

# **Geprüfte Industriemeister Fachrichtung Chemie**

**ΠΣ**

# Ablaufplanung

Chemie | Situationsaufgabe 1 – Technik

## Chemische Produktion

Zeit: 240 Minuten ~ 12 Aufgaben

Handlungsbereich	Verordnung	Qualifikationsschwerpunkte	Punkte ca.
Orga	§ 5 Absatz 7	<b>Organisation, Führung und Kommunikation</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Personalführung und -entwicklung</li><li>• Betriebliches Kostenwesen</li><li>• Responsible Care im Betrieb</li><li>• Qualitätsmanagement</li><li>• Informations und Kommunikation</li></ul>	30
Technik	§ 5 Absatz 6 Nr. 1	Verfahrenstechnik und Anlagentechnik	35
Technik	§ 5 Absatz 6 Nr. 2	Chemische Prozesse und Verfahren	20
Technik	§ 5 Absatz 6 Nr. 3	Prozessleittechnik	15

**100**

\* Bei den Angaben in der Übersicht handelt es um Richtwerte, von denen in einzelnen Fällen in geringem Umfang abgewichen werden kann.  
Die Strukturierung gilt ab der Frühjahrsprüfung 2012.

Einmal die Theorie der Verordnung übersetzt: In der Regel kommen in der Klausur Chemische Produktion 3-4 Aufgaben zur Arbeitssicherheit, Mitarbeiterführung, Audits und Konfliktlösungen dran. Diese Punkte müsst ihr unbedingt holen - wichtig ist, dass ihr dort „IHK-Sätze“ ausformuliert. Zusätzlich kommen 2-3 Aufgaben aus der Steuerungs- und Regelungstechnik dran, hierbei geht es um Reglertheorie, Fließschemata und Ablaufpläne. Nutzt unbedingt euer Tabellenbuch zur Lösung der Aufgaben, dann sind die Punkte gut zu holen. Bei 2-3 Aufgaben müsst ihr Theorien zur Chemie drauf haben, Reaktionsgleichungen aufstellen und die Enthalpie berechnen können. Hier geht's wirklich um Chemie





