emulsionspolymerisat, Primärdispersion, monodispers.



1 ml Primärdispersion
enthält $\approx 10^{15}$ Teilchen
(Eine Billiarde).



Ein Primärteilchen enthält
zwischen 1 und 10.000
Makromoleküle.

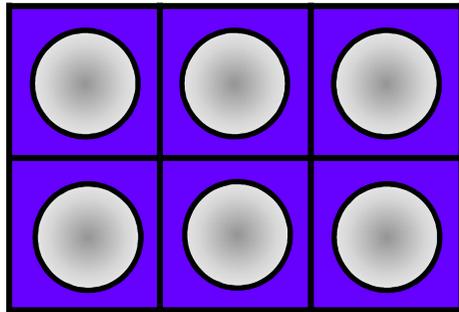


Ein Makromolekül enthält
zwischen 10^2 und 10^6
Monomer-Einheiten.

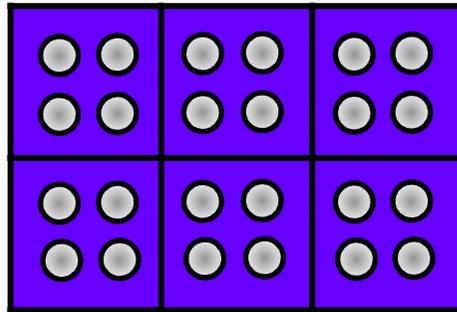
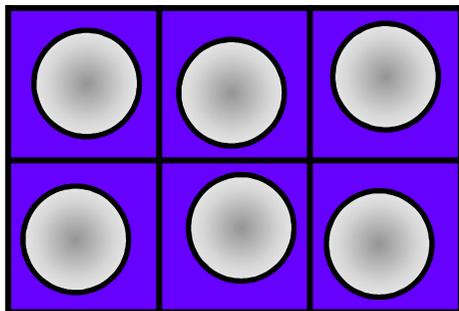
Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Dispersionen: Partikelgrößenmessung, Grundprinzip.

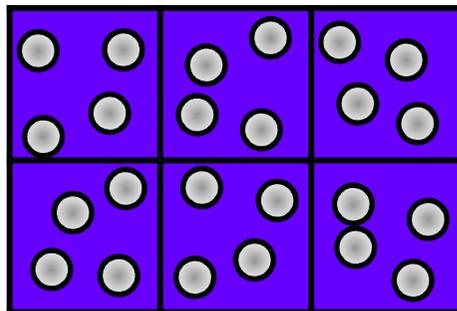
Ausgangsverteilung der Partikel (idealsiert)



$\Delta t \downarrow (\approx 50 \text{ ns})$



$\Delta t \downarrow (\approx 50 \text{ ns})$



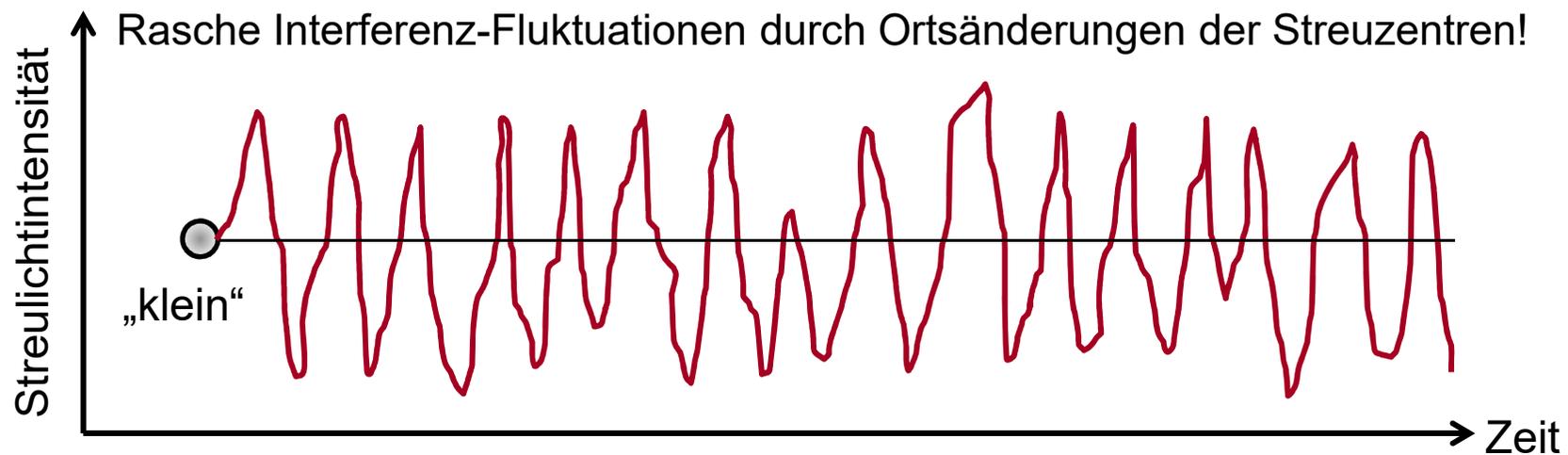
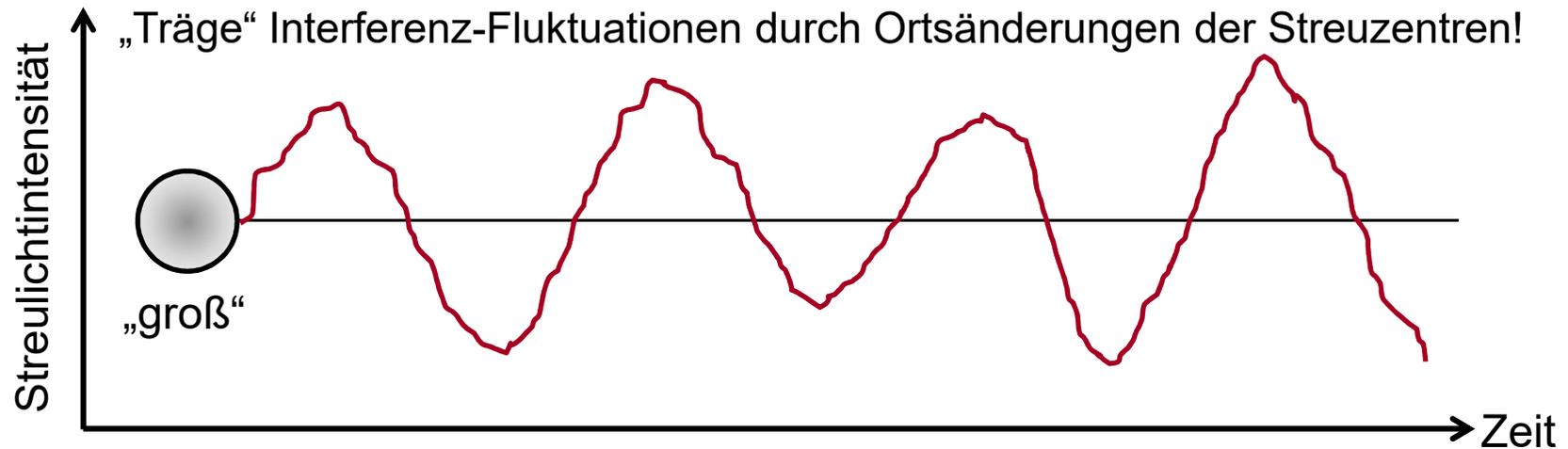
$$D = \frac{k_B T}{6 \pi \eta R_0}$$

D	Diffusionskoeffizient
k_B	Boltzmann-Konstante
T	Temperatur (Kelvin)
η	Dynamische Viskosität (der Flüssigphase)
R_0	Hydrodynamischer Partikel-Radius

Stokes-Einstein-Gleichung:
Der Partikelradius hat eine
umgekehrte Proportionalität
zum Diffusionskoeffizienten.

Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

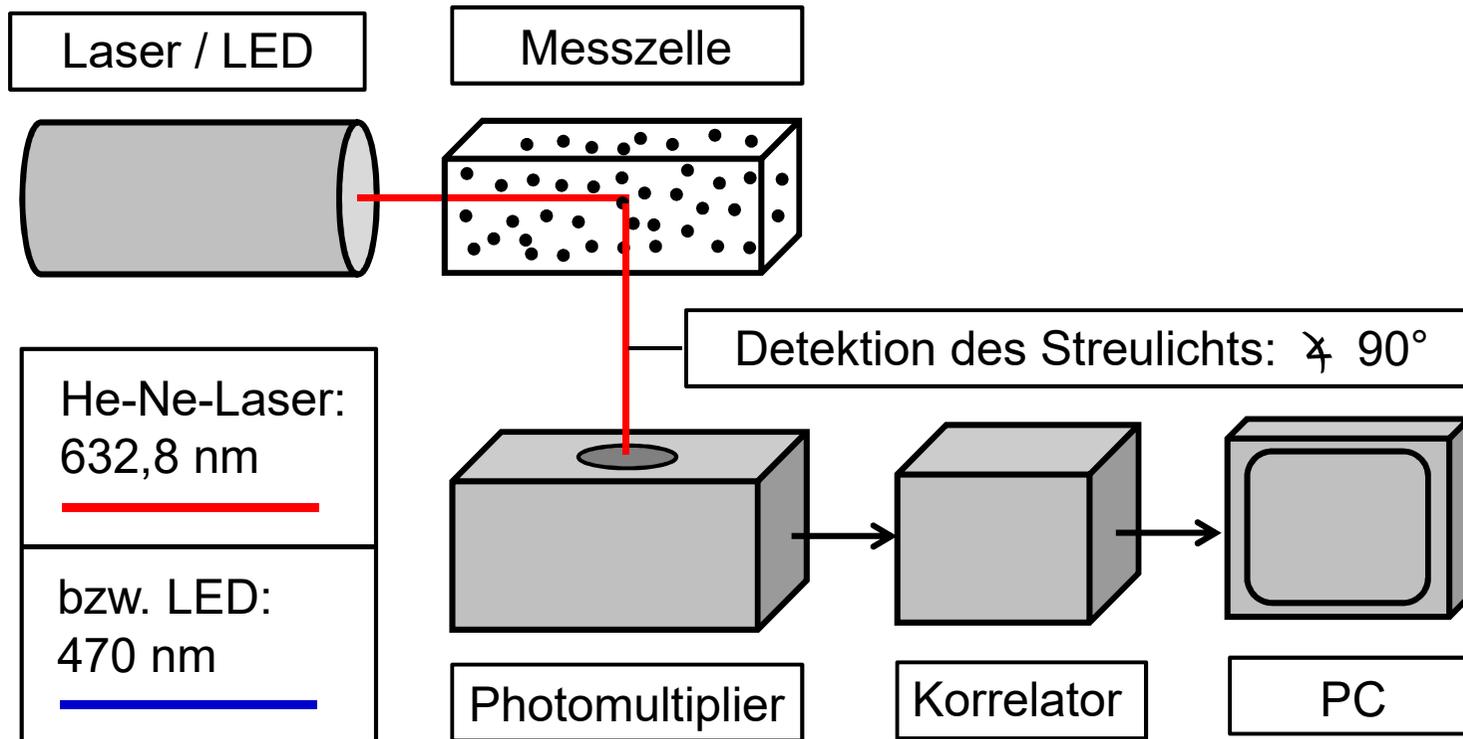
Dispersionen: Partikelgrößenmessung, Grundprinzip.



Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

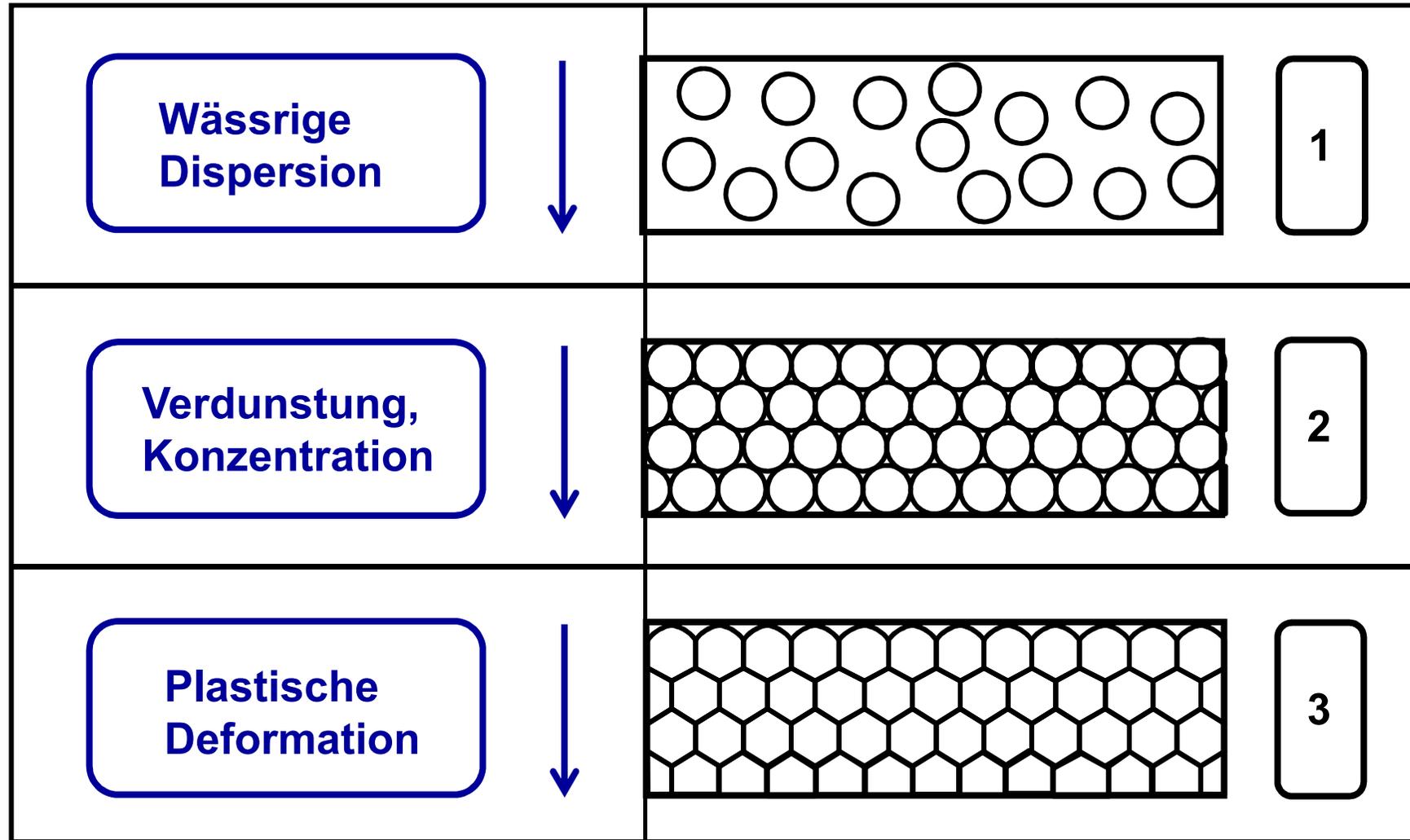
Dispersionen: Partikelgrößenmessung, Grundprinzip.

Aufbauprinzip einer Vorrichtung zur Messung von Partikeldurchmessern mittels quasielastischer, dynamischer Lichtstreuung.



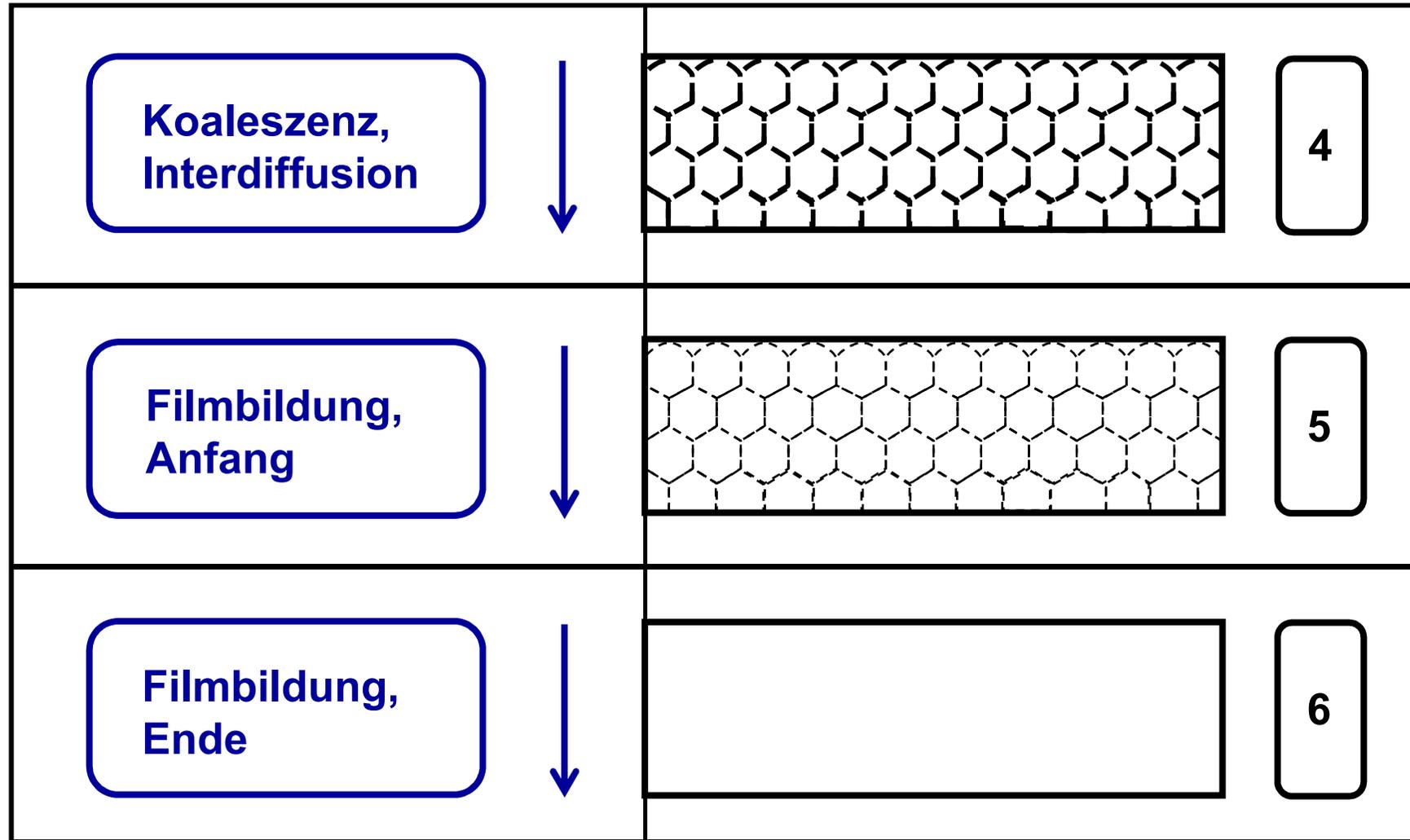
Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Emulsionspolymerisat, Filmbildungsmechanismus.



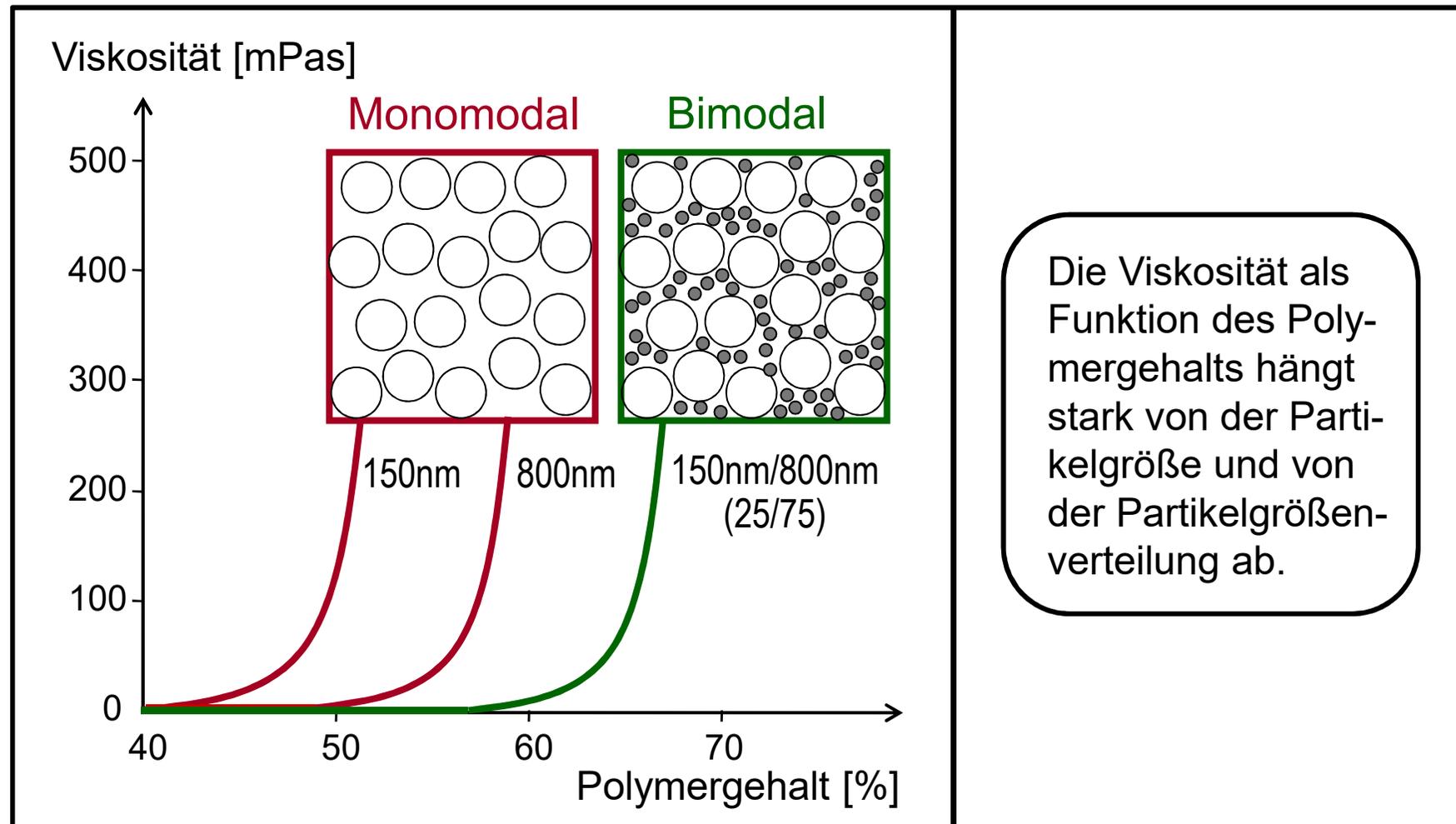
Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Emulsionspolymerisat, Filmbildungsmechanismus.



Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Emulsionspolymerisat, Primärdispersion; Viskosität als Funktion des Feststoffgehalts.

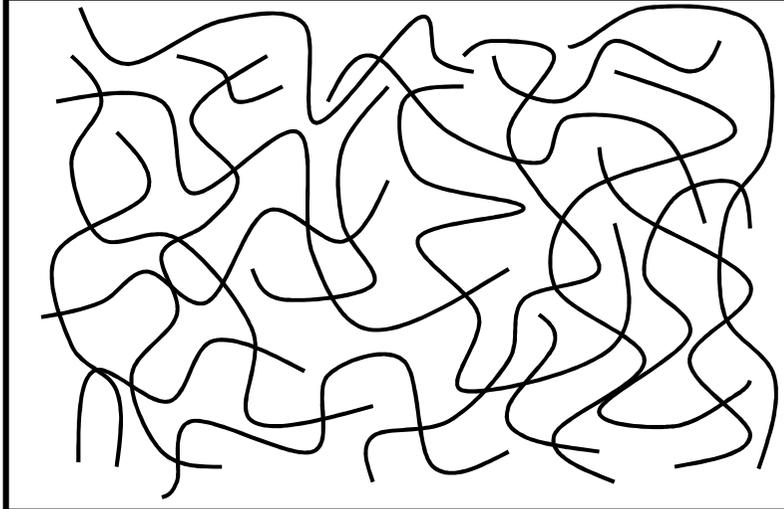


Die Viskosität als Funktion des Polymergehalts hängt stark von der Partikelgröße und von der Partikelgrößenverteilung ab.

Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Lösungen/Dispersionen: Viskosität und Molekulargewicht.

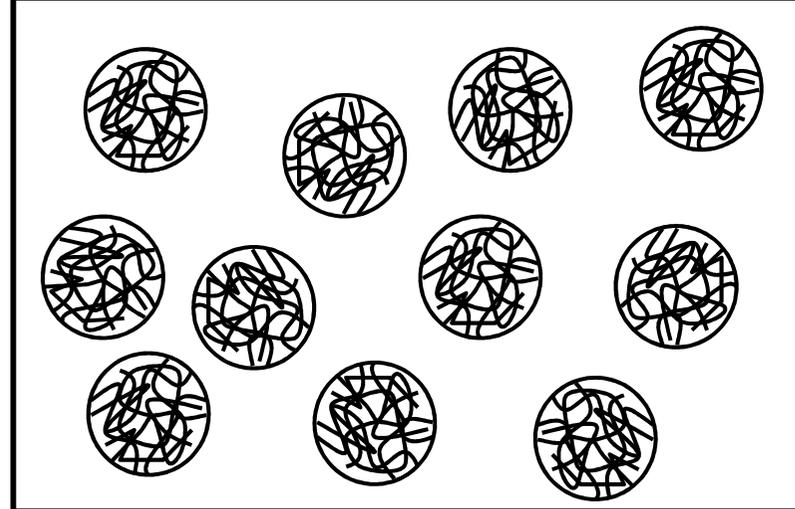
Polymer-Lösung



Viskosität

- Abhängigkeit vom Molekulargewicht.
- Abhängigkeit von der Konzentration.

Polymer-Dispersion

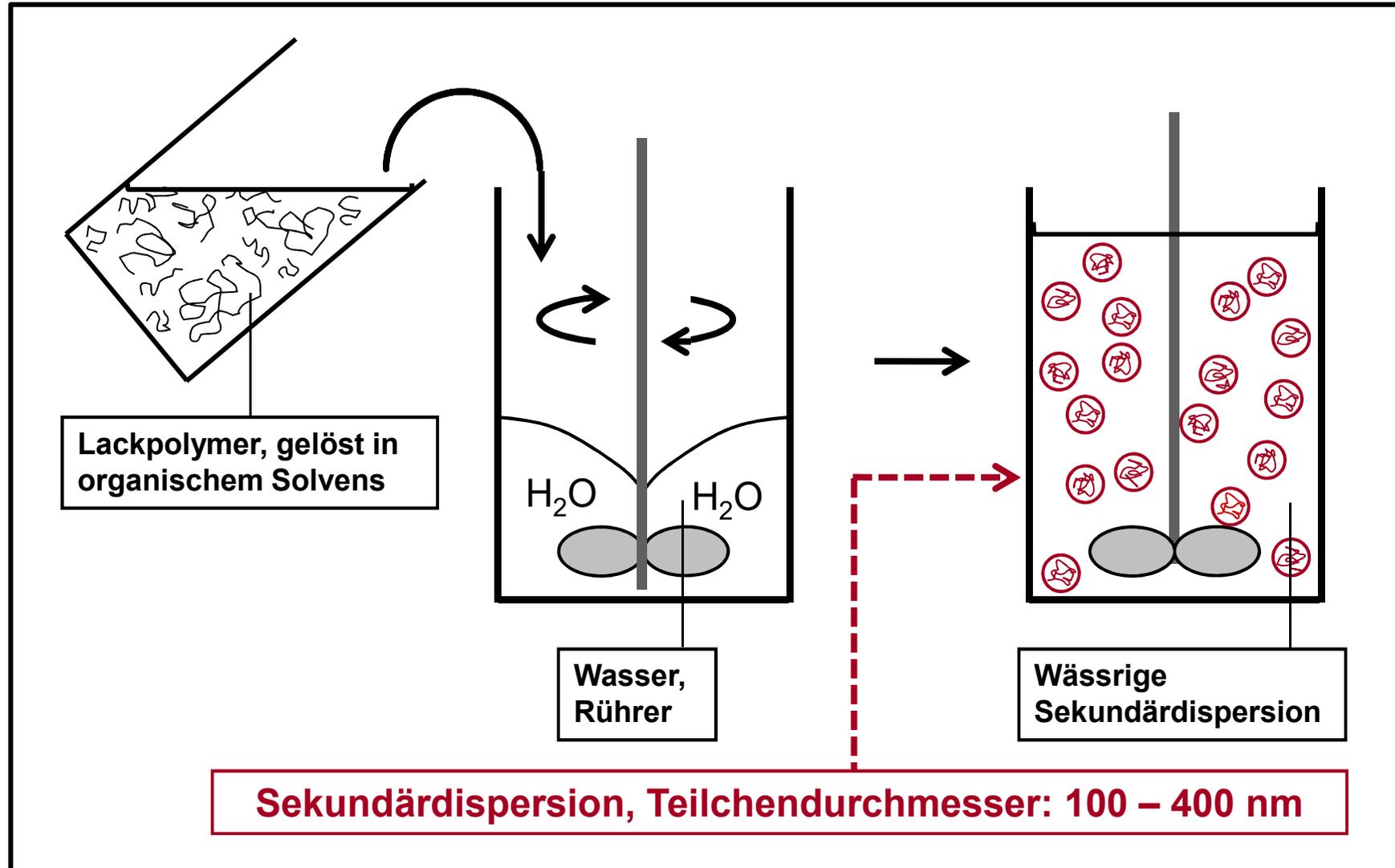


Viskosität

- **Unabhängigkeit** vom Molekulargewicht.
- **Abhängigkeit** von der Konzentration.

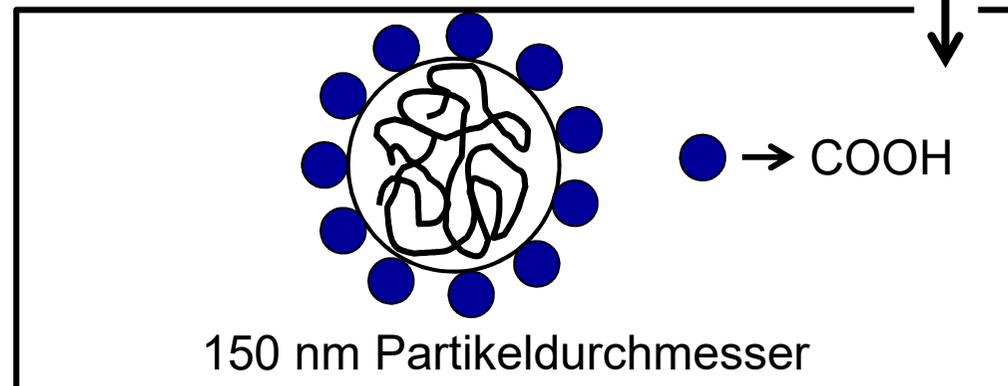
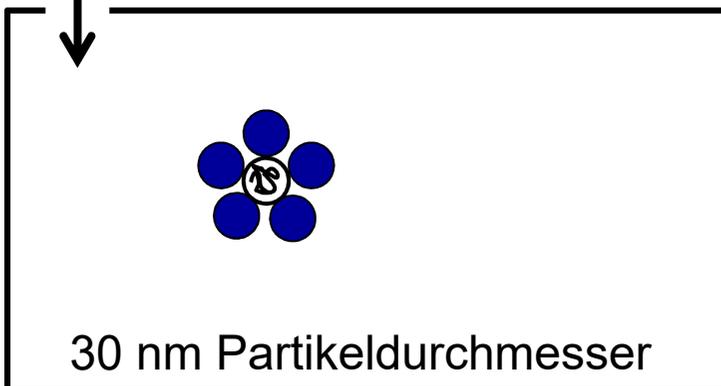
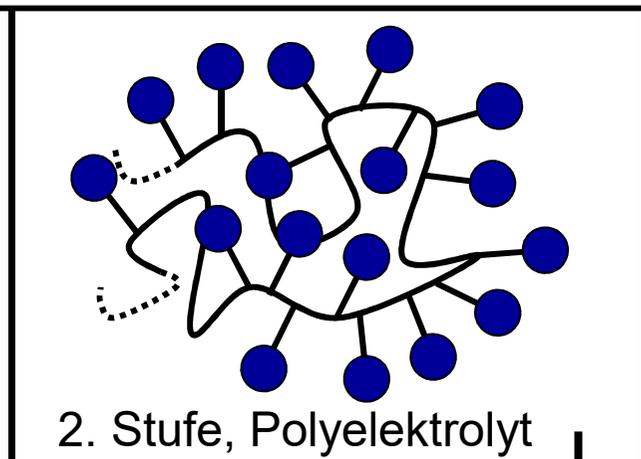
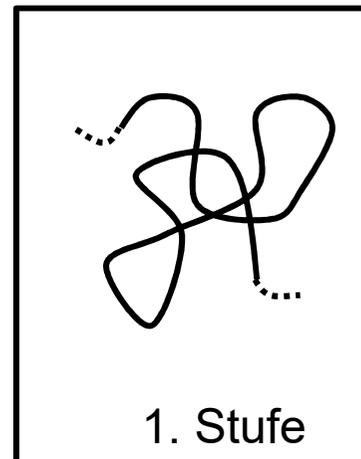
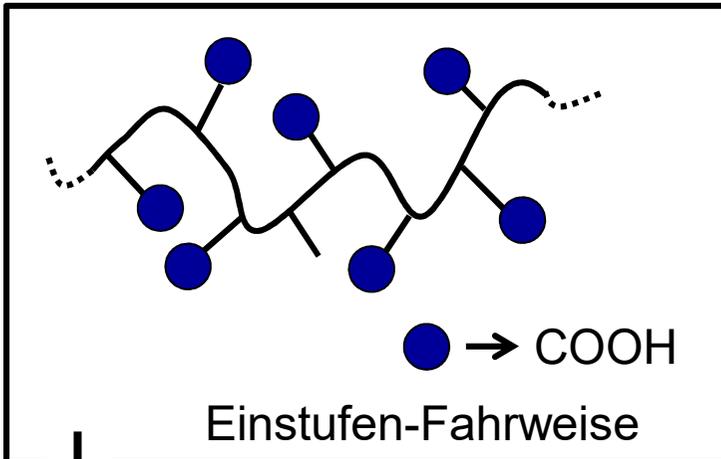
Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Erzeugung einer Lackharz-Sekundärdispersion.



Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Wasserklarlack, Lösungsansatz: Sekundärdispersion.



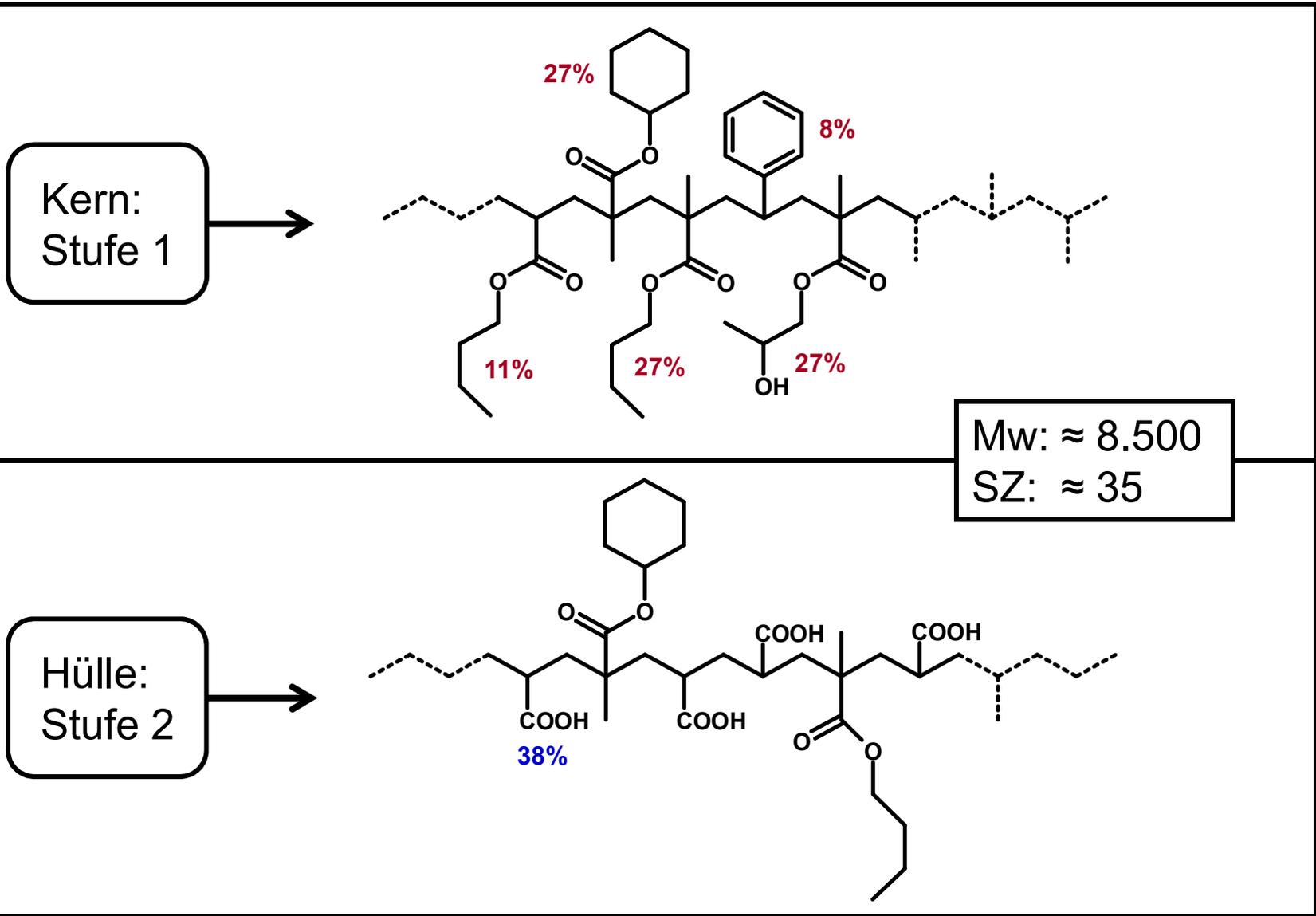
Harz: 36 Gewichts-% einer sekundären Polyacrylatdispersion, **2-stufige Fahrweise**, Melaminharz, blockiertes Isocyanat.

Cosolvens: 16 Gewichts-% Methoxypropanol, Butyldiglykol und Butanol

Dispergiermedium: 48 Gewichts-% deionisiertes Wasser.

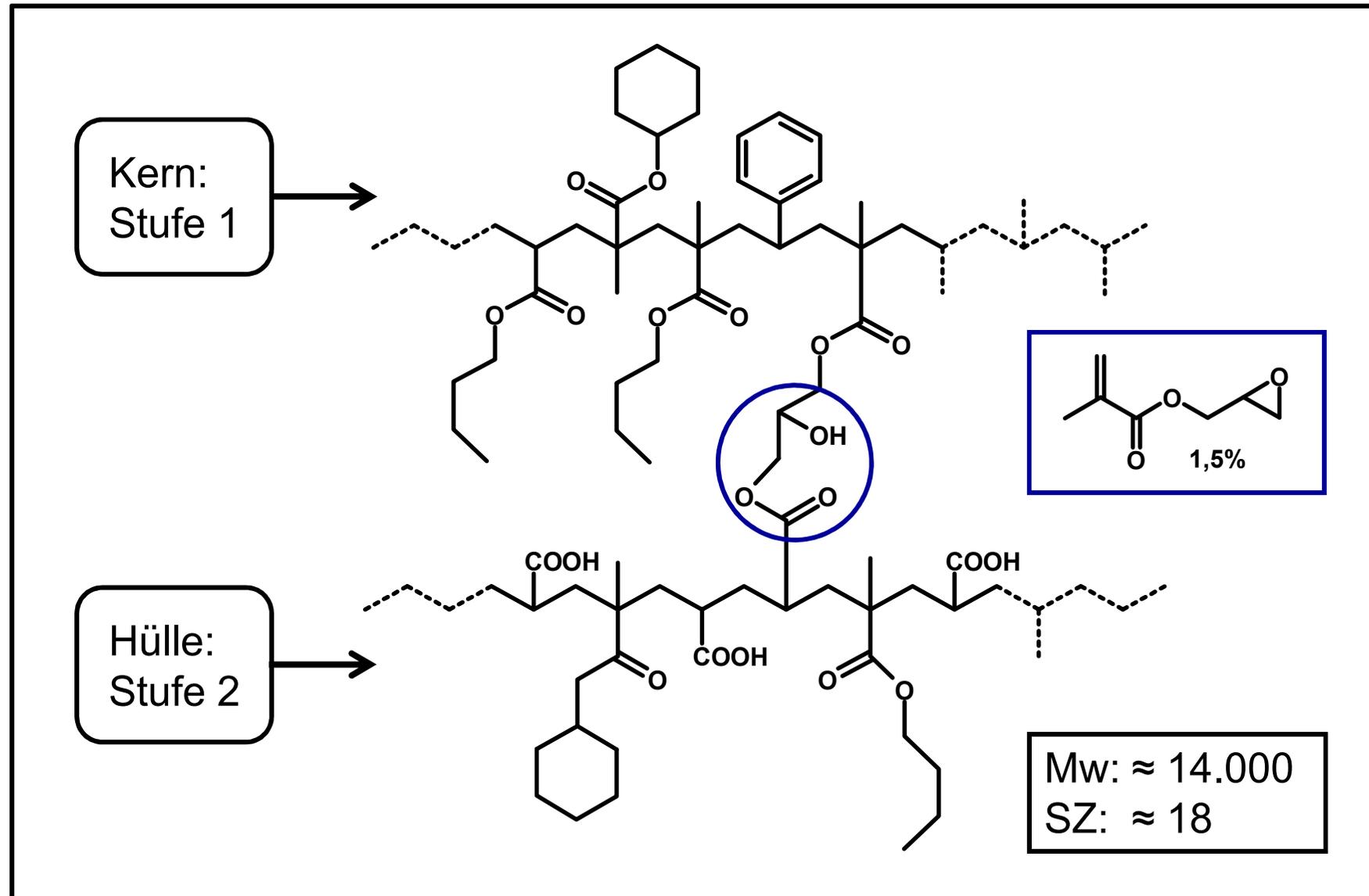
Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

Wasserklarlack: Sekundäre Acrylatdispersion, 2-stufig.



Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion

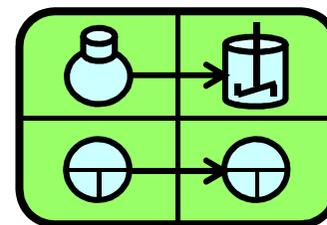
Wasserklarlack, Acrylatdispersion, 2-stufig, „angedockt“.



Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zum Thema: „Lösemittelarmer Klarlack für die Automobilproduktion“.