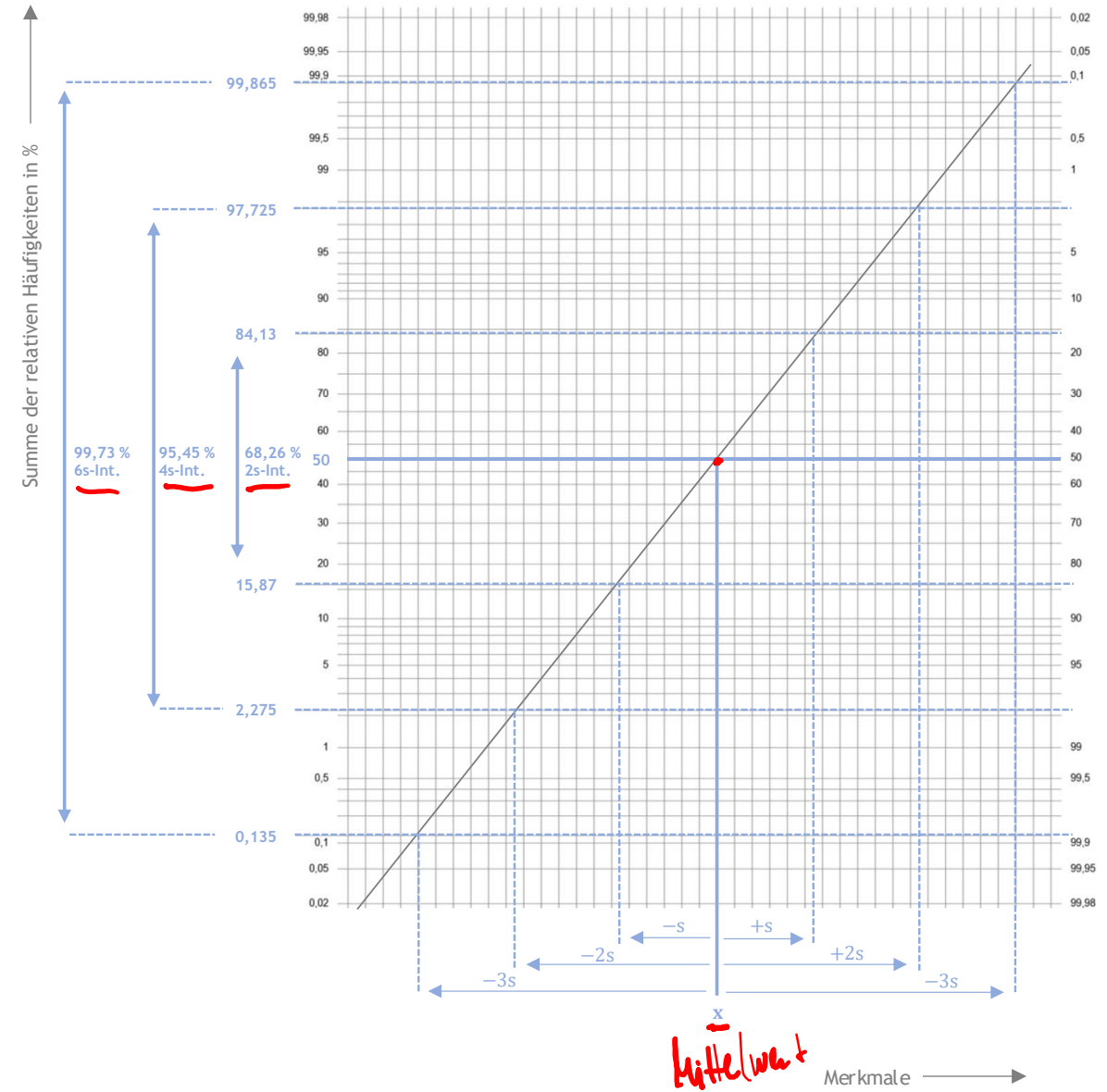
TIW GmbH ©

# WÜNSCHE

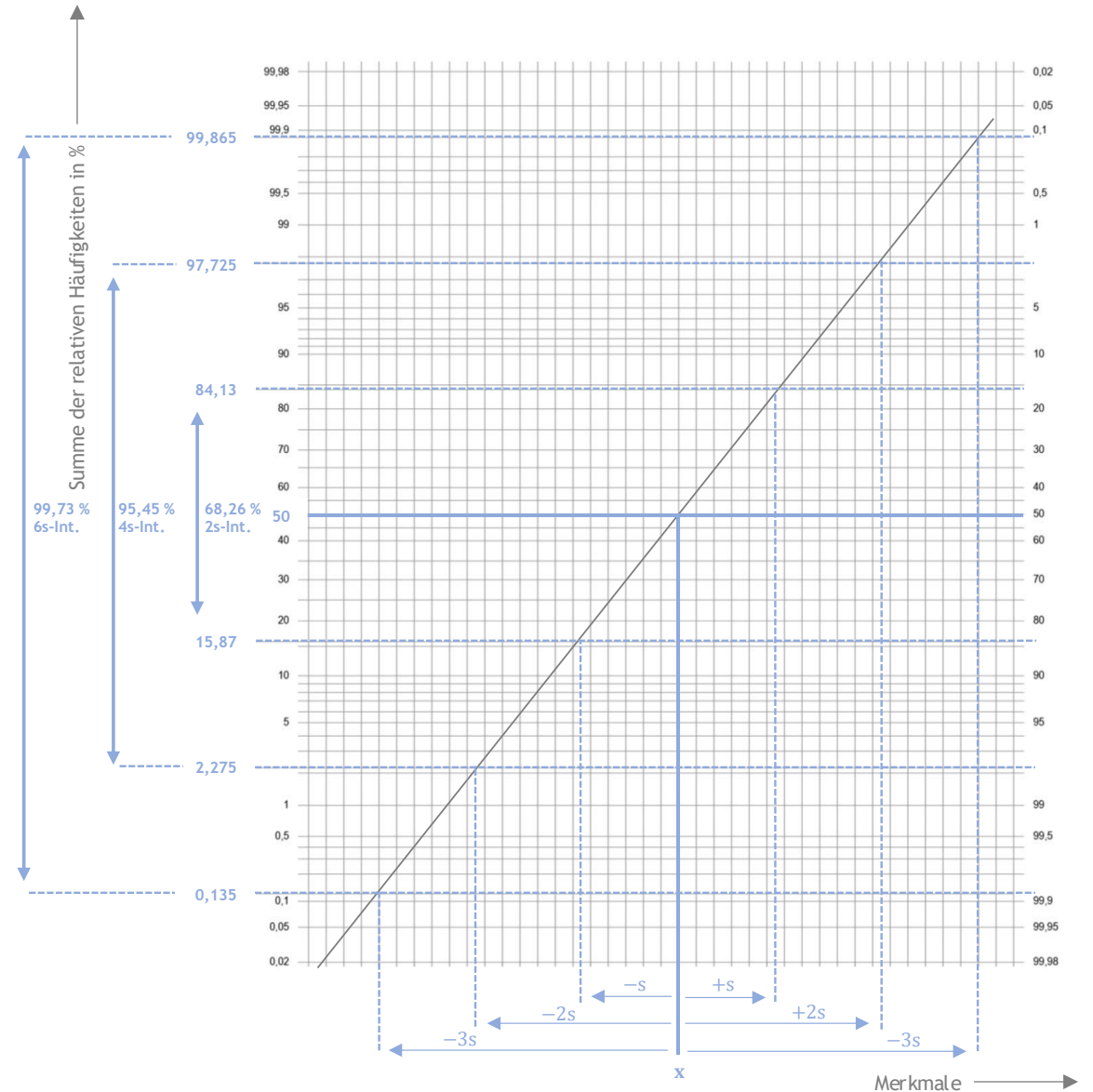
Prozessfähigkeitsindizes

QM-Thema  
→ Orga

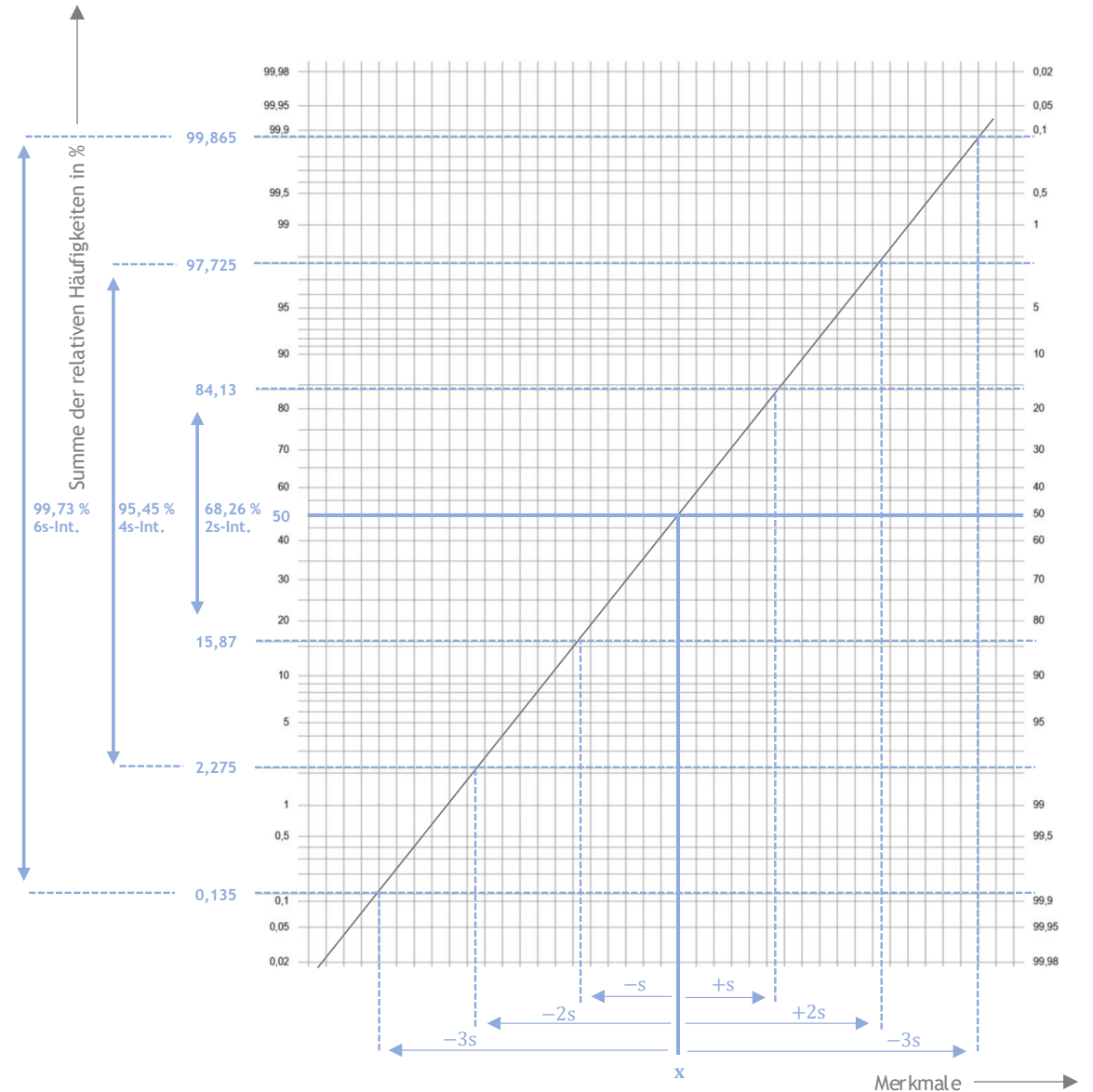
- Ein Wahrscheinlichkeitsnetz ist ein klassisches Instrument zur Überprüfung von statistischen Verteilungen, was im Zeitalter der Digitalisierung eher immer weniger verwendet wird.
- Es ist ein *Netzpapier*, bei dem die Achsen so skaliert sind, dass die Verteilungsfunktion einer Normalverteilung eine Gerade darstellt (y-Achse ist logarithmisch). Aufgrund dieser Tatsache lässt sich verhältnismäßig schnell überprüfen, ob ein empirischer Datensatz durch eine Normalverteilung beschrieben werden kann.
- Auf der x-Achse werden dabei die Merkmalswerte aufgetragen - auf der y-Achse die relativen kumulierten Häufigkeiten.
- Bei einer normalverteilten Größe kann anhand der Gerade im Wahrscheinlichkeitsnetz die Standardabweichung und der arithmetische Mittelwert grafisch bestimmt werden.



- Ein Wahrscheinlichkeitsnetz ist ein klassisches Instrument zur Überprüfung von statistischen Verteilungen, was im Zeitalter der Digitalisierung eher immer weniger verwendet wird.
- Es ist ein *Netzpapier*, bei dem die Achsen so skaliert sind, dass die Verteilungsfunktion einer Normalverteilung eine Gerade darstellt (y-Achse ist logarithmisch). Aufgrund dieser Tatsache lässt sich verhältnismäßig schnell überprüfen, ob ein empirischer Datensatz durch eine Normalverteilung beschrieben werden kann.
- Auf der x-Achse werden dabei die Merkmalswerte aufgetragen - auf der y-Achse die relativen kumulierten Häufigkeiten.
- Bei einer normalverteilten Größe kann anhand der Gerade im Wahrscheinlichkeitsnetz die Standardabweichung und der arithmetische Mittelwert grafisch bestimmt werden.



- Ein Wahrscheinlichkeitsnetz ist ein klassisches Instrument zur Überprüfung von statistischen Verteilungen, was im Zeitalter der Digitalisierung eher immer weniger verwendet wird.
- Es ist ein *Netzpapier*, bei dem die Achsen so skaliert sind, dass die Verteilungsfunktion einer Normalverteilung eine Gerade darstellt (y-Achse ist logarithmisch). Aufgrund dieser Tatsache lässt sich verhältnismäßig schnell überprüfen, ob ein empirischer Datensatz durch eine Normalverteilung beschrieben werden kann.
- Auf der x-Achse werden dabei die Merkmalswerte aufgetragen - auf der y-Achse die relativen kumulierten Häufigkeiten.
- Bei einer normalverteilten Größe kann anhand der Gerade im Wahrscheinlichkeitsnetz die Standardabweichung und der arithmetische Mittelwert grafisch bestimmt werden.



- Die statistische Prozessüberwachung besteht aus einer Reihe von statistischen Tests, die während eines Prozesses (z. B. in einer Produktionslinie oder einzelne Maschine) durchgeführt werden. Zielsetzungen dabei sind z.B. folgende: Qualitätskontrolle, Vermeidung von Fehlern und/oder Kostensenkung bei Problemen an Elementen, die den Prozess verlassen.

### $C_m$ - und $C_p$ -Index

- Der  $C_m$ -Index beschreibt die Maschinenfähigkeit. Er zeigt an, wie oft die Maschine innerhalb der Toleranzbreite bleibt und sagt damit aus, wie stark die Streuung ist - **nicht** aber, **wo** die Werte (im Bezug auf den Mittelwert) liegen. Es kann also durchaus sein, dass der  $C_m$ -Index groß ist, die Streuung somit gering, aber die (gering gestreuten Werte) außerhalb des gewünschten Bereichs liegen.
- Der  $C_p$ -Index beschreibt die Prozessfähigkeit. Er funktioniert analog zum  $C_m$ -Index - einziger Unterschied ist, dass er sich nicht auf eine einzelne Maschine sondern auf einen Prozess bezieht.

➤ Je höher der  $C_m$ - bzw.  $C_p$ -Index, desto „besser“ ist die Maschine bzw. Prozess - ein hoher  $C_m$ - bzw.  $C_p$ -Index deutet auf eine geringe Streuung in Bezug auf die Toleranzweite und damit hohe Replizierbarkeit der Ergebnisse hin.

- Neben dem  $C_m$ - bzw.  $C_p$ -Index gibt es noch den  $C_{mk}$ - bzw.  $C_{pk}$ -Index.