- D. Urban, K. Takamura, Polymer Dispersions and Their Industrial Applications, Wiley-VCH, Weinheim, 2002.
- H-P. Rink in: H-J. Streitberger, K-F. Dössel, Automotive Paints and Coatings, Wiley-VCH, Weinheim, 2008, S. 211 ff.
- M. Brahm, Polymerchemie kompakt, Hirzel, Stuttgart, Leipzig, 2016.
- Kittel, Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Band 2: W. Krauß: Bindemittel für lösemittelhaltige und lösemittelfreie Systeme, Hirzel, Stuttgart, Leipzig, 1998.
- A. Goldschmidt, H-J. Streitberger, BASF Handbuch Lackiertechnik, Vincentz, Hannover, 2014.
- S. Koltzenburg, M. Maskos, O. Nuyken, Polymere, Springer Spektrum, Heidelberg, 2014.
- B. Tieke, Makromolekulare Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2014.
- M. D. Lechner, K. Gehrke, E. H. Nordmeier, Makromolekulare Chemie, Springer-Spektrum, Heidelberg, Berlin, 2014.
- C. Wrana, Polymerphysik, Springer-Spektrum, Heidelberg, Berlin, 2014.
- B. Müller, U. Poth, Lackformulierung und Lackrezeptur, Vincentz, Hannover, 2017.
- T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke, Lehrbuch der Lacktechnologie, Vincentz, Hannover, 2017.
- P. F. W. Simon, A. Fahmi, Polymere - Chemie und Strukturen, Wiley-VCH, Weinheim, 2020.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie



Zusatzmodul 03 für Chemiker (m/w/d)

***Informationsmaterial** zum Lerninhalt:
Metal-Organic Frameworks, weitere Anwendungsfelder.*

**Metal-Organic Frameworks,
weitere potenzielle Anwendungsfelder.**

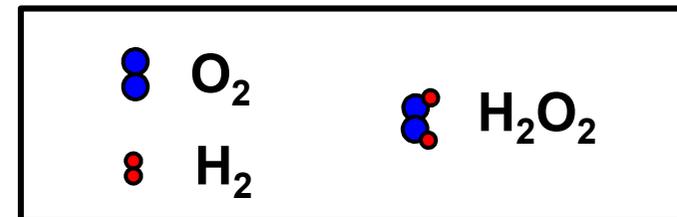
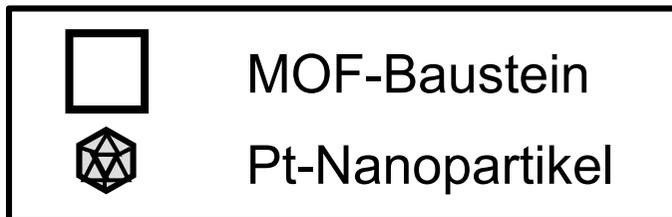
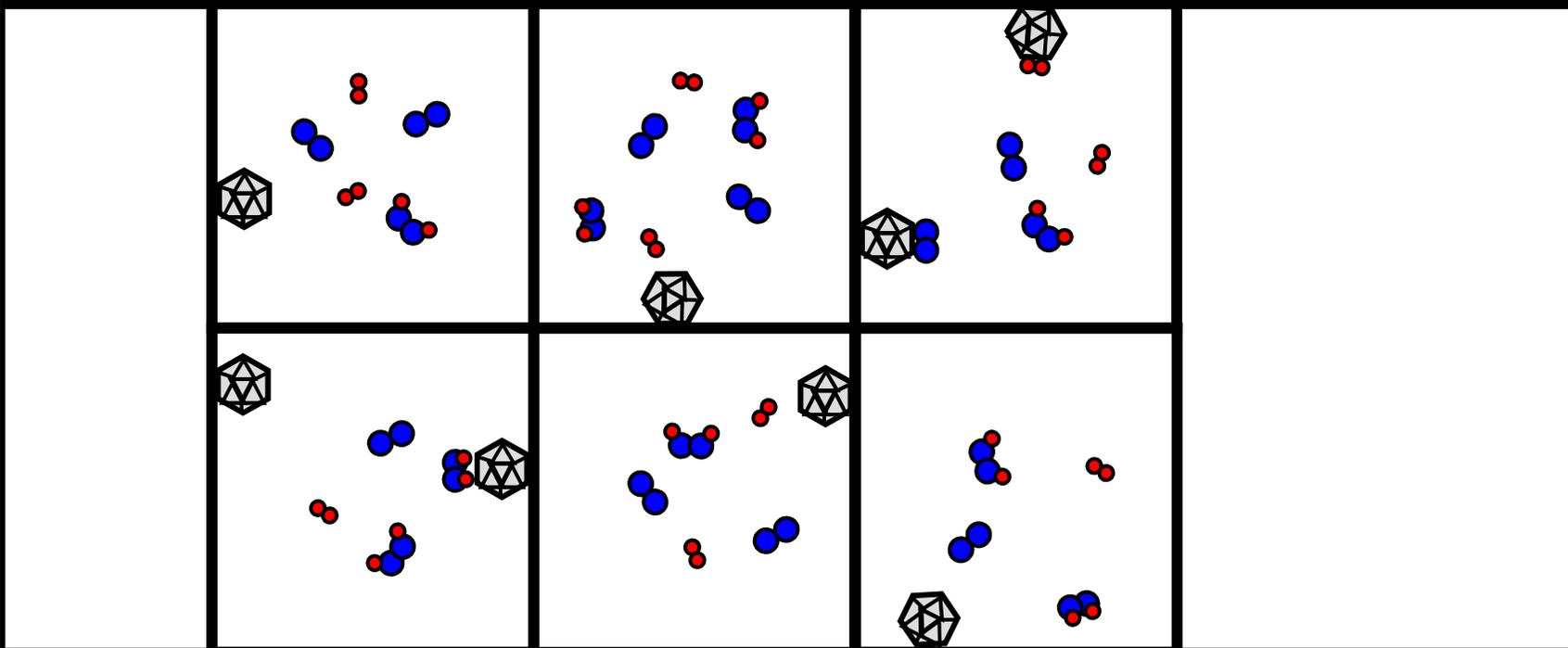
Neue metallorganische Gerüstmaterialien zur Gasspeicherung

Technische Anwendungen dieser porösen Materialien:

- Trägermaterialien für die Heterogenkatalyse.
- Immobilisierung (chiraler) homogener Katalysatoren.
- Nanoreaktoren.
- „Gussformen“ im Nanomaßstab.
- Slow-Release-Formulierungen, Drug-Release.
- Lumineszenz-Strahler.
- Gasreinigung.
- Gastrennung.
- Gasspeicherung.

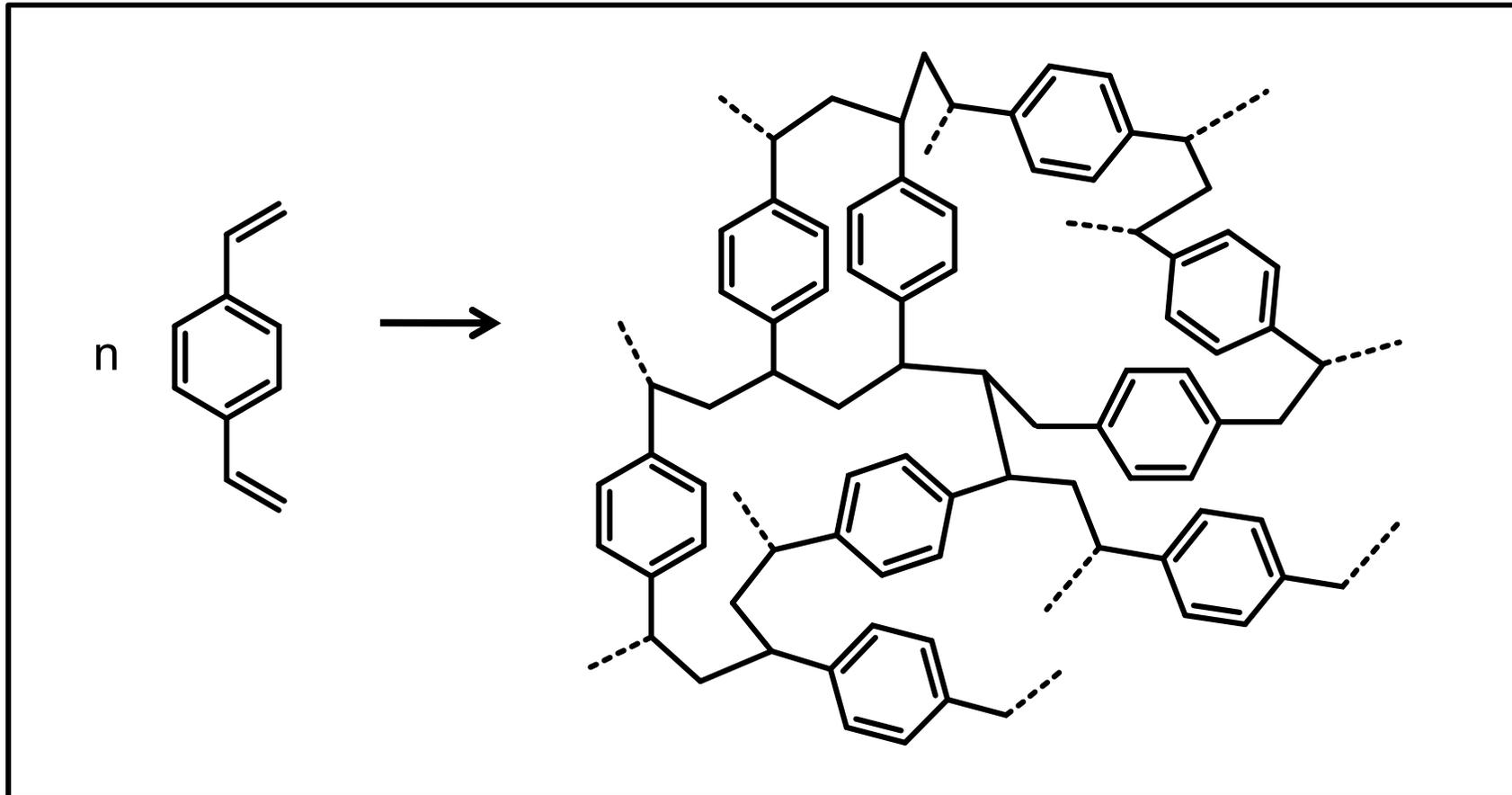
Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

Trägermaterialien für die Heterogenkatalyse:



Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

Nanoreaktor, Polymerisation von DVB ohne „Formgebung“:



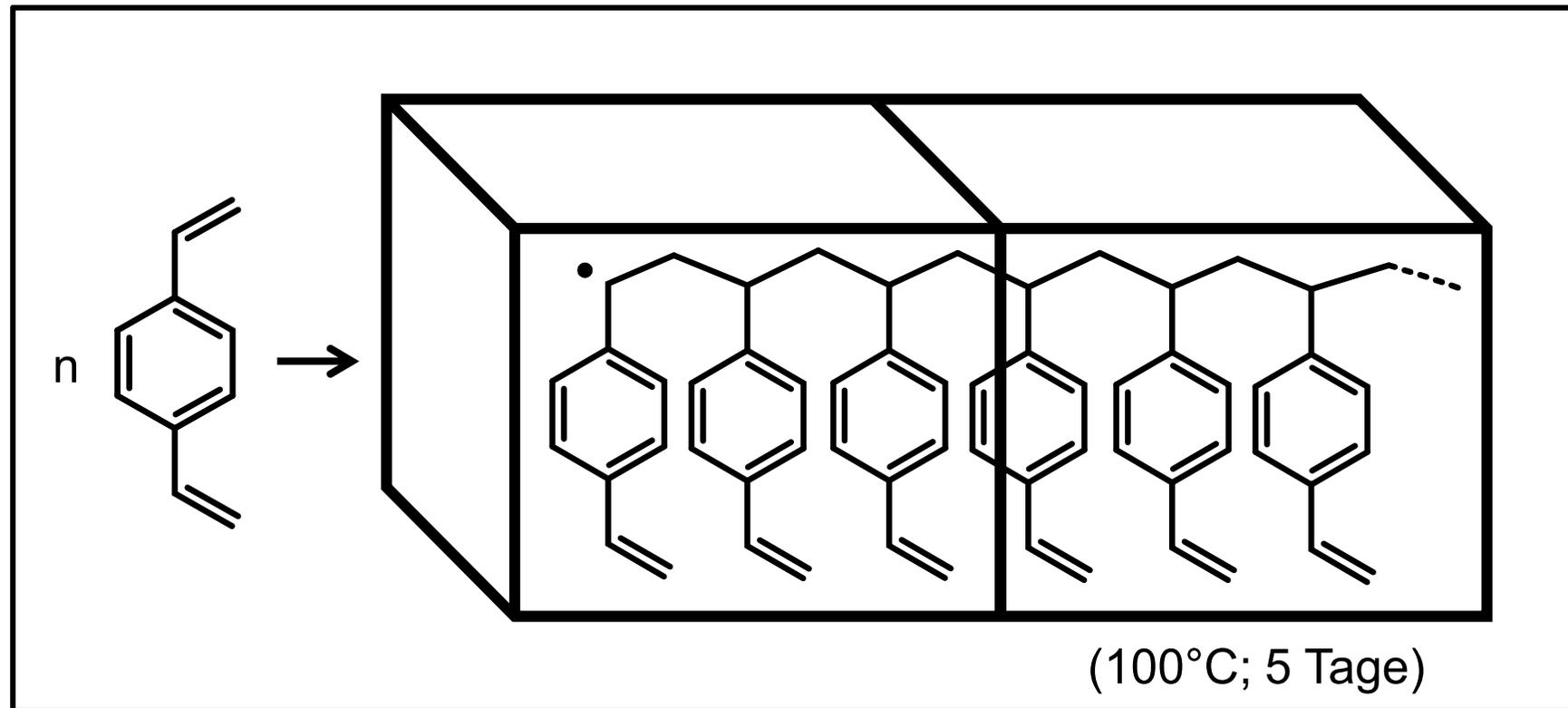
1,4- Divinylbenzol



Kompaktes Duomer, unlöslich

Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

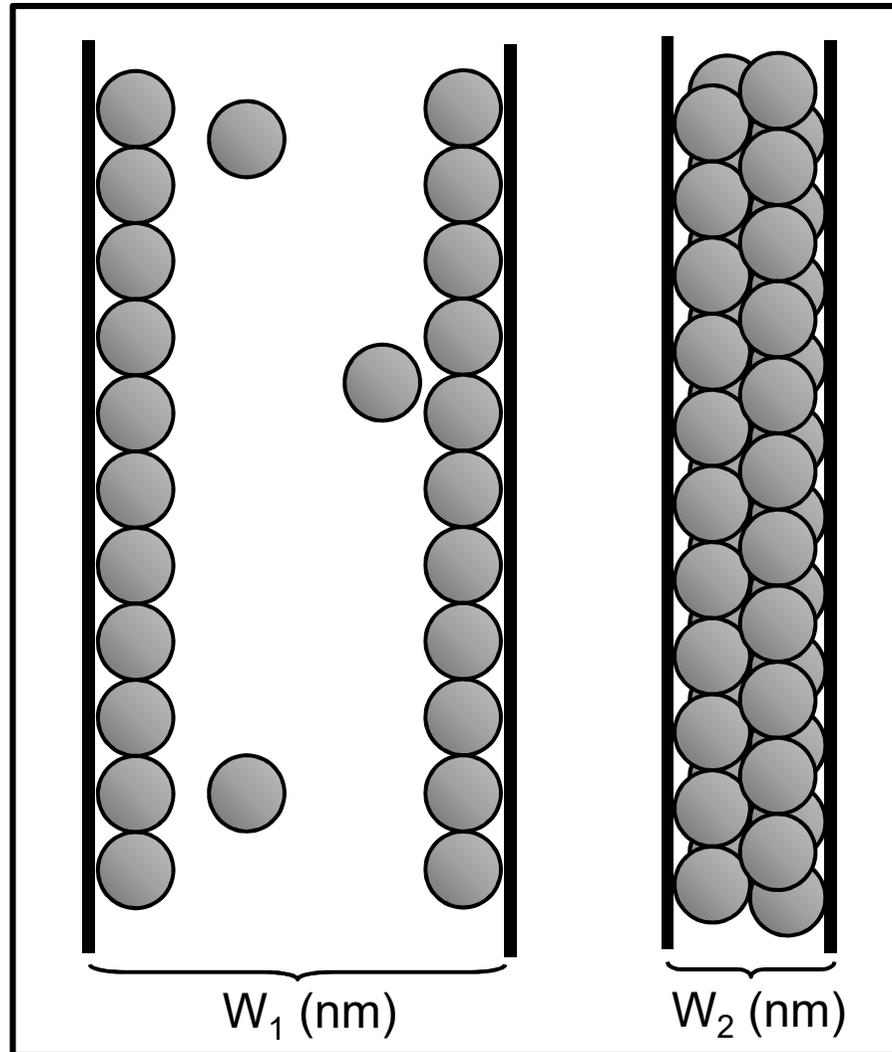
Nanoreaktor, Topochemische Polymerisation:



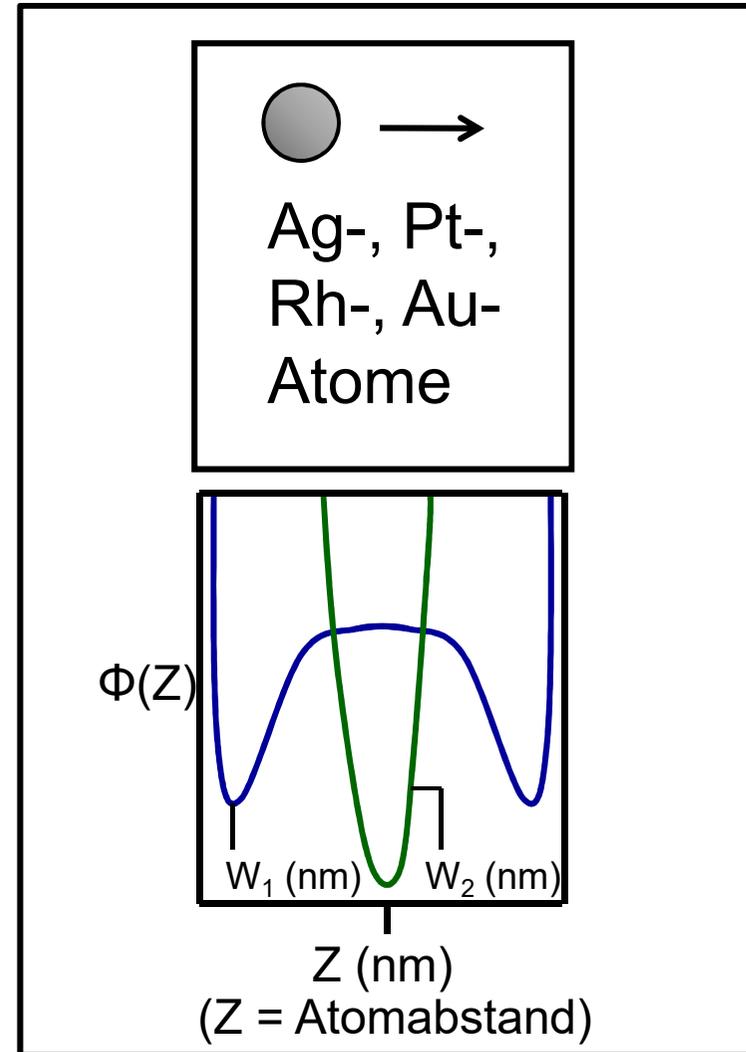
1,4- Divinylbenzol → Funktionalisiertes Polymer, löslich

Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

Atomare/Molekulare „Gussform“ für Nano-Drähte:



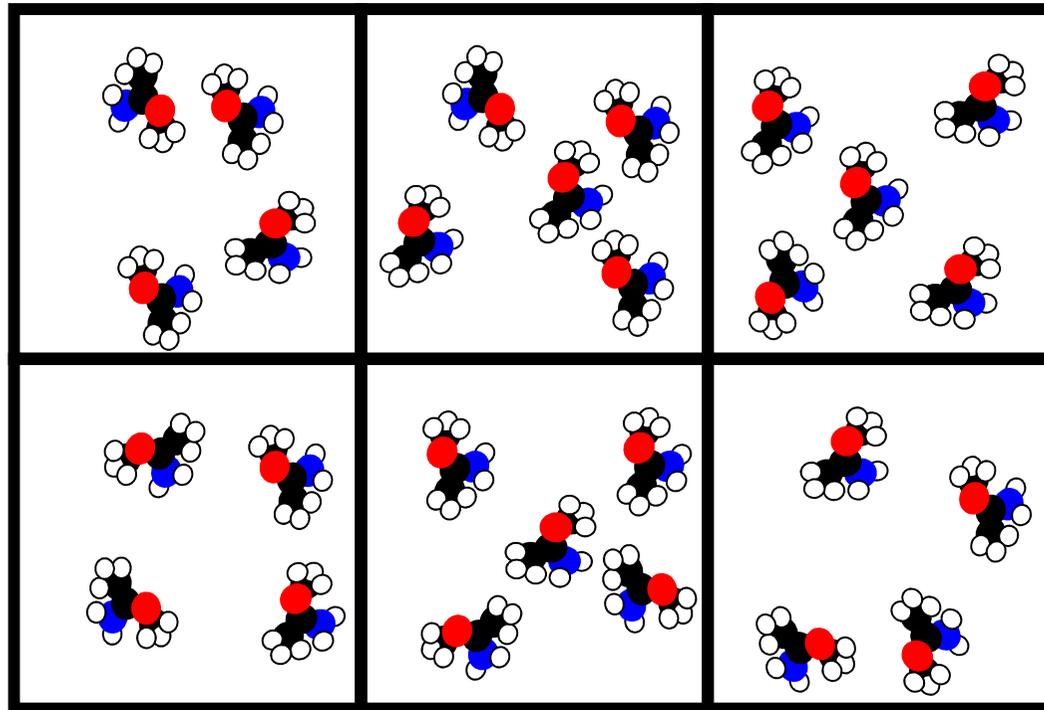
(W = Porenweite)



($\Phi(Z)$ = Wechselwirkungspotenzial)