### $C_{mk}$ - und $C_{pk}$ -Index

- Um die **Position** der Maschinen- oder Prozessfähigkeit in Bezug auf den Zielwert zu untersuchen, werden  $C_{mk}$ - bzw.  $C_{pk}$ -Index, die die Fähigkeit für die korrekte **Positionierung** bewerten, verwendet. Der  $C_{mk}$ - bzw.  $C_{pk}$ -Index sagt aus, wie der Mittelwert der Stichprobe zur Toleranz liegt.

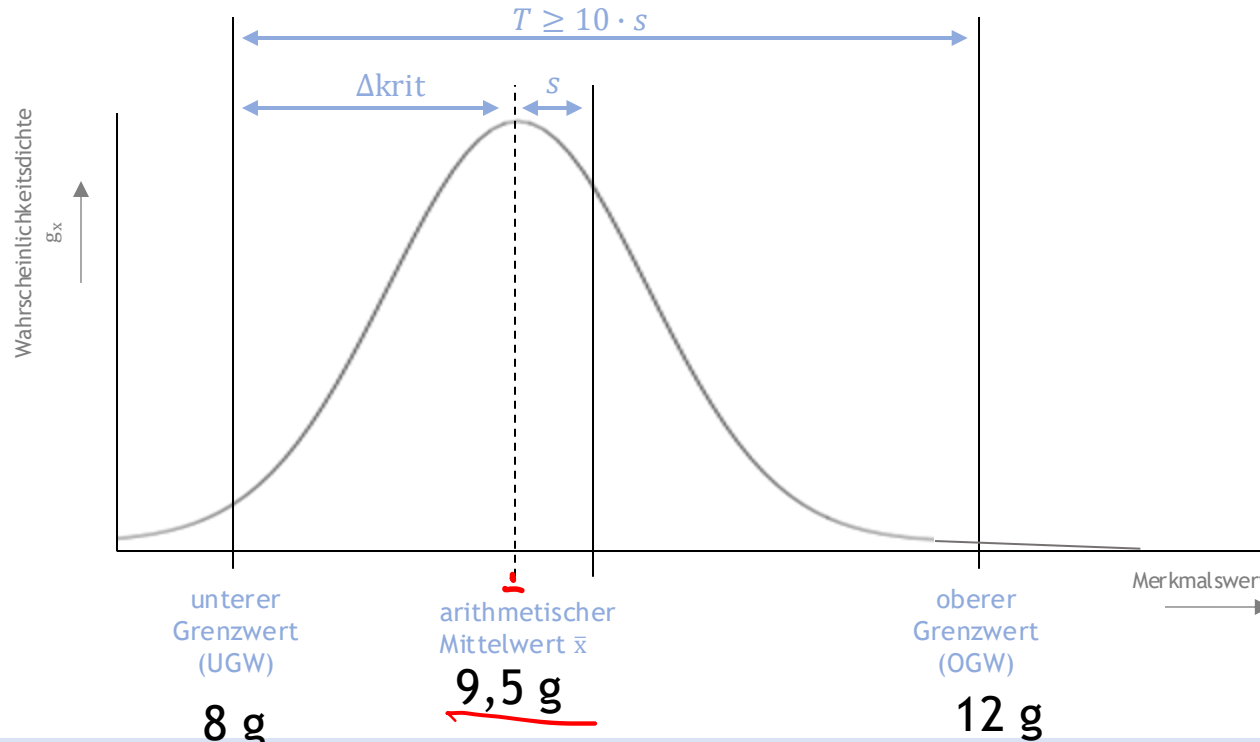
➤ Ein hoher  $C_{mk}$ - bzw.  $C_{pk}$ -Index bedeutet, dass die Maschine oder der Prozess einerseits eine geringe Streuung in Bezug auf die Toleranzbreite besitzt und andererseits die Position sehr häufig innerhalb der Toleranz bleibt.