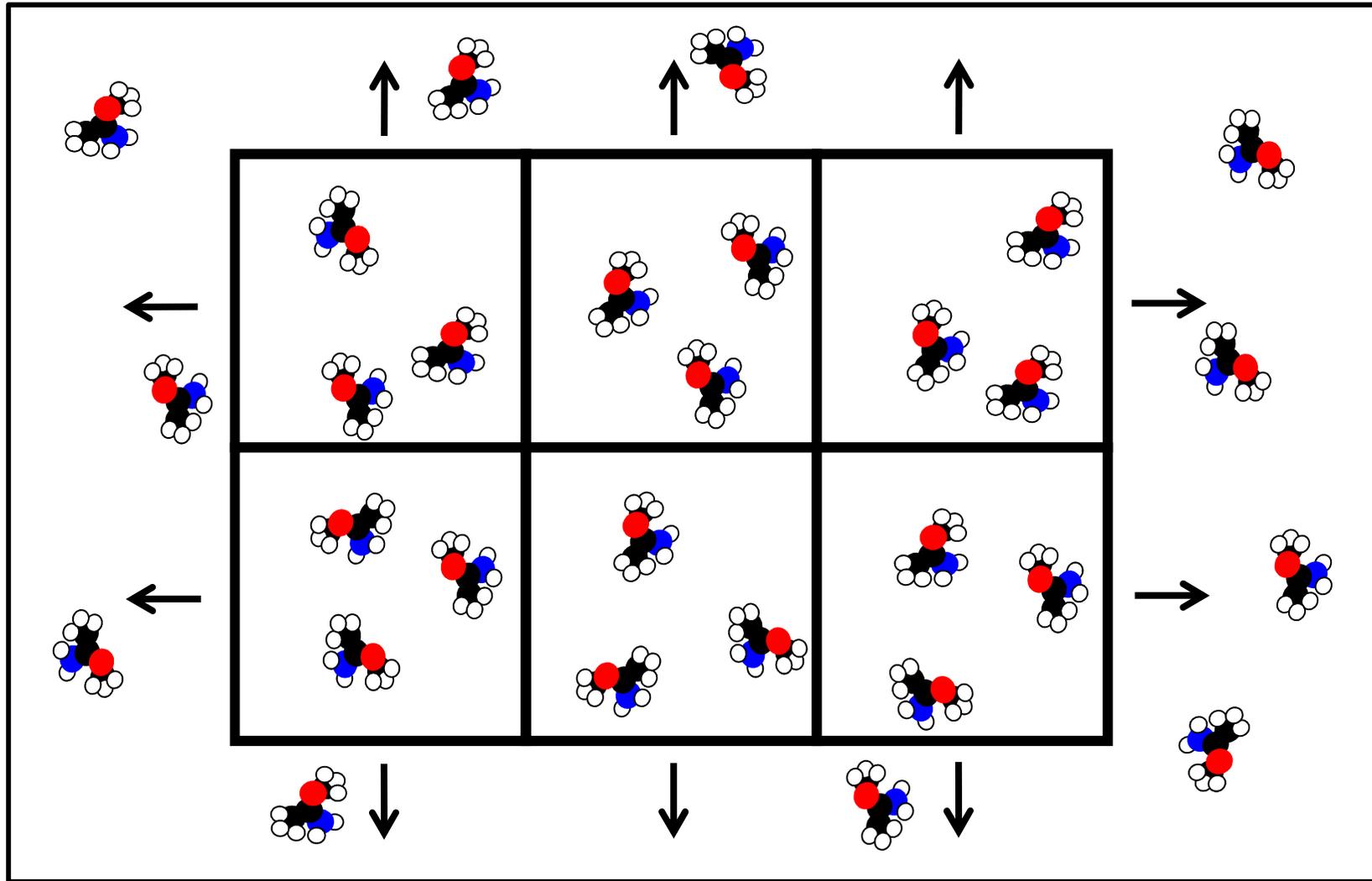
Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

Slow Release; Langsames Freisetzen von Wirkstoffen:



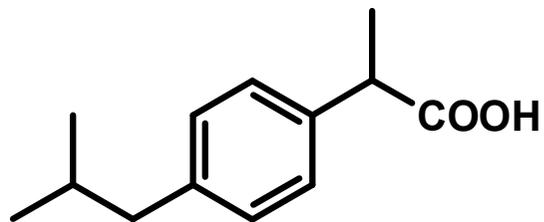
Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

Slow Release; Langsames Freisetzen von Wirkstoffen:

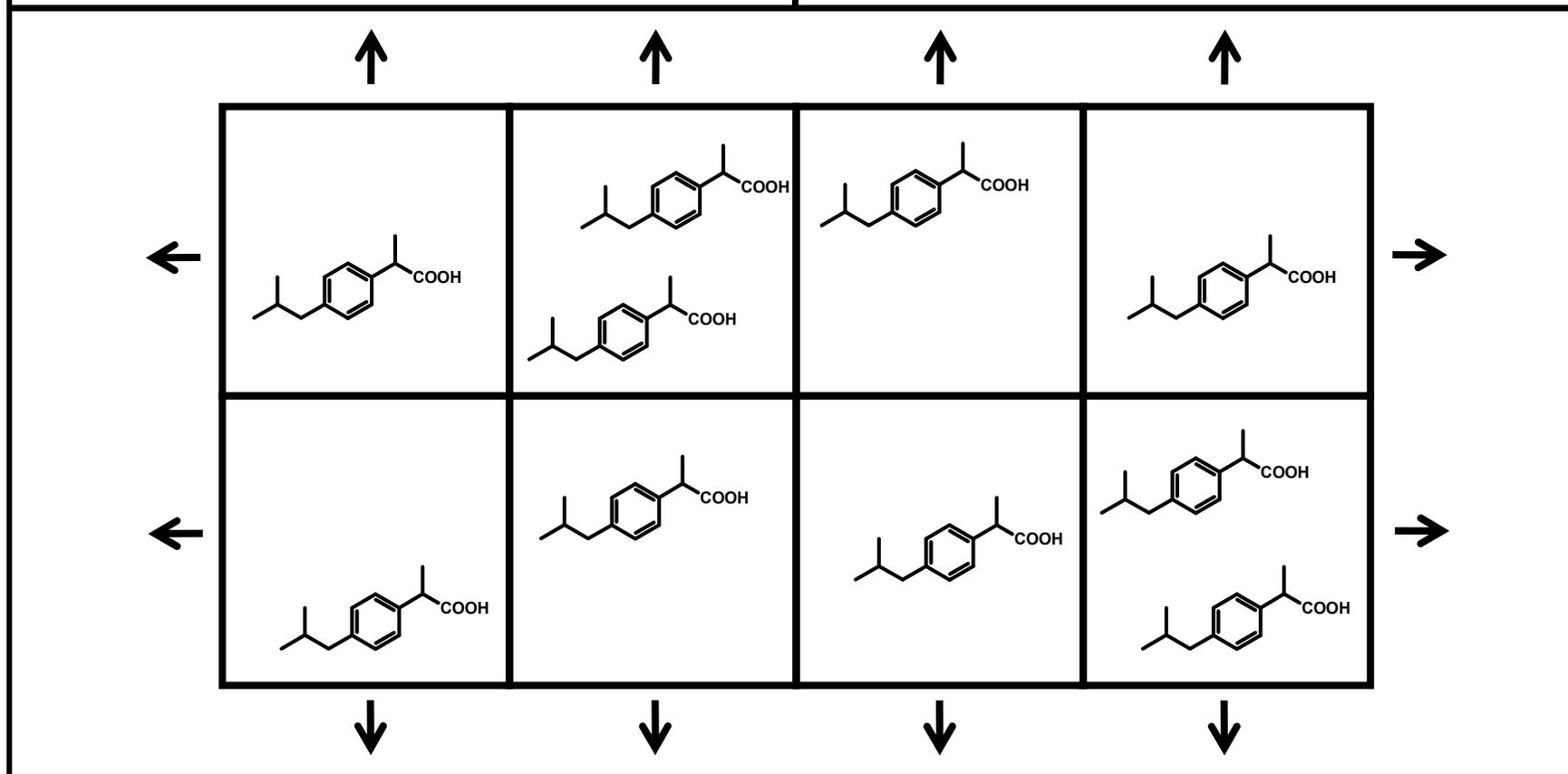


Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

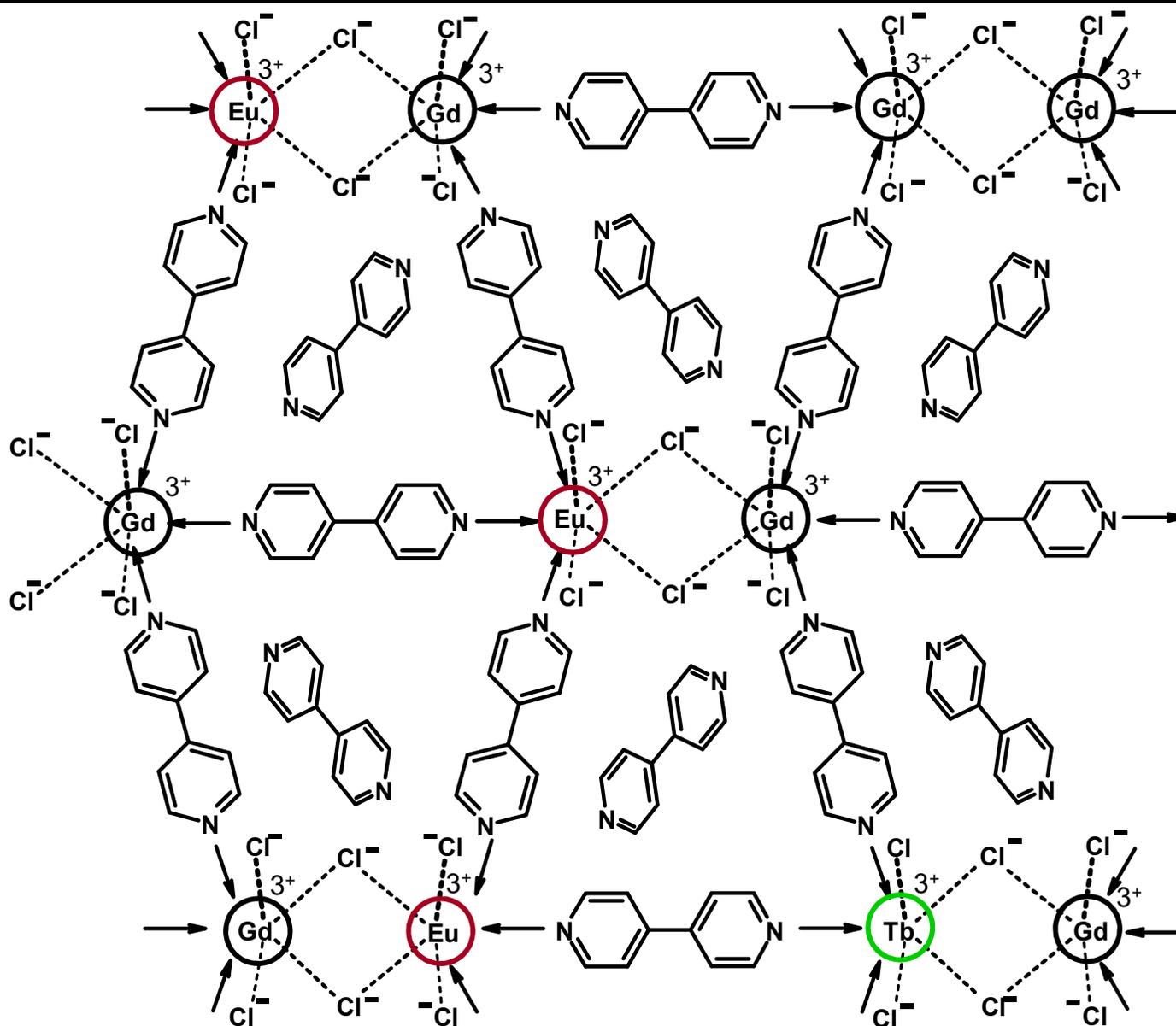
Slow Release; Kontrolliertes Freisetzen von Ibuprofen® :



Ibuprofen® : Antirheumatikum
1,4g / g MOF-74: Kontrollierte
Freisetzung binnen 6 Tagen.

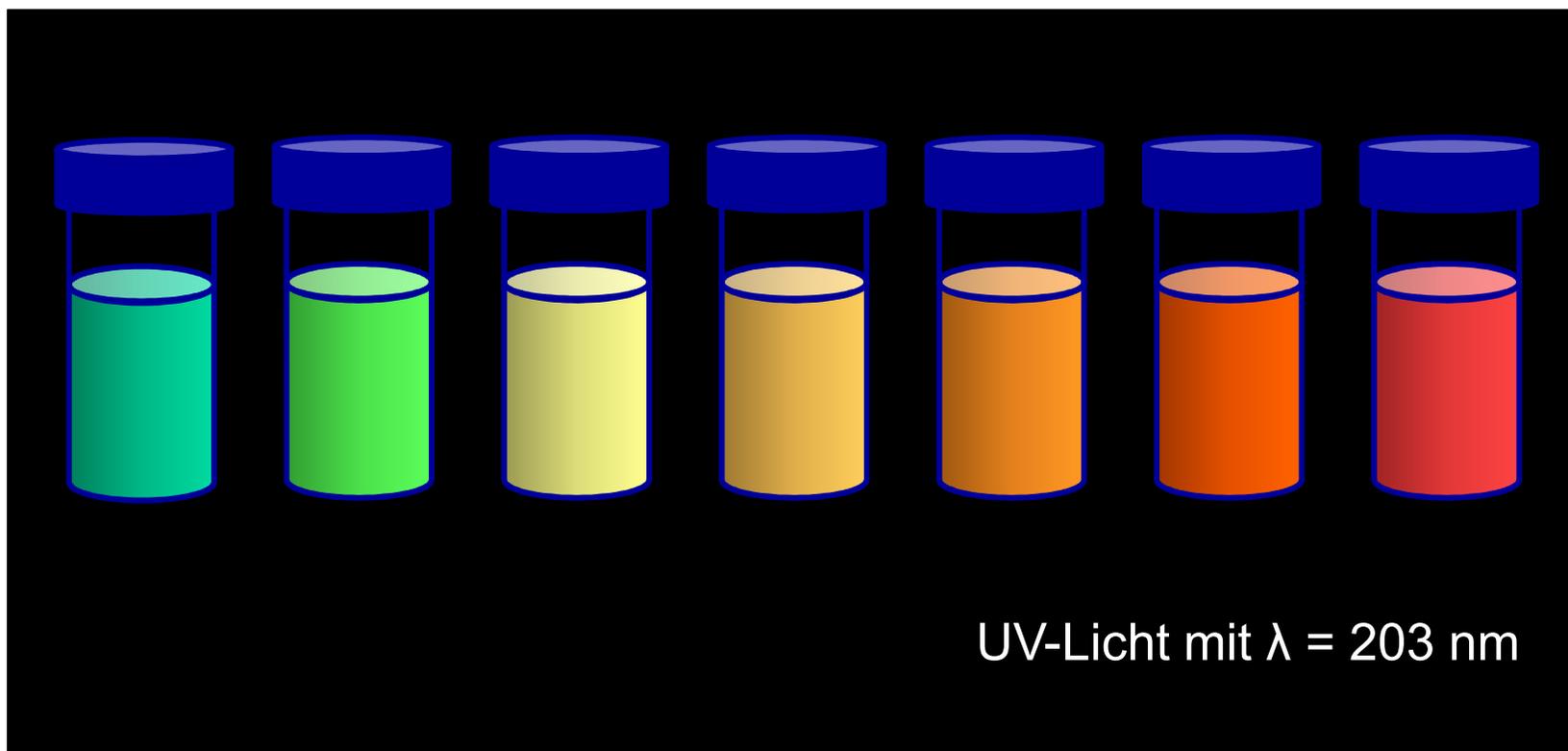


Metal-Organic Frameworks: Lumineszenz-Emitter mit 4,4'-Bipyridyl als „Antennen“ für UV-Licht (302 nm):



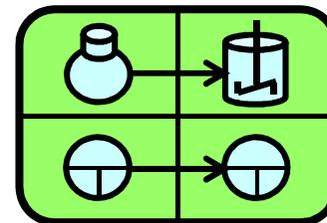
Metal-Organic Frameworks → Technische Anwendungen

MOF-Lumineszenz-Emitter mit jeweils wechselnden Gd-, Tb-, Eu-Mengenverhältnissen bei $\lambda = 203$ nm
(Quelle: Nachrichten aus der Chemie, 3/2013, S 259).



P.R. Matthes, C.J. Höller, M. Mai, J.Heck, S.J. Sedlmaier, S. Schmiechen, C. Feldmann,
W. Schnick, K. Müller-Buschbaum, J. Mater. Chem. 2012, 22, 10179-10187

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie

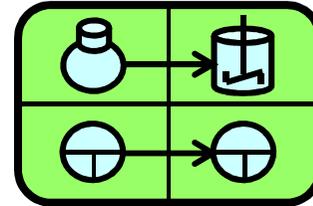


Zusatzmodul 03 für Chemiker (m/w/d)

Informationsmaterial zum Lerninhalt:
Ionische Flüssigkeiten, Synthesen, Anwendungsfelder.

**Ionische Flüssigkeiten, Synthesen
und weitere Anwendungsfelder.**

FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Lerninhalt

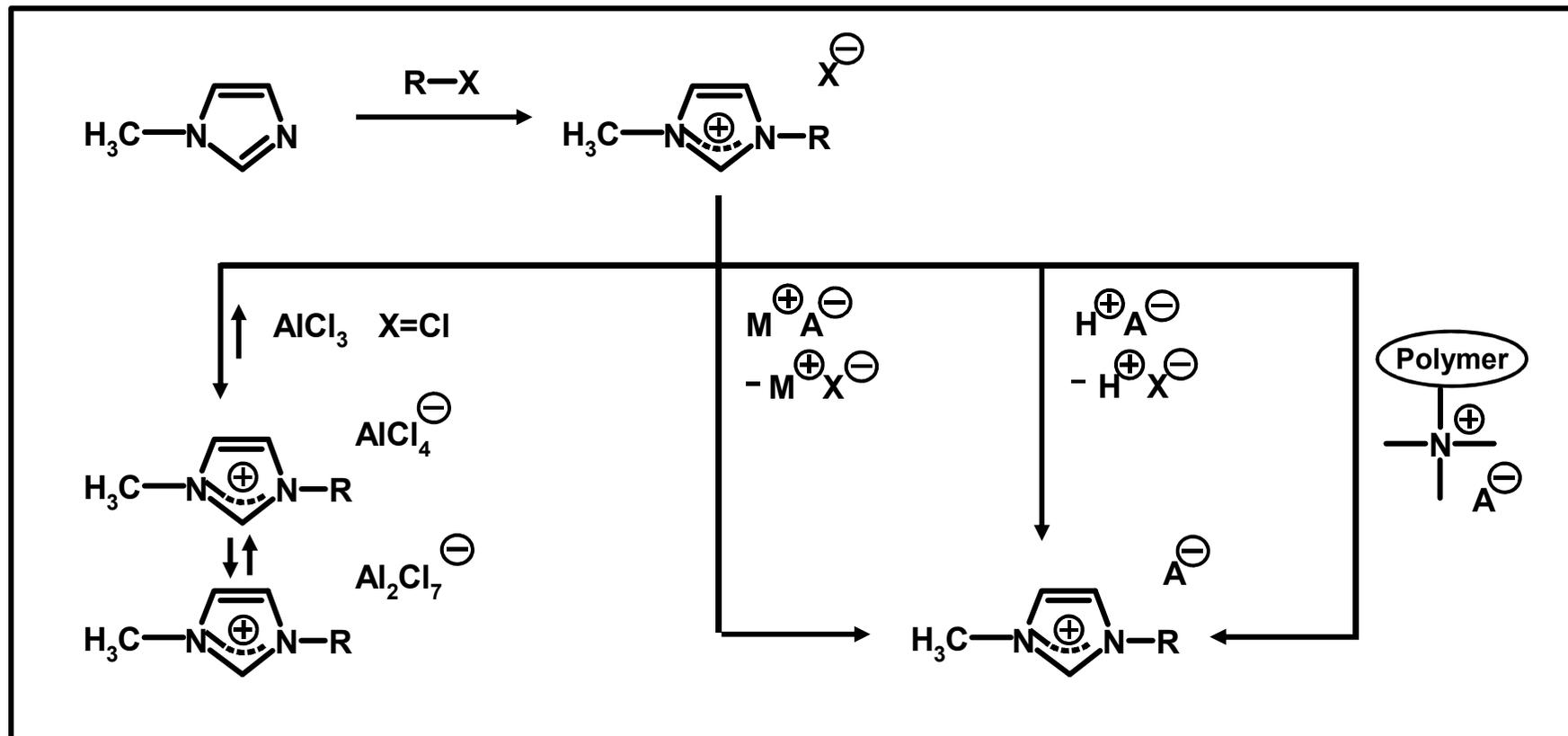


Chemie und Physik

***Ionische Flüssigkeiten, Synthesen
und weitere Anwendungsfelder.***

Ionic Liquids, Synthesen

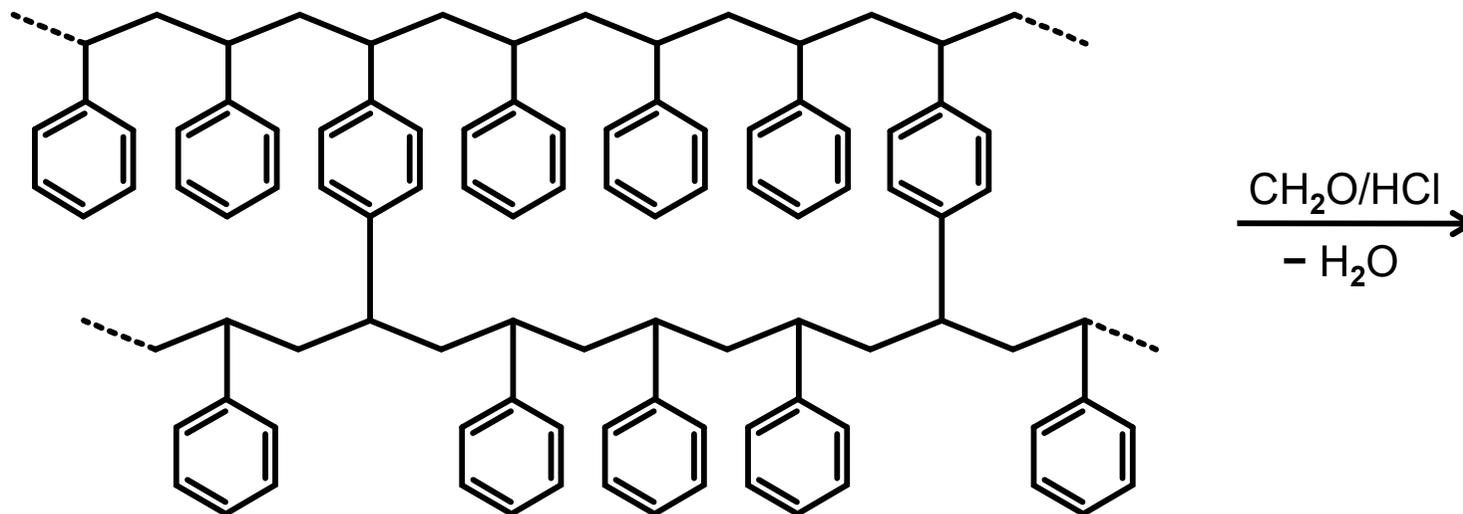
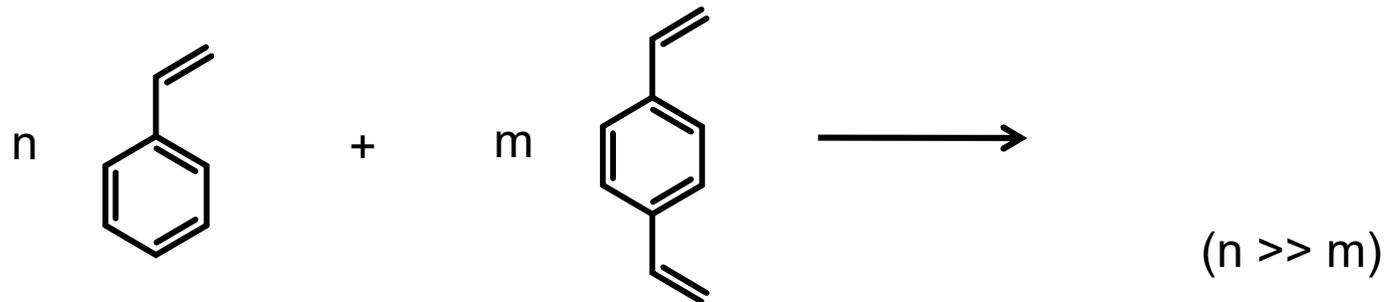
Ionic Liquids: Typische (Technische) Synthesewege.