Maschinenfähigkeitsindex

$$C_m = \frac{T}{6 \cdot s}$$

$$C_{mk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot s}$$

$\Delta_{krit} = 15 \mu$



Prozessfähigkeitsindex

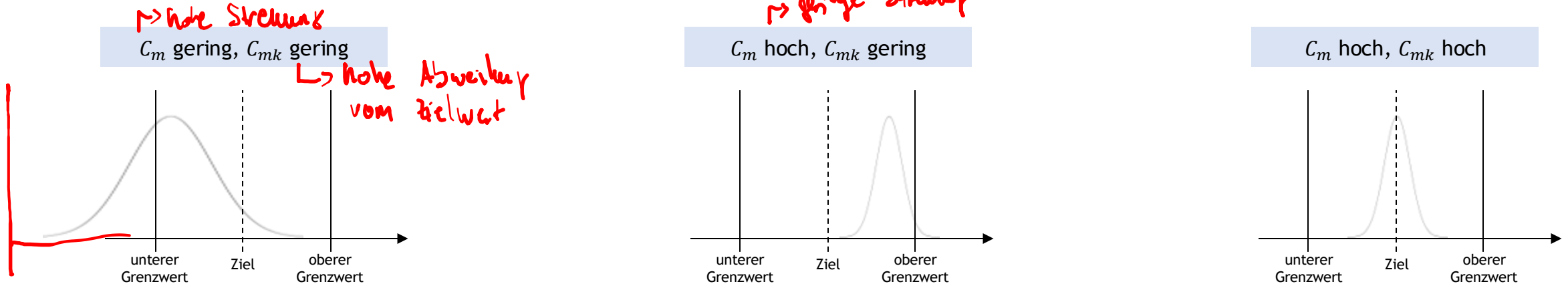
$$C_p = \frac{T}{6 \cdot \sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot \sigma}$$

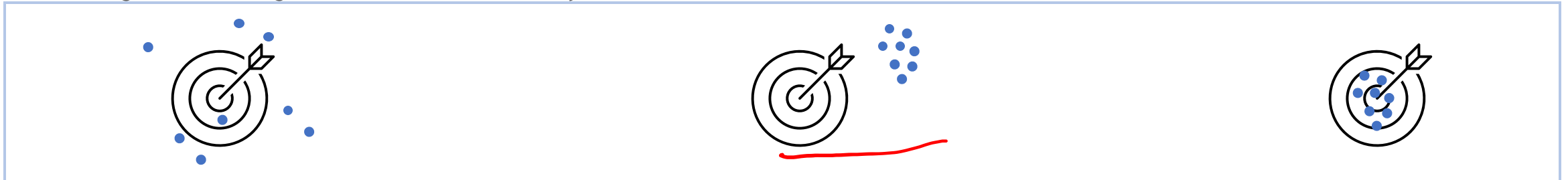
$T = OGW - UGW$   
 $\Delta_{krit}$   
 $s$   
 $\hat{\sigma}$

Toleranz  
 kleinster Abstand zwischen Mittelwert und Toleranzgrenze (entweder UGW oder OGW)  
 ermittelte Standardabweichung der Stichprobe  
 geschätzte Standardabweichung der Grundgesamtheit

- Es gibt drei mögliche Fälle (exemplarisch für Maschine):



Exkurs Obige Fälle übertragen auf „Zielen auf das Bulls-Eye einer Dartscheibe“



- Ein hoher  $C_m$ - bzw.  $C_p$ -Index ist für die Maschine bzw. den Prozess entscheidend. Falls  $C_m$  oder  $C_p$  einen niedrigen Wert besitzen, besteht der einzige Weg darin - ohne die Maschine zu reparieren oder den Prozess anzupassen - den Toleranzbereich auszuweiten.
- Falls der  $C_{mk}$ - bzw.  $C_{pk}$ -Index niedrig ist, aber  $C_m$ - bzw.  $C_p$ -Index hoch ist, kann die Maschine bzw. der Prozess mit einer einfachen Neukalibrierung innerhalb der Spezifikation gehalten werden.

Während der Diazotierung im Rührbehälter BR 2 wird die Temperatur bei 0 °C bis 5 °C gehalten. Aus den letzten 15 Chargen liegen folgende Mittelwerte der Temperaturmessung vor:

Charge	$\bar{\delta} / ^\circ\text{C}$
1	3,2
2	4,0
3	3,8
4	3,7
5	2,9
6	3,0
7	3,2
8	2,6

Charge	$\bar{\delta} / ^\circ\text{C}$
9	2,4
10	3,1
11	2,2
12	2,8
13	3,3
14	3,2
15	3,8

**a** Mögliche Punktzahl: 3

Ermitteln Sie die Standardabweichung der Stichprobe.

**b** Mögliche Punktzahl: 3

Legen Sie die Grenzwerte für eine Qualitätsregelkarte fest.

**c** Mögliche Punktzahl: 6

Geben Sie an, ob ein beherrschter Prozess vorliegt oder ob eine Optimierung des Prozesses notwendig ist. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

$1 \leq C_{pk} \leq 1,33$  bedingt prozessfähig

$C_{pk} > 1,33$  beherrschter

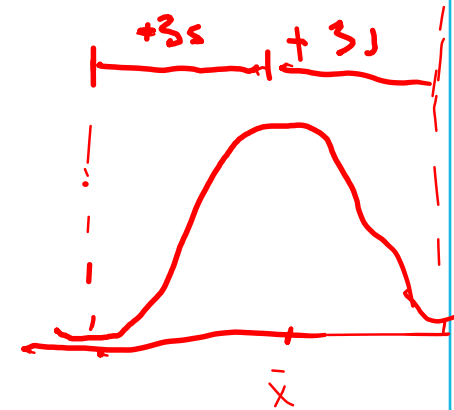
Warngrenze  
 $\bar{x} \pm 2s$   
 UWG  
 OWG  
 Eingriffsgrenzen  
 $\bar{x} \pm 3s$   
 UEG  
 OEG

a) Werte

$$\bar{x} = 3,147$$

$$s = 0,526$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum (x_i - \bar{x})^2}$$



b)

Warngrenzen

$$UWG: \bar{x} - 2s = 2,095$$

$$OWG: \bar{x} + 2s = 4,199$$

Eingriffsgrenzen

$$UEG: \bar{x} - 3s = 1,569$$

$$OEG: \bar{x} + 3s = 4,725$$

c)  $C_{pk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot s}$

$$\Delta_{krit} = 1,853$$

$$\Delta_{krit} = \min(5 - \bar{x}; \bar{x} - 0) = \min(1,853; 3,147)$$

$$C_{pk} = \frac{1,853}{3 \cdot 0,526} = 1,17$$

Während der Diazotierung im Rührbehälter BR 2 wird die Temperatur bei 0 °C bis 5 °C gehalten. Aus den letzten 15 Chargen liegen folgende Mittelwerte der Temperaturmessung vor:

Charge	$\bar{\delta}$ / °C
1	3,2
2	4,0
3	3,8
4	3,7
5	2,9
6	3,0
7	3,2
8	2,6

Charge	$\bar{\delta}$ / °C
9	2,4
10	3,1
11	2,2
12	2,8
13	3,3
14	3,2
15	3,8

**a** Mögliche Punktzahl: 3

Ermitteln Sie die Standardabweichung der Stichprobe.

**b** Mögliche Punktzahl: 3

Legen Sie die Grenzwerte für eine Qualitätsregelkarte fest.

**c** Mögliche Punktzahl: 6

Geben Sie an, ob ein beherrschter Prozess vorliegt oder ob eine Optimierung des Prozesses notwendig ist. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

**a** Mögliche Punktzahl: 3

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s = 0,526$$

**b** Mögliche Punktzahl: 3

OEG	$OEG = MW + 3 s$	4,73
OWG	$OWG = MW + 2 s$	4,20
MW		3,15
UWG	$UWG = MW - 2 s$	2,10
UEG	$UEG = MW - 3 s$	1,57

**c** Mögliche Punktzahl: 6

$$C_{PK} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot s}$$

$$C_{PK} = \frac{1,85}{3 \cdot 0,526}$$

$$C_{PK} = 1,17$$

Es liegt ein nicht beherrschter Prozess vor, da der Prozessfähigkeitsindex < 1,33 ist.

Ein Extruder fertigt Fensterprofile. Die Längen einer Stichprobe ( $n = 50$ ) sind mit den entsprechenden Häufigkeiten in folgender Tabelle dargestellt. Laut interner Qualitätsvorgabe darf das Längenmaß der Fensterprofile  $48 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$  betragen.

Längen in cm	47,95	47,96	47,97	47,98	47,99	48,00	48,01	48,02	48,03	48,04
Häufigkeit	1	2	6	9	13	7	5	3	2	2

- Überprüfe mithilfe eines Wahrscheinlichkeitsnetzes, ob die Grundlage für eine Berechnung von Maschinenfähigkeitskennwerten gegeben ist.
- Die interne Qualitätssicherung fordert, dass der  $c_m$ - und  $c_{mk}$ -Wert nicht unter 2,22 liegen darf. Werden diese Anforderungen erfüllt?

Aufgabenteil a.

Zur Eintragung der Werte im Wahrscheinlichkeitsnetz werden zunächst die absoluten Häufigkeiten kumuliert und anschließend in relative kumulierte Häufigkeiten umgerechnet. Die Tabelle wird dann entsprechend erweitert:

Längen in cm	47,95	47,96	47,97	47,98	47,99	48,00	48,01	48,02	48,03	48,04
Häufigkeit	1	2	6	9	13	7	5	3	2	2
Kumulierte absolute Häufigkeit	1	3	9	18	31	38	43	46	48	50
Kumulierte relative Häufigkeit	2%	6%	18%	36%	62%	76%	86%	92%	96%	100%

Die berechneten Werte können nun in das Wahrscheinlichkeitsnetz eingezeichnet werden.