Umsetzung mit einer Lewisäure	„Metathese“-Reaktion	Umsetzung mit einer Brönstedsäure	Reaktion am Ionenaustauscher
-------------------------------	----------------------	-----------------------------------	------------------------------

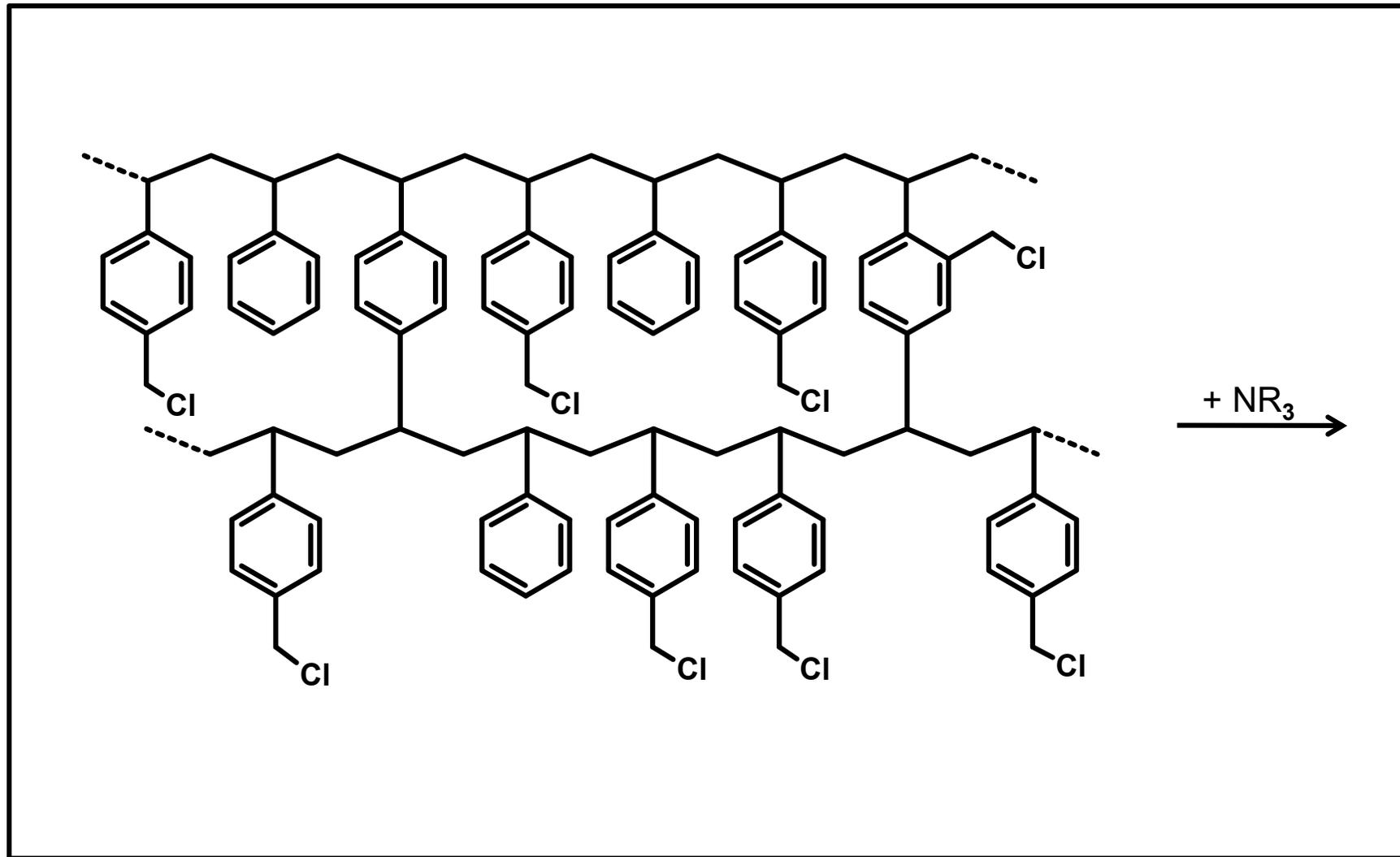
Ionic Liquids, Synthesen

Technische Synthesewege, Anionenaustauscher-Harz.



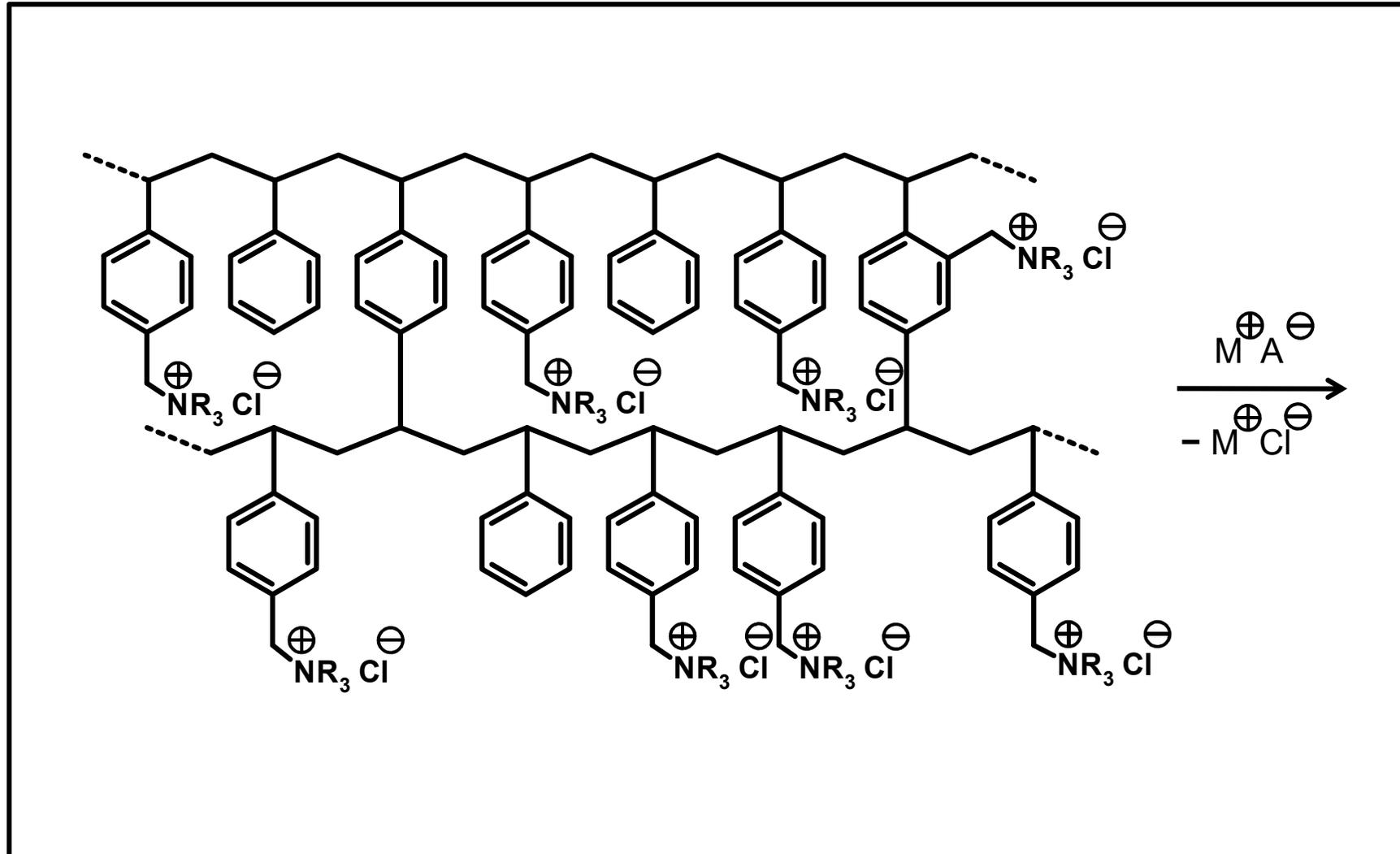
Ionic Liquids, Synthesen

Technische Synthesewege, Anionenaustauscher-Harz.



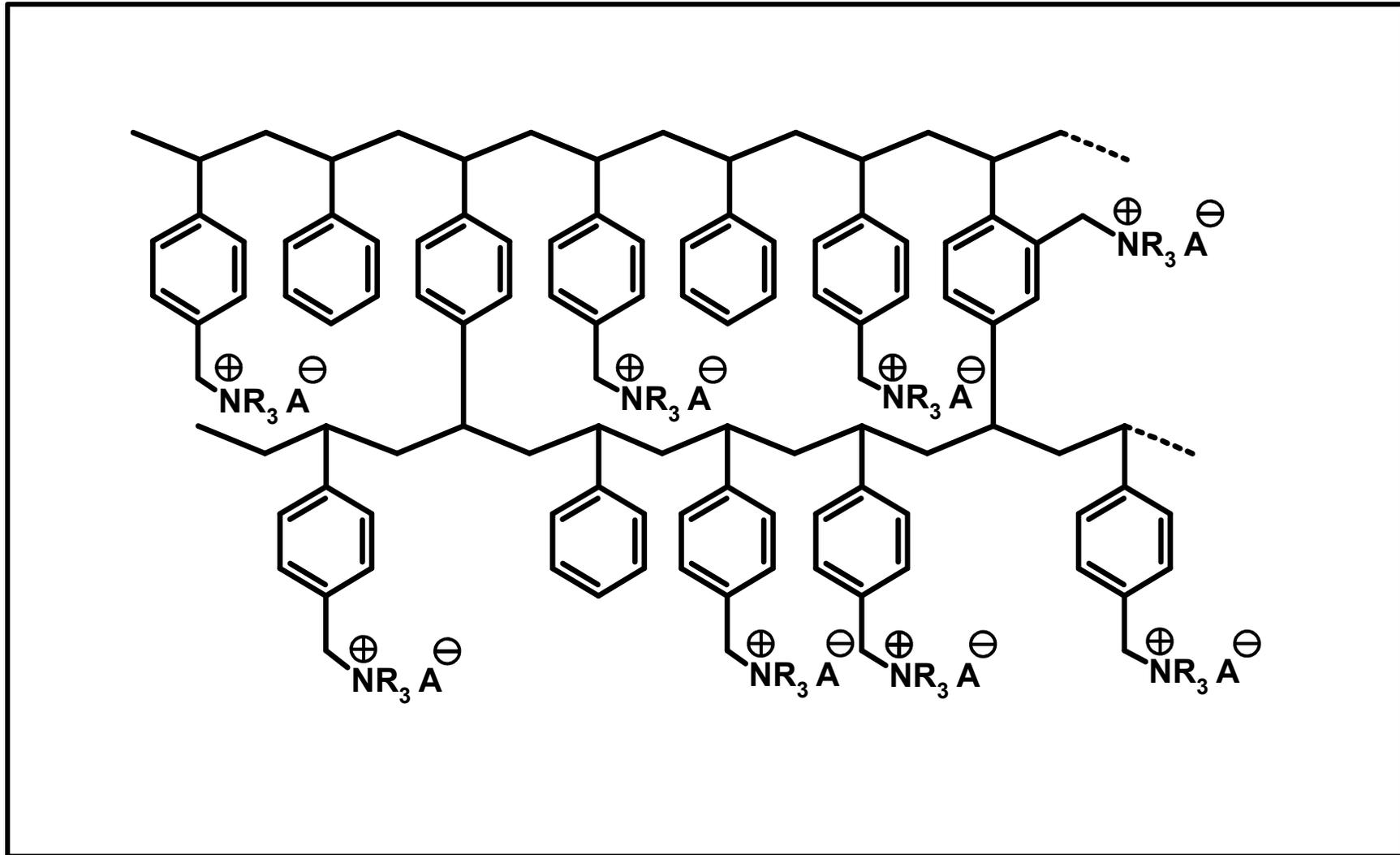
Ionic Liquids, Synthesen

Technische Synthesewege, Anionenaustauscher-Harz.



Ionic Liquids, Synthesen

Technische Synthesewege, Anionenaustauscher-Harz.



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I. L., weitere Anwendungsgebiete in Chemie und Technik.

Synthese und Katalyse.

- „Grüne“ Lösungsmittel für hoch effiziente organische Reaktionen oder Verfahren.
- Zweiphasige Übergangsmetallkatalysen mit flüssig ionischer Katalysatorphase.
- Enzym-katalysierte Reaktionen sind möglich.
- Biphasic Acid Scavenging utilising Ionic Liquids.
- Ionic Liquids ermöglichen die kontrollierte Erzeugung von Nanopartikeln.

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Synthese und Katalyse, Verfahrenstechnische Vorteile.

- I. L. erlauben mehrphasige Reaktionsführungen.
- Effektive Gewinnung der Reaktionsprodukte durch einfache Phasentrennung.
- Erneute Verwendbarkeit der Katalysatoren.

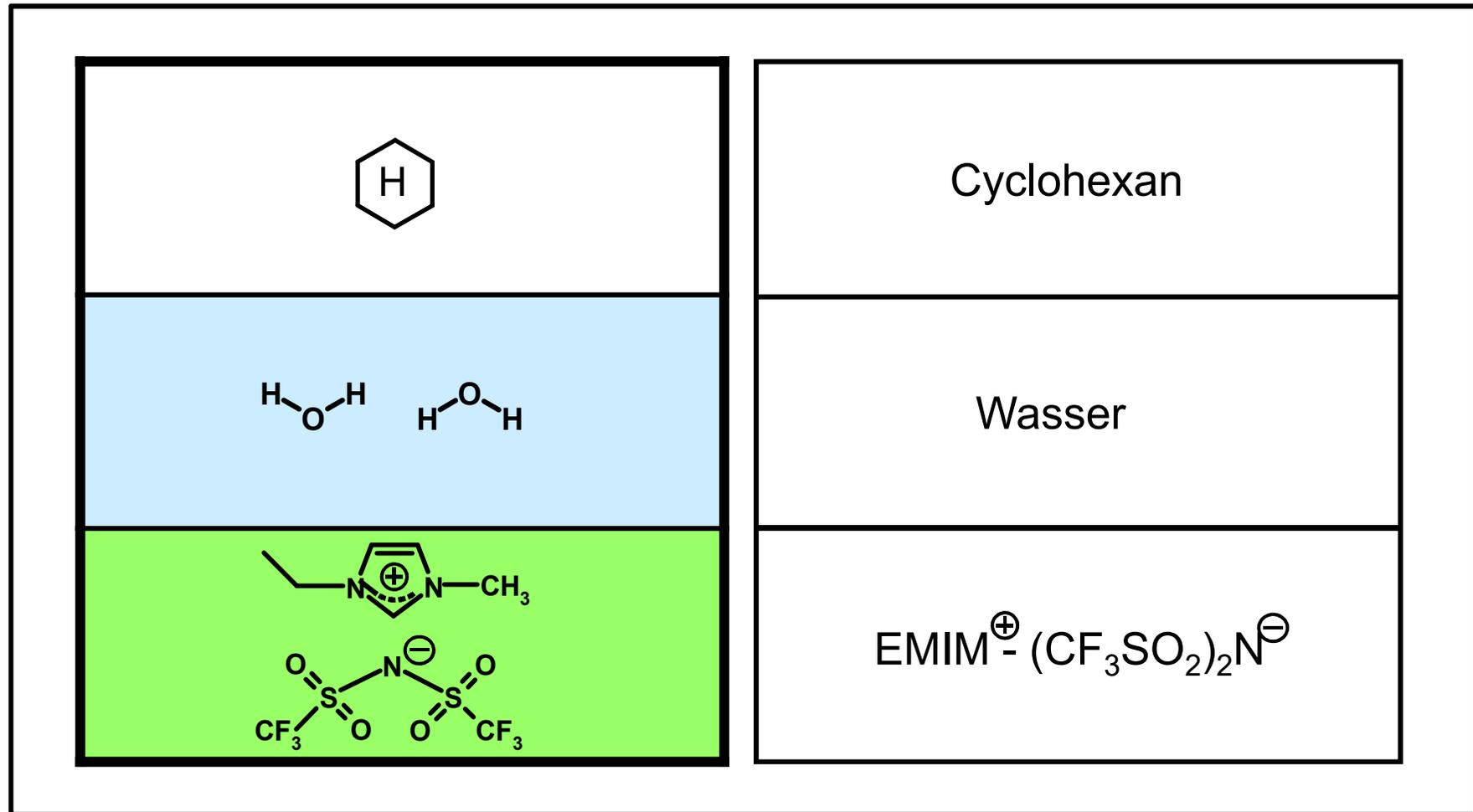


Dreiphasensystem mit einer gezielten Nichtlöslichkeit der ionischen Flüssigkeit in Wasser

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Beispiel für ein stabiles Dreiphasensystem.



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

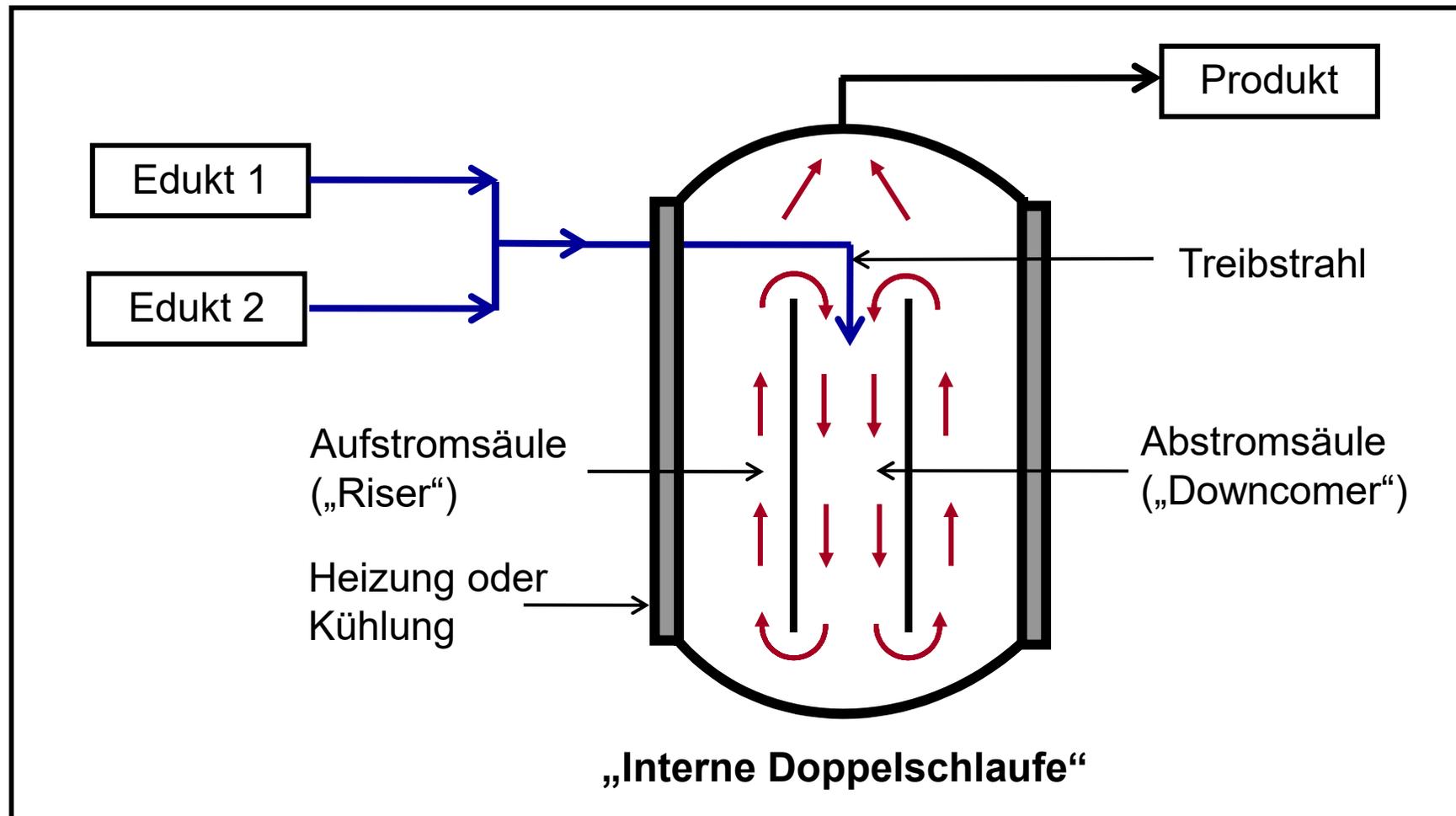
Verfahrenstechnische Vorteile.

- Erhöhte Reaktivität der Reaktanden.
- Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeute.
- Reduzierung der Energie- und Wasserkosten.
- Verbesserte Selektivität der Reaktion.
- Reduzierung der benötigten Rohstoffmengen.
- Minderung der anfallenden Nebenprodukte.
- Einfachere Aufarbeitung der Reaktionsprodukte.
- Saubere Trennung der Flüssigphasen.
- Recyclingfähigkeit der I. L. und / oder des Katalysators.

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

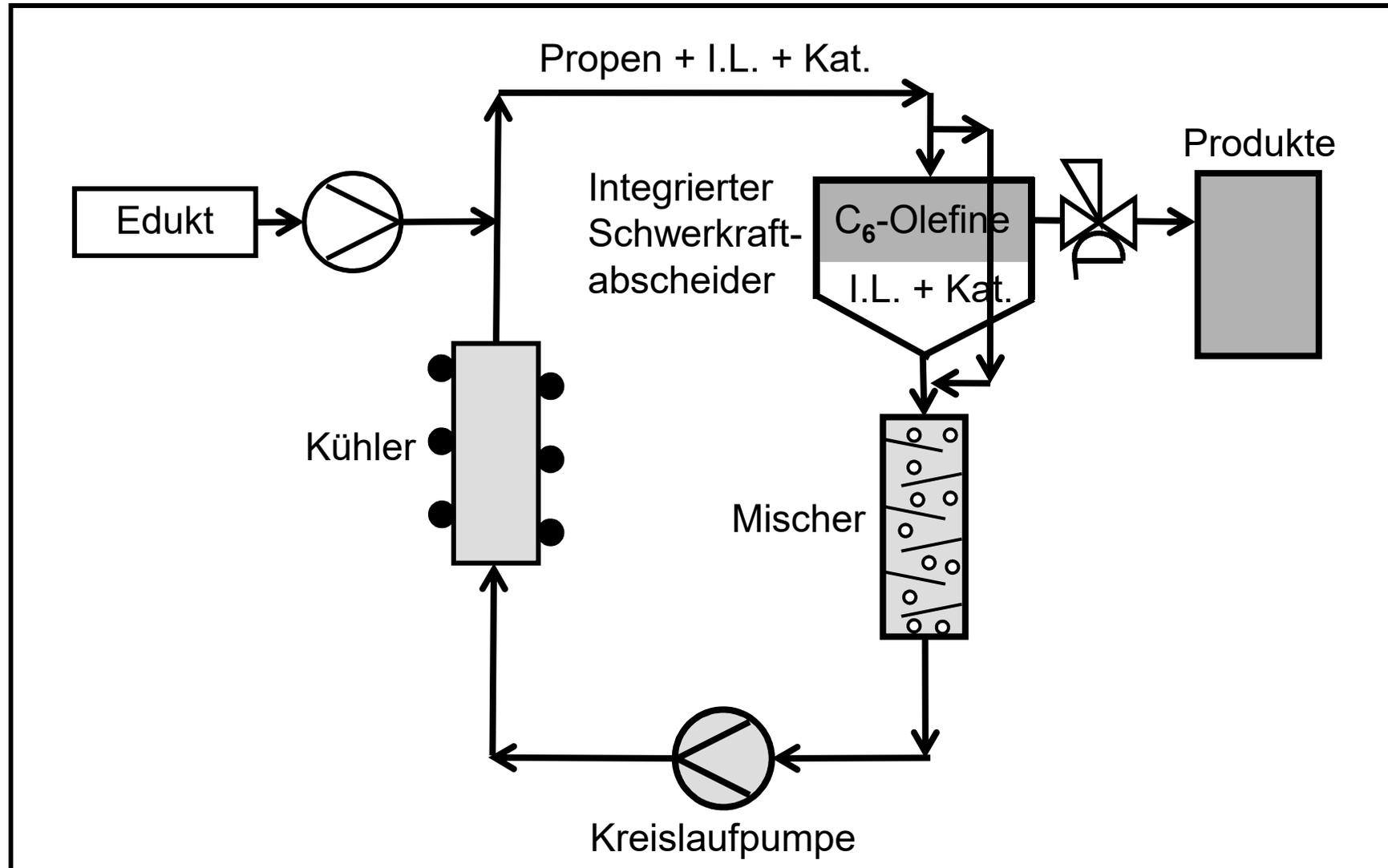
I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Schlaufenreaktor, Bauprinzip und Kreisfahrweise.



I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

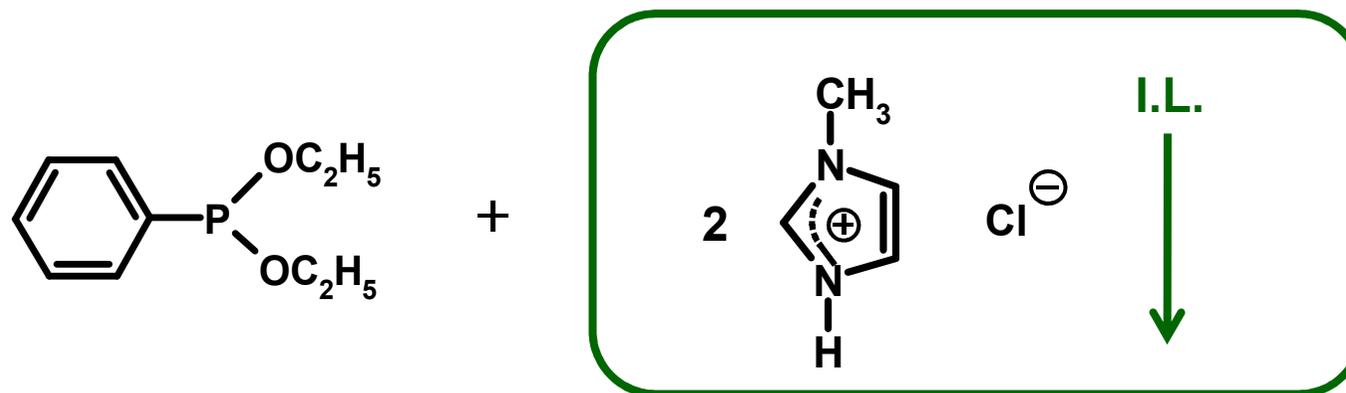
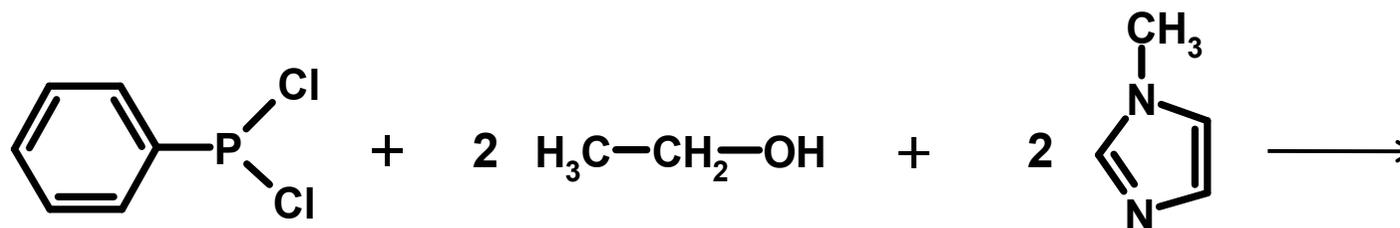
Externer Schlaufenreaktor, Dimerisierung von Propen.



I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

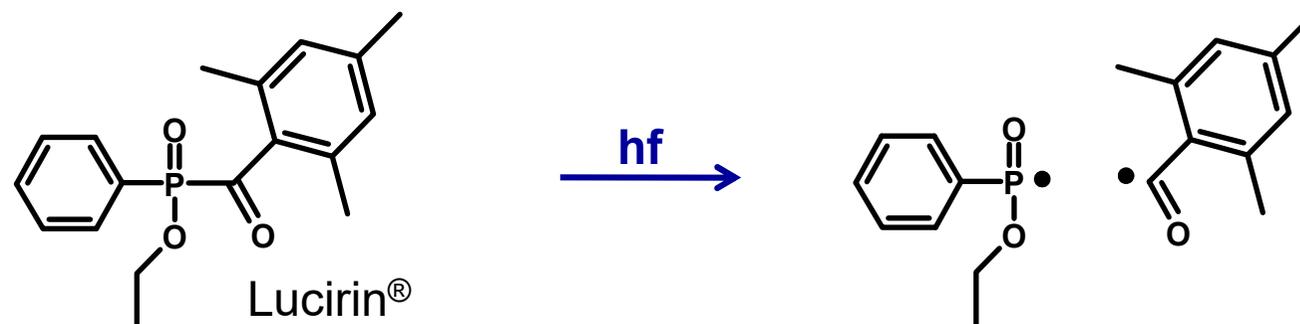
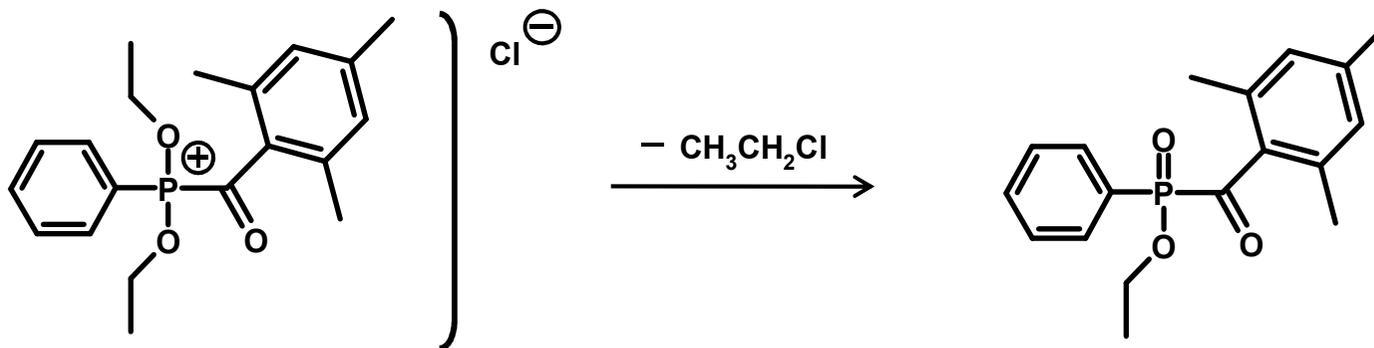
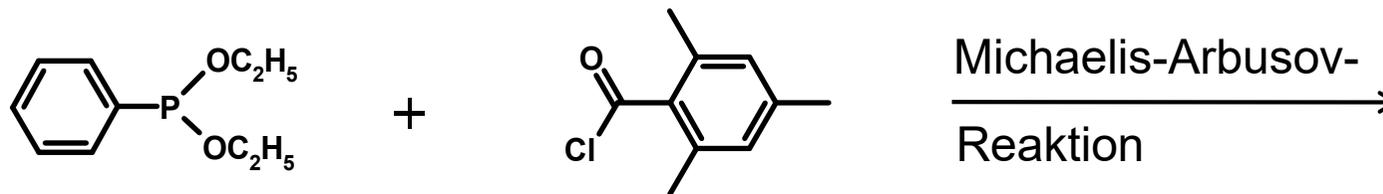
BASIL[®] -Verfahren der BASF SE.

„Biphasic Acid Scavenging with Ionic Liquids“



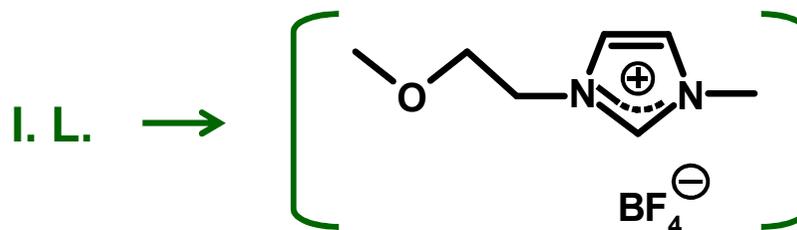
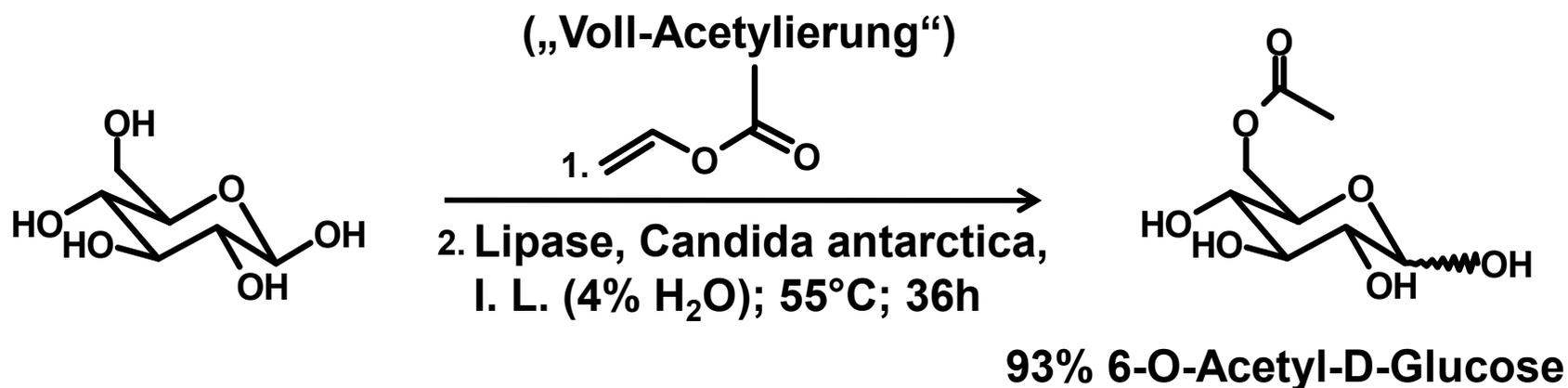
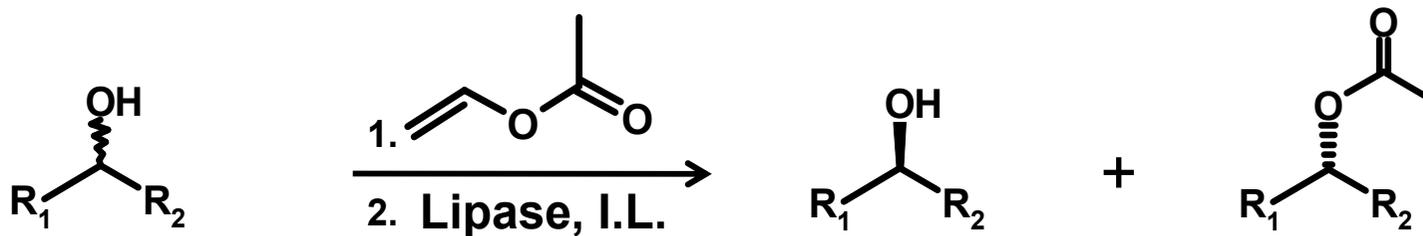
I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Lucirin® -Synthese, Zerfall des Moleküls im UV-Licht.



I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Biokatalyse mit dem Enzym Lipase.

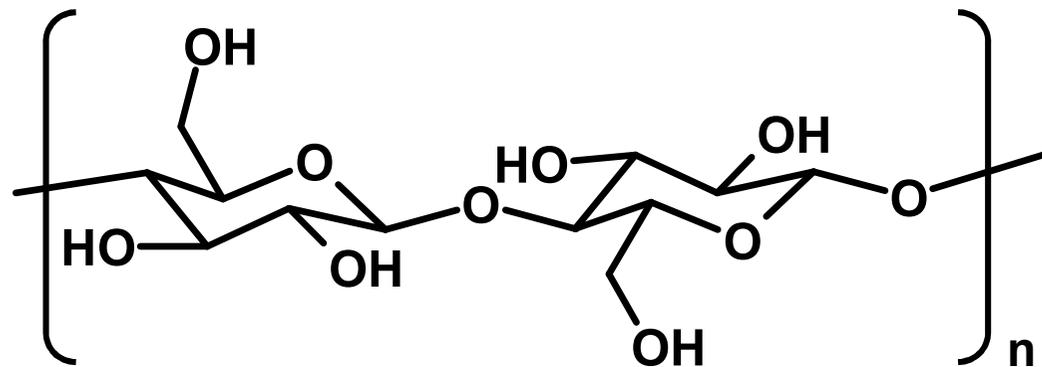


I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

„Grünes Lösemittel“ für Cellulose-Makromoleküle.

Cellulose: 700.000.000.000 t auf der Erde.
Natürliche Jahresproduktion: 40.000.000.000 t.

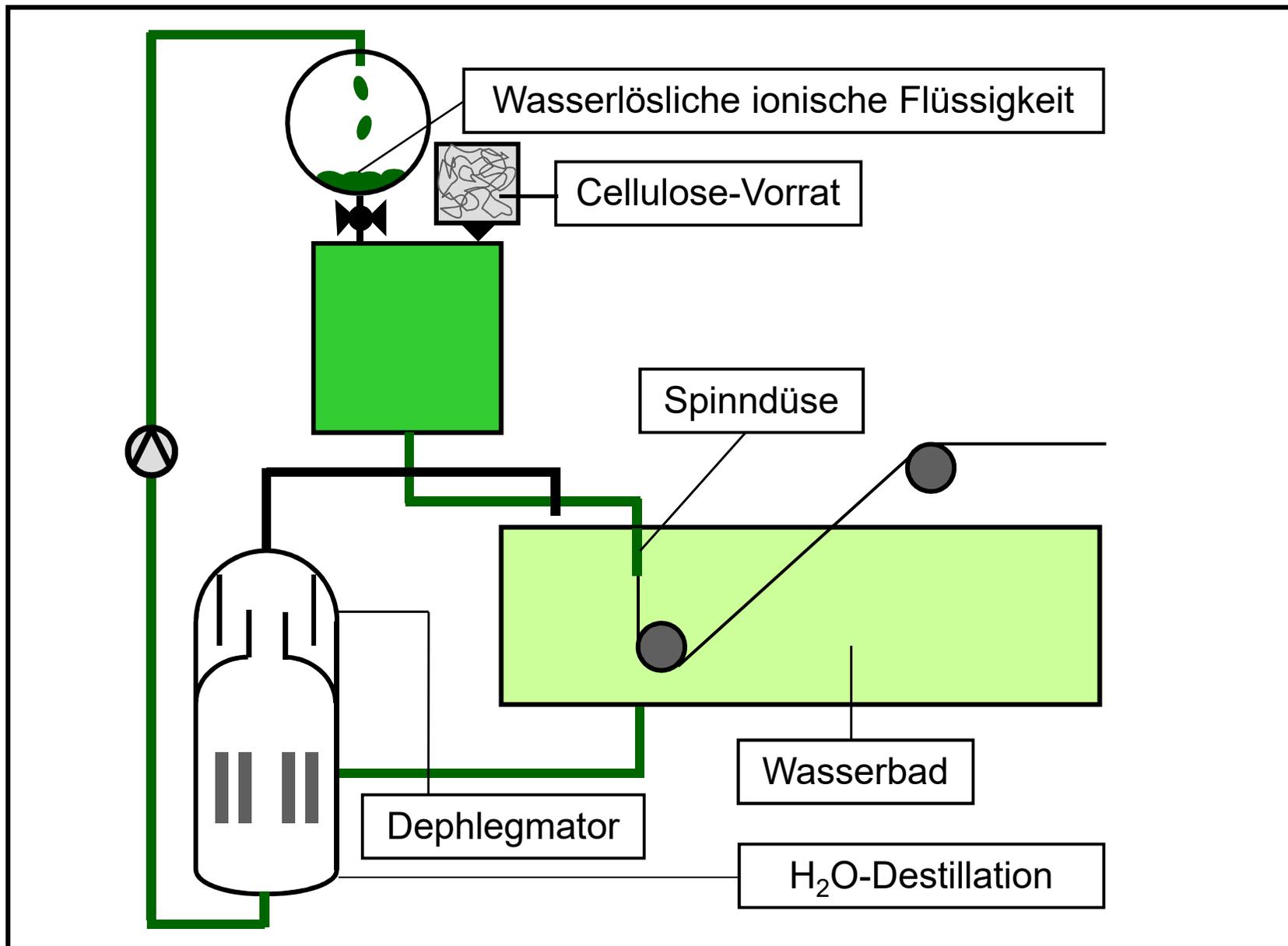
Mehrere Hundert bis zehntausend β -D-Glucose-Moleküle sind (1-4)- β -glykosidisch miteinander verknüpft.



Anwendungen

Grundstoff in der **Papierindustrie** (Zellstoff); **Bekleidungsindustrie**: Viskose; **Baustoffindustrie** (Methylcellulose) als Fließverbesserer; **Verpackungsindustrie**: Cellophan; **Spielzeugindustrie**: Celluloid.

I.L., „Grünes Lösemittel“ für Cellulose-Makromoleküle.



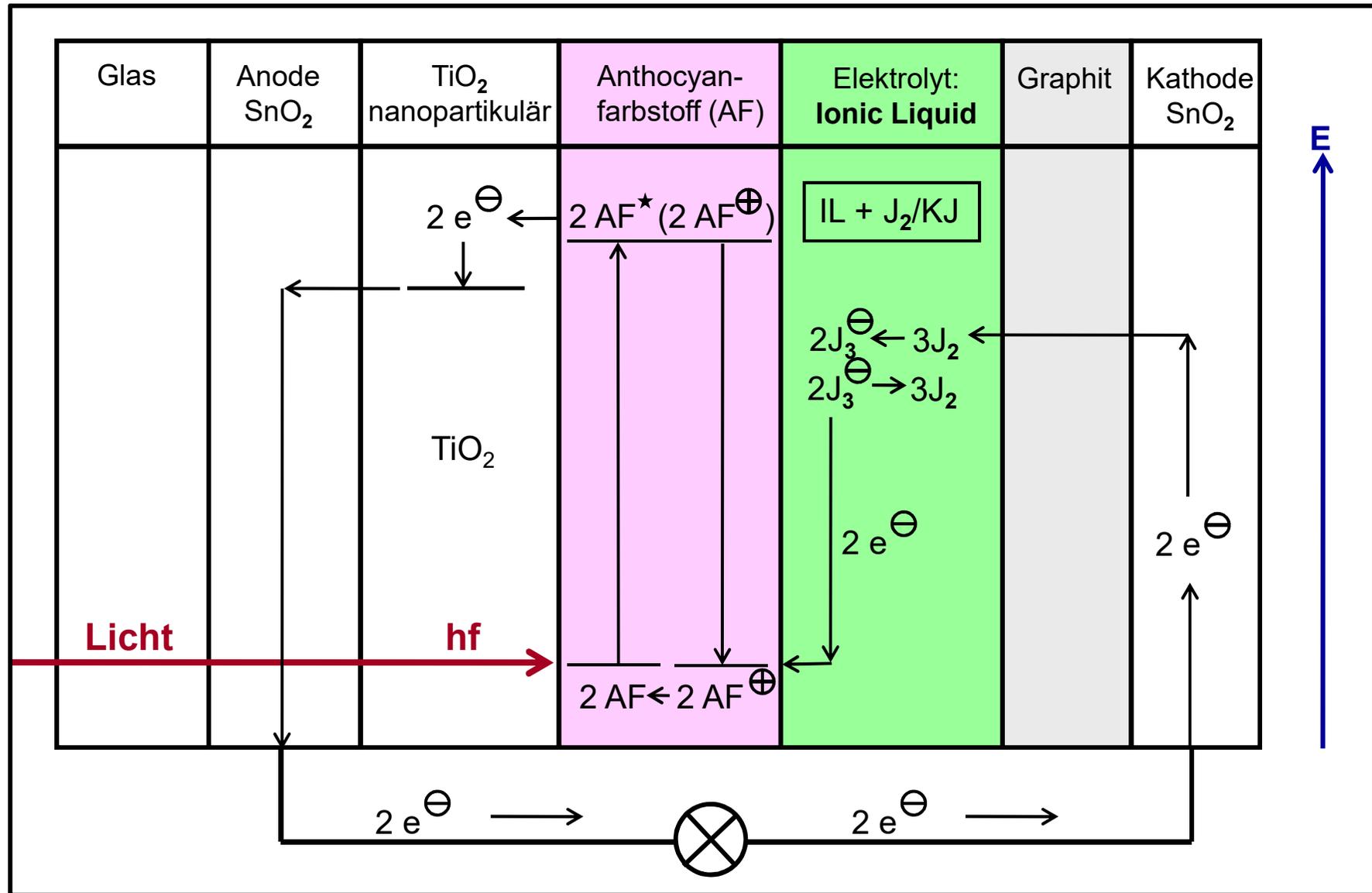
Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Elektrolytflüssigkeit in elektr(on)ischen Vorrichtungen.

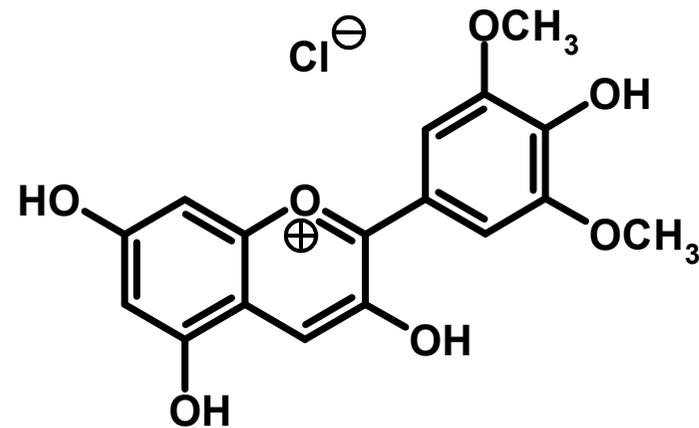
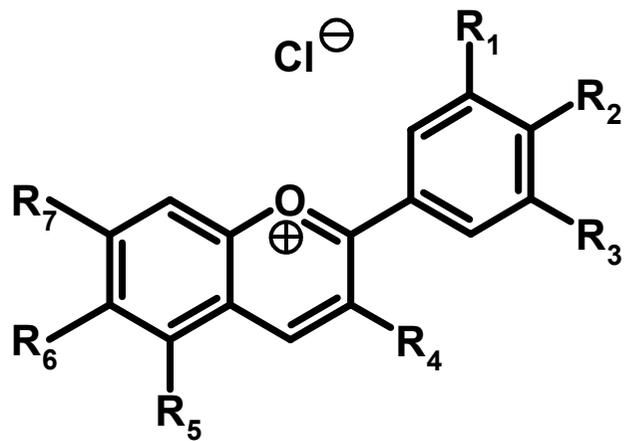
- Brennstoffzellen für die Leistungselektronik und den Elektromotor eines Fahrzeugs.
- Farbstoffsolarzellen: Grätzel-Zellen.
- Sensoren: Feuchtesensoren, Neigungssensoren.
- Batterien: Flammfeste Elektrolyt-Flüssigkeiten für Lithium-Ionen-Batterien.
- Galvanotechnik: Elektrische Abscheidung von Metallen, wie Al, Mg, Ti.
- Superkondensatoren für elektronische Geräte.

Farbstoff-Solarzelle (M. Grätzel) Funktionsprinzip.



Farbstoff-Solarzelle: Anthocyane, Chemische Strukturen.

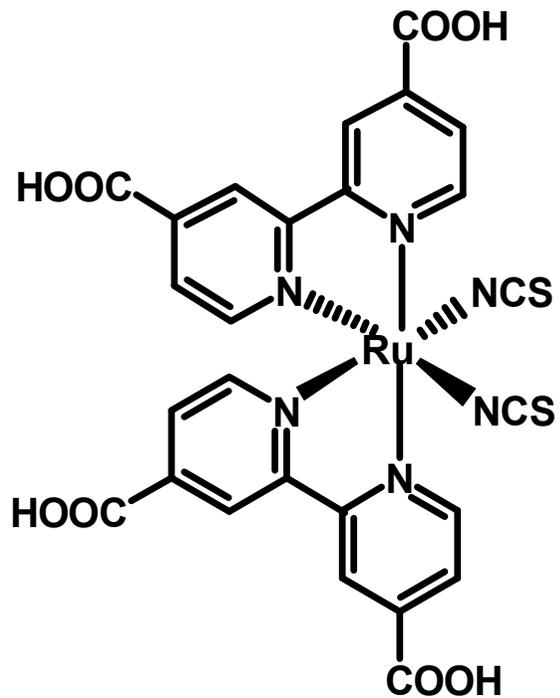
Griechisch: άνθος = Blume; κυανεος = dunkelblau



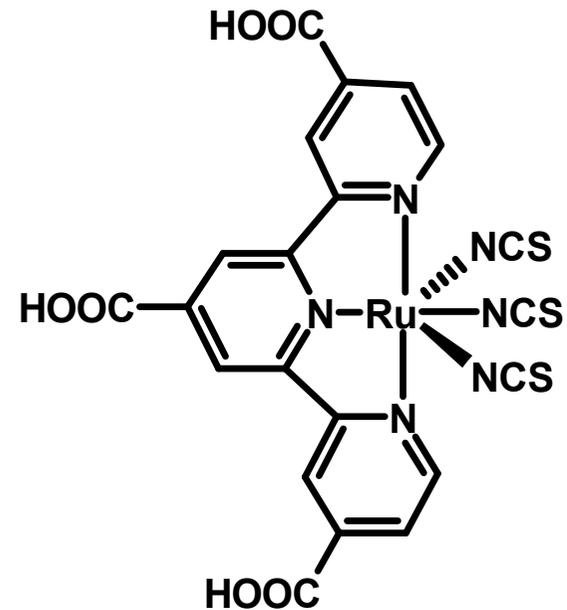
$R_1 - R_7 = \text{H, OH, OCH}_3$

Malvidin

Farbstoff-Solarzelle: N3 und Black-Dye, Strukturen.



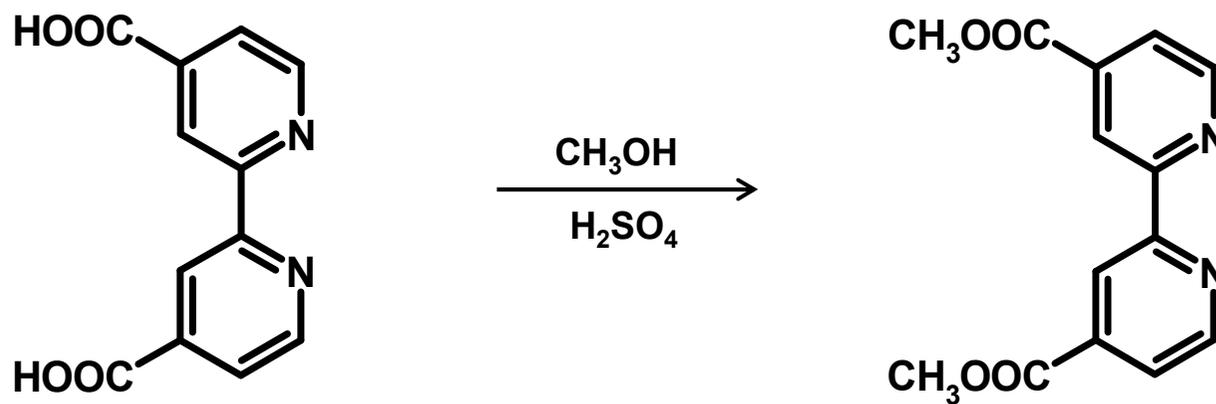
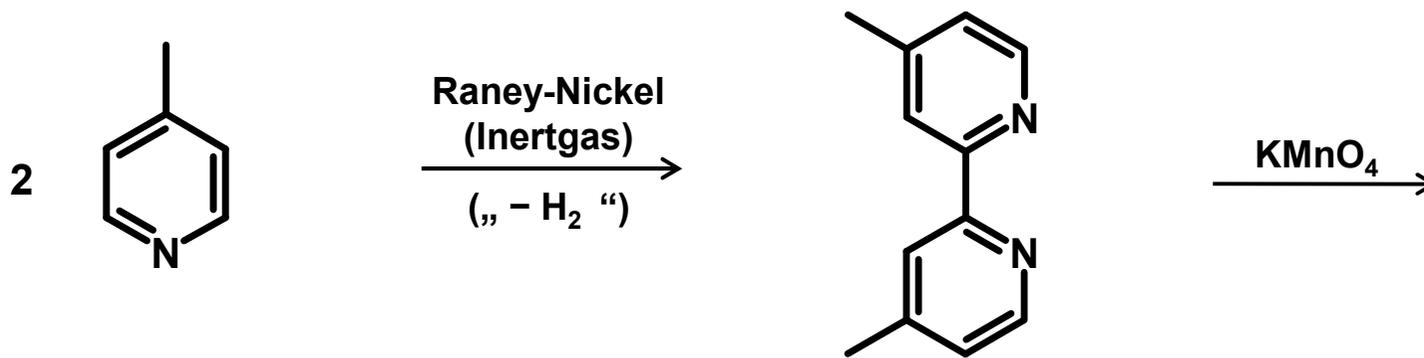
N3



„Black-Dye“

I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

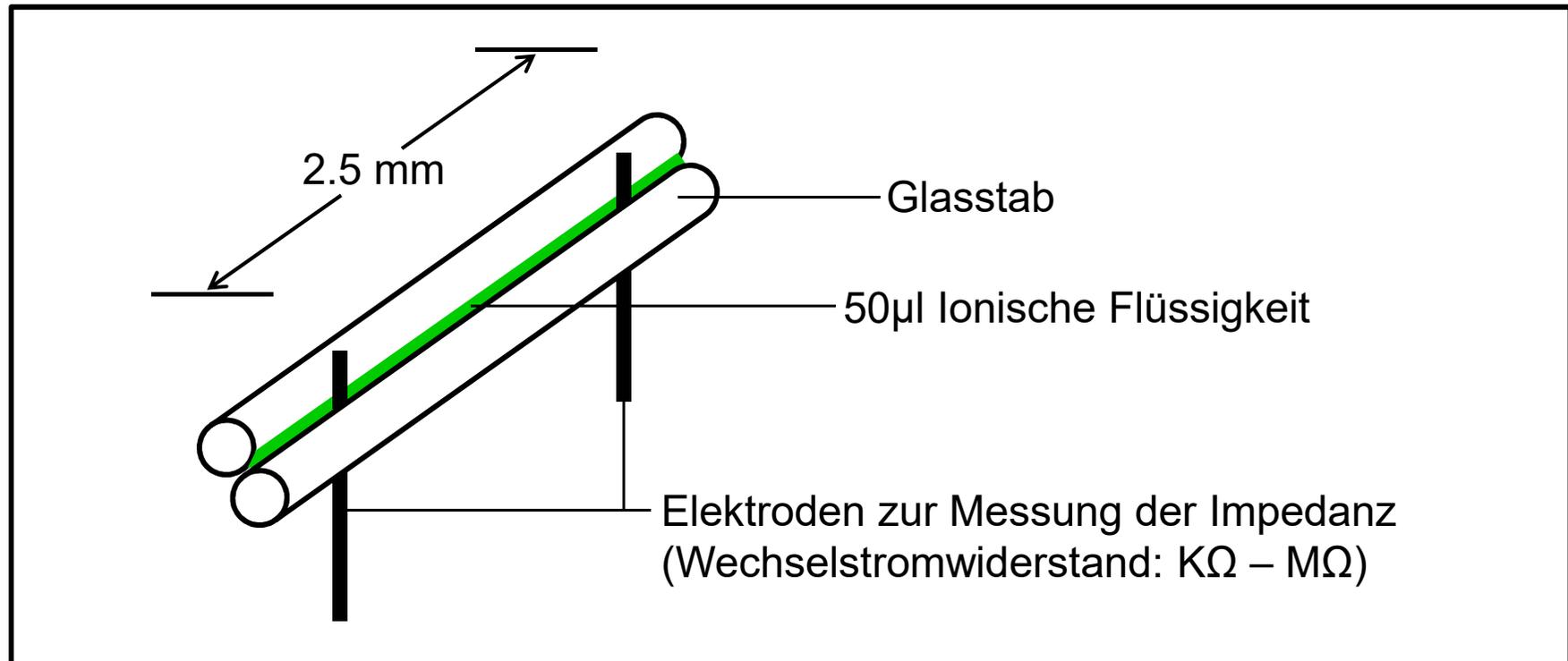
Farbstoff-Solarzelle: Synthese des N3-Bausteins „dmcb“.



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Elektrolyte: Feuchtigkeitssensor nach Novasina S.A.



Der Wechselstromwiderstand nimmt mit steigender relativer Luftfeuchte zu. Vorteil: Kurze Responsezeiten.

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

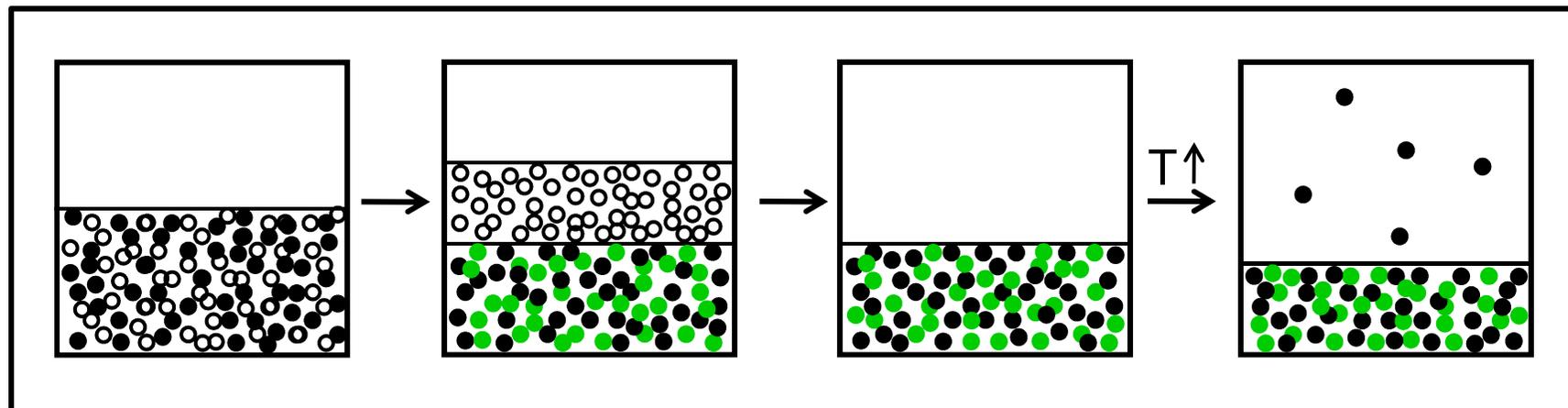
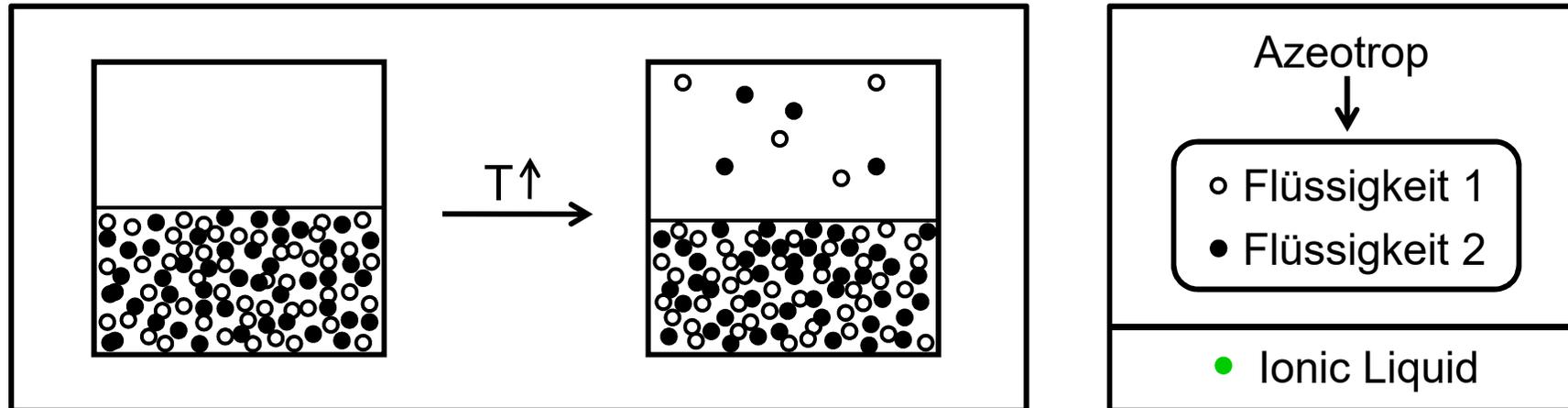
I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Trenntechnik, Trennmittel, Additive.

- Gastrennverfahren.
 - Azeotrop-Brechung in die Einzelbestandteile.
-
- Kühlschmierstoffe und Hydraulik-Fluide.
 - Antistatik-Additive.
 - Trennflüssigkeiten für Kunststoff- und Metallspritzguss.

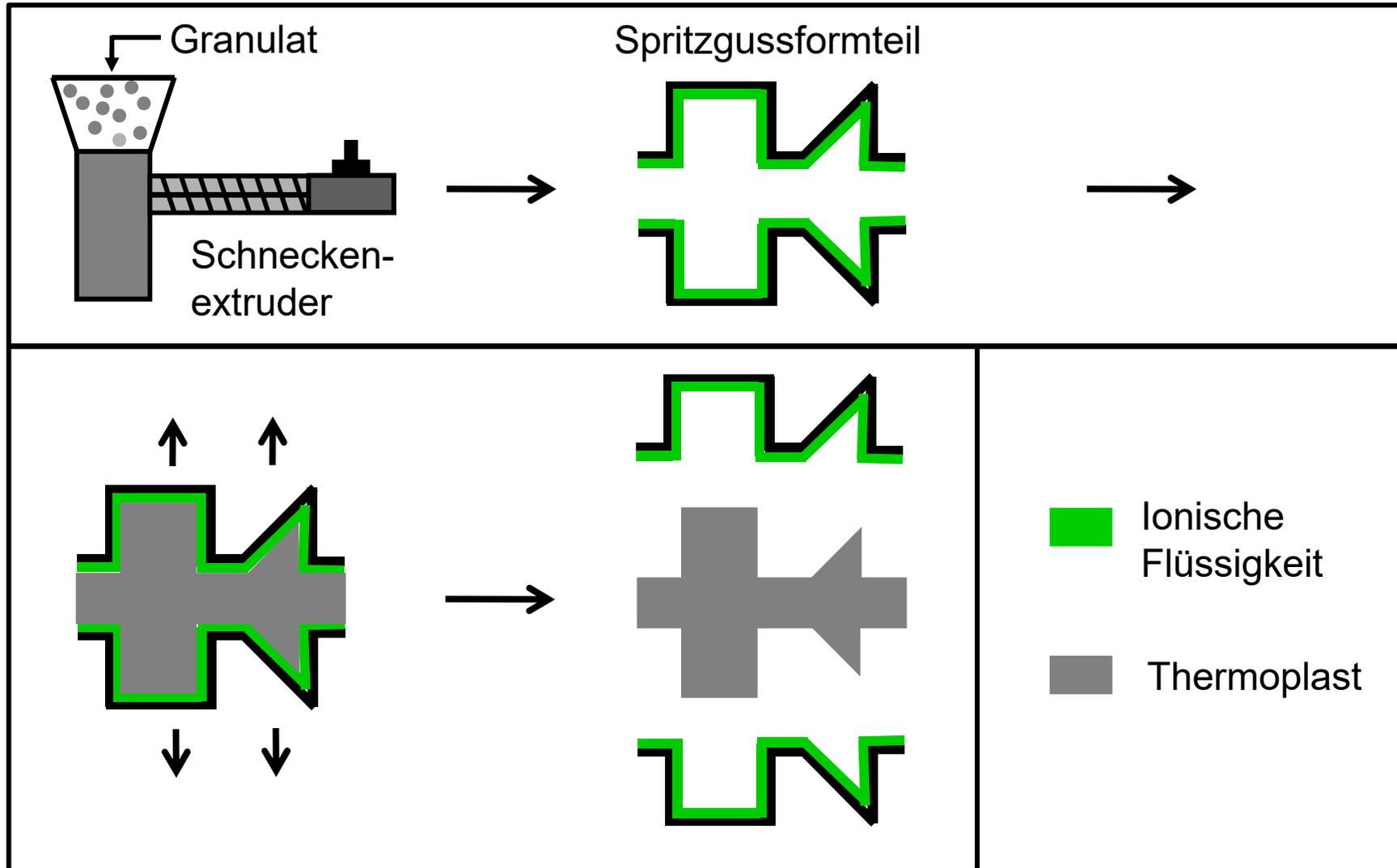
Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

Ionic Liquid: Anwendungsgebiet „Azeotrop-Brechung“.



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

Ionic Liquid: Anwendungsgebiet „Kunststoff-Spritzguss“.



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

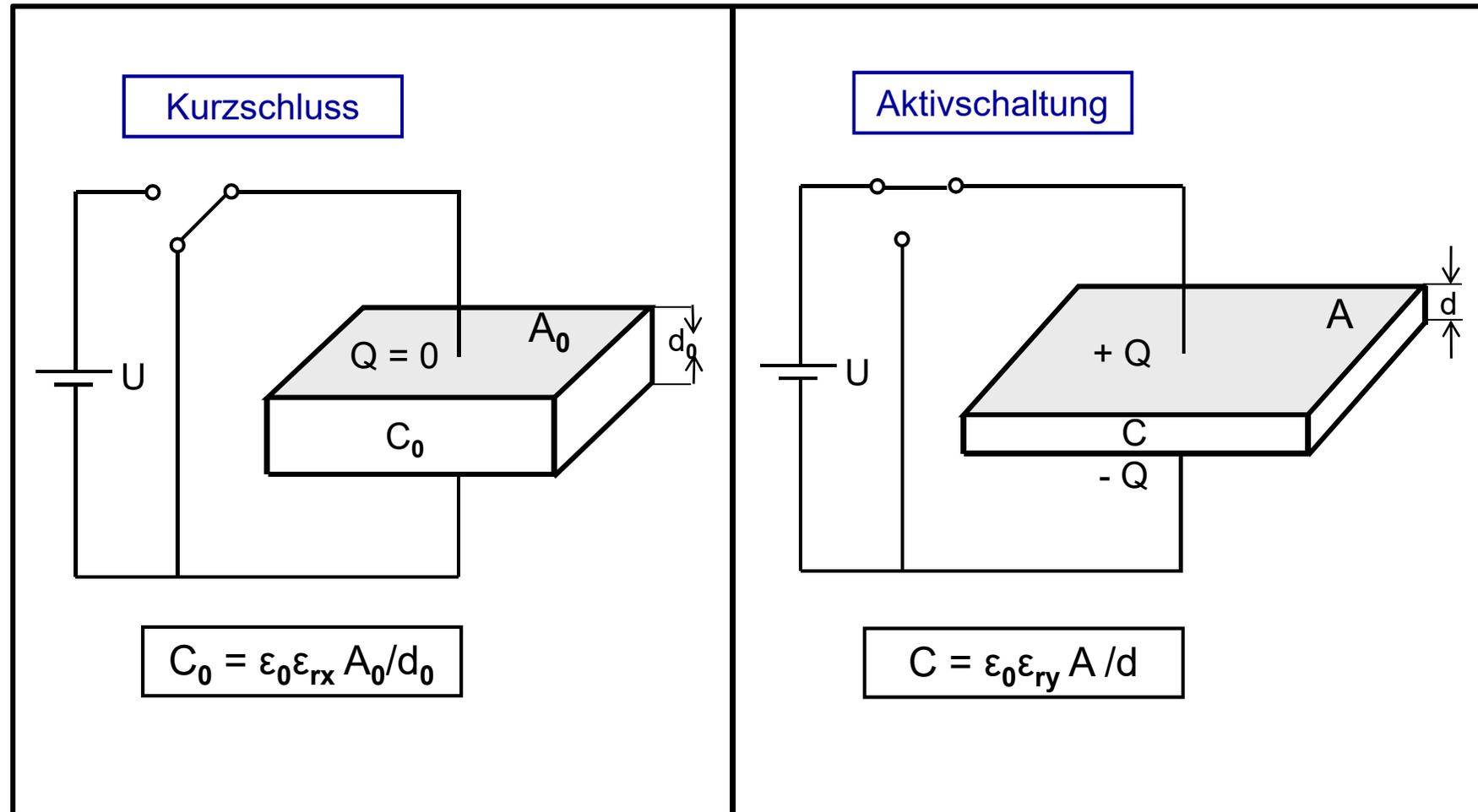
I.L., Anwendungsgebiete in Chemie und Technik: Flüssigkristalle, elektroelastische Werkstoffe, Wärmetransport und Speicherung.

- Displays: Fernseher; PC`s; Mobiltelefone.
- Künstliche Muskeln.
- Thermofluide: Wärmeträgermedien.
- Kryofluide: Kältesorptionsmedien.
- Phasenwechsel-Medien (PCM).

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I.L., Anwendungsgebiet „Elektroelastische Werkstoffe“

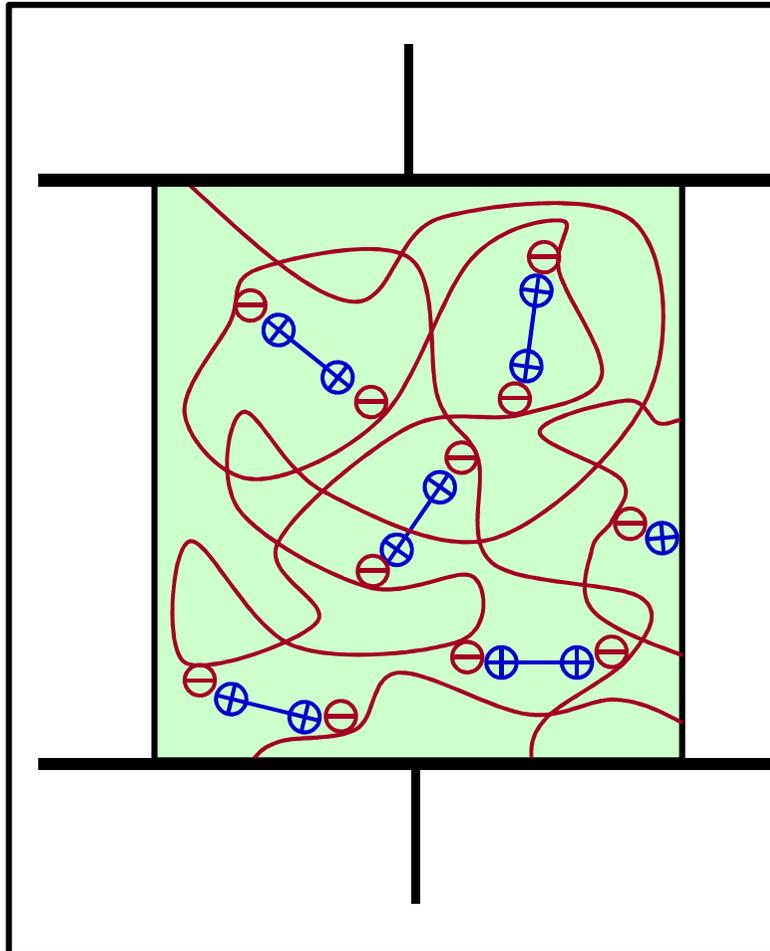
EAP-Aktor (EAP: Elektro Aktive Polymere → Adaptronik).



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I.L., Anwendungsgebiet „Elektroelastische Werkstoffe“.

EAP-Aktor auf Basis eines ionischen Gels.

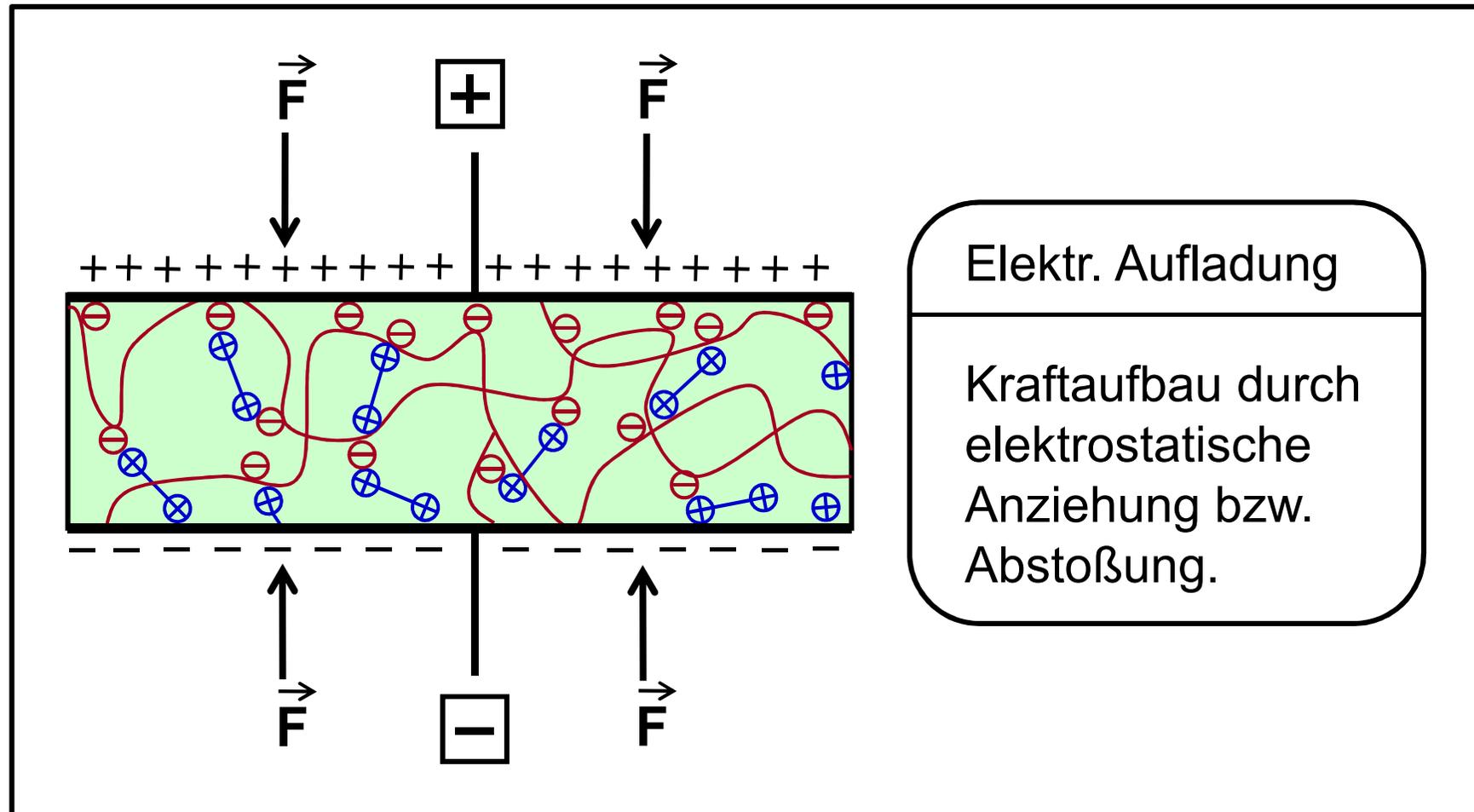


Zwei Kondensatorplatten.
Dazwischen befindet sich
ein Gel, bestehend aus
einer Ionic Liquid, einem
negativ geladenen Poly-
elektrolyten und einer Bis
(Ammonium)-Verbindung.

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

I.L., Anwendungsgebiet „Elektroelastische Werkstoffe“.

EAP-Aktor auf Basis eines ionischen Gels.



Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

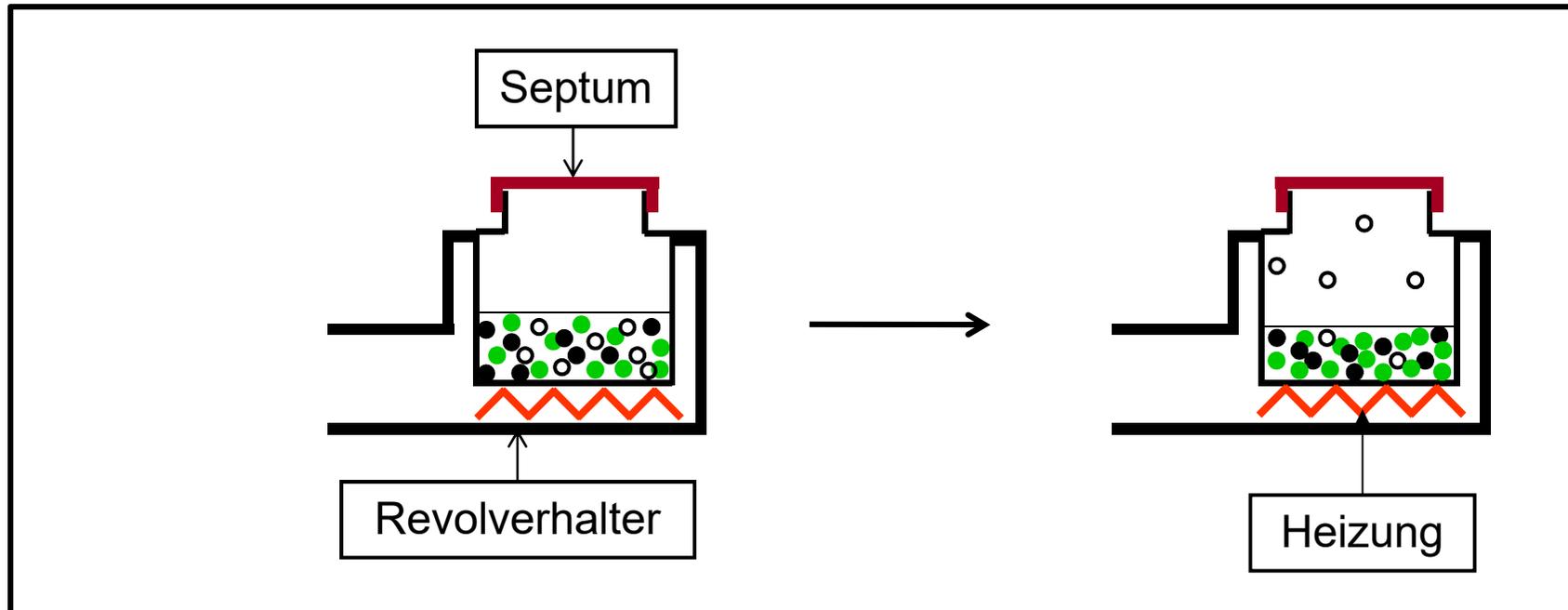
I. L., weitere Anwendungsfelder in Chemie und Technik.

Analytik: Trennung, Reinigung und Bestimmung.

- Lösemittel für GC-Head-Space-Vorrichtungen.
- Matrixmaterialien für MALDI-TOF-MS.
- Lösemittel für Karl-Fischer-Titrationsen.
- Medien für die Proteinkristallisation.

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

Headspace-GC, Funktionsprinzip.



Ionische
Flüssigkeit



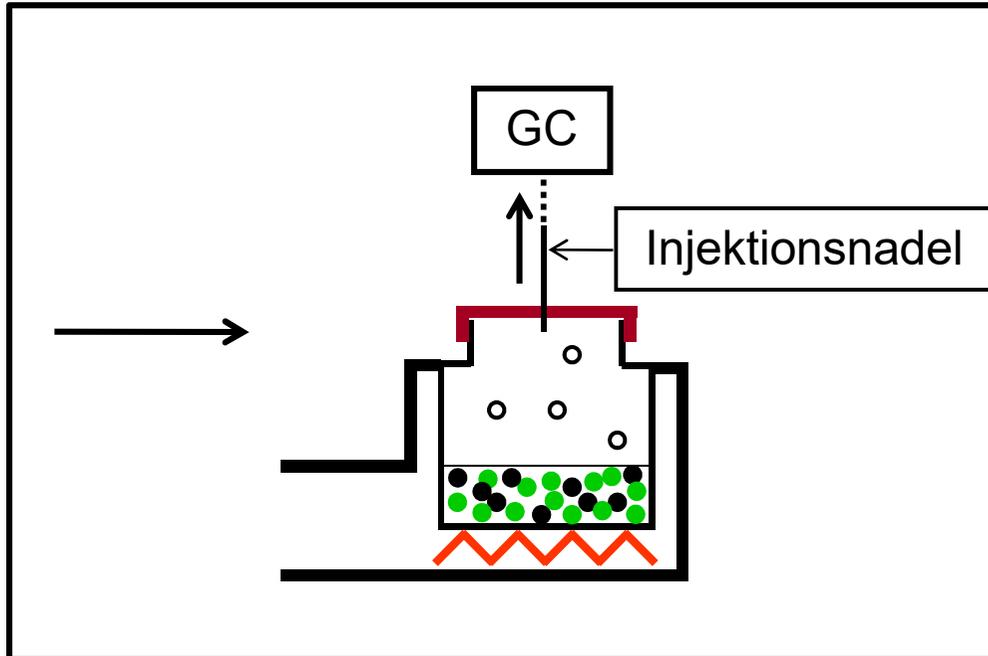
Leicht verdampfbares
Material, z.B. Ethanol



Schwerflüchtige
Materialien

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

Headspace-GC, Funktionsprinzip.



Mit dieser Methode kann der Alkohol-Gehalt in einer Blutprobe bestimmt werden.

Referenzmaterial:
tert.-Butanol.



Ionische Flüssigkeit



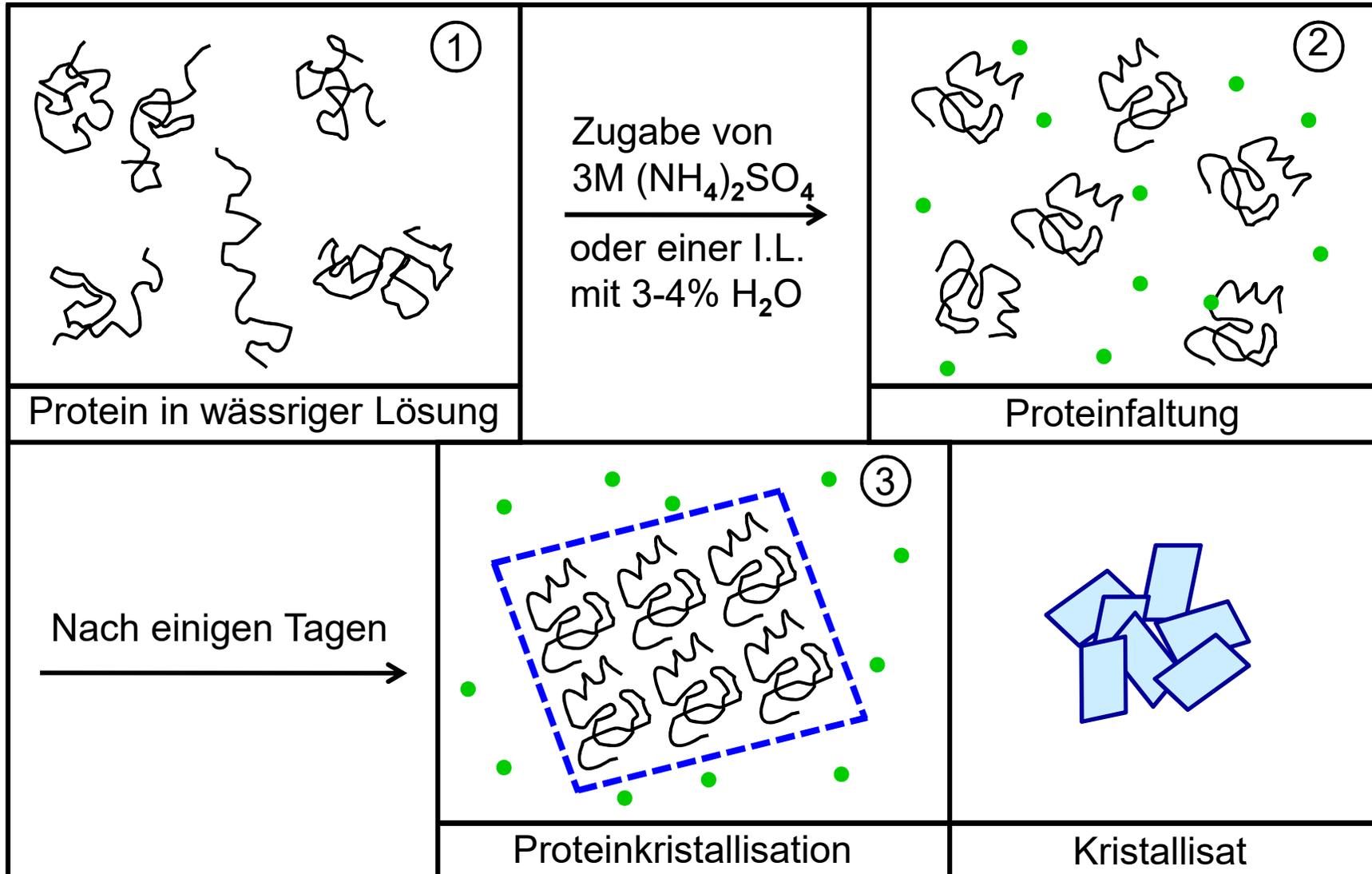
Leicht verdampfbares Material, z.B. Ethanol



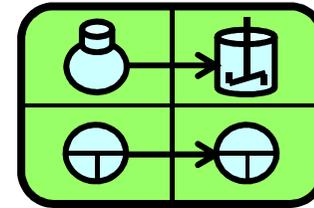
Schwerflüchtige Materialien

Ionic Liquids, weitere Anwendungsfelder

Proteinkristallisation durch Zugabe einer Ionic Liquid.



FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Ende Zusatzmodul 03

Rainer Bürstinghaus