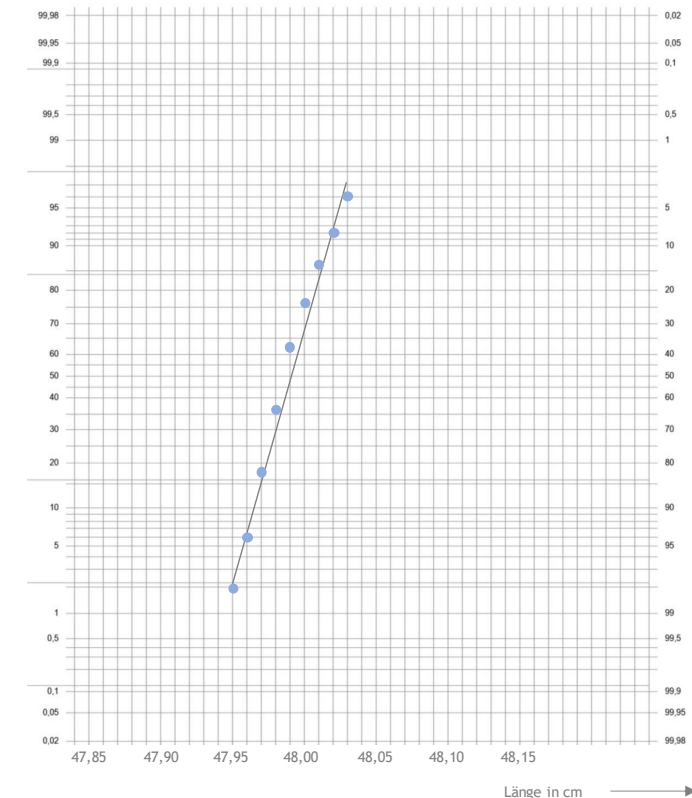
Ein Extruder fertigt Fensterprofile. Die Längen einer Stichprobe ( $n = 50$ ) sind mit den entsprechenden Häufigkeiten in folgender Tabelle dargestellt. Laut interner Qualitätsvorgabe darf das Längenmaß der Fensterprofile  $48 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$  betragen.

Längen in cm	47,95	47,96	47,97	47,98	47,99	48,00	48,01	48,02	48,03	48,04
Häufigkeit	1	2	6	9	13	7	5	3	2	2
Kumulierte absolute Häufigkeit	1	3	9	18	31	38	43	46	48	50
Kumulierte relative Häufigkeit	2 %	6 %	18 %	36 %	62 %	76 %	86 %	92 %	96 %	100 %

- Überprüfe mithilfe eines Wahrscheinlichkeitsnetzes, ob die Grundlage für eine Berechnung von Maschinenfähigkeitskennwerten gegeben ist.
- Die interne Qualitätssicherung fordert, dass der  $c_m$ - und  $c_{mk}$ -Wert nicht unter 2,22 liegen darf. Werden diese Anforderungen erfüllt?

Fortsetzung Aufgabenteil a.

Ergeben die relativen kumulierten Häufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz eine Gerade, kann die Verteilung als Normalverteilung angenommen werden und somit die Berechnung von arithmetischem Mittelwert und Standardabweichung wie bekannt durchgeführt werden. Diese Größen werden für die Berechnung der  $c_m$ - und  $c_{mk}$ -Werte benötigt.



Ein Extruder fertigt Fensterprofile. Die Längen einer Stichprobe (n = 50) sind mit den entsprechenden Häufigkeiten in folgender Tabelle dargestellt. Laut interner Qualitätsvorgabe darf das Längenmaß der Fensterprofile 48 cm ± 0,15 cm betragen.

Längen in cm	47,95	47,96	47,97	47,98	47,99	48,00	48,01	48,02	48,03	48,04
Häufigkeit	1	2	6	9	13	7	5	3	2	2

- Überprüfe mithilfe eines Wahrscheinlichkeitsnetzes, ob die Grundlage für eine Berechnung von Maschinenfähigkeitskennwerten gegeben ist.
- Die interne Qualitätssicherung fordert, dass der  $c_m$ - und  $c_{mk}$ -Wert nicht unter 2,22 liegen darf. Werden diese Anforderungen erfüllt?

$$c_m = \frac{T}{6 \cdot s} \qquad T = OGW - UGW$$

$$c_{mk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot s} \qquad \Delta_{krit} = \min(\bar{x} - UGW; OGW - \bar{x})$$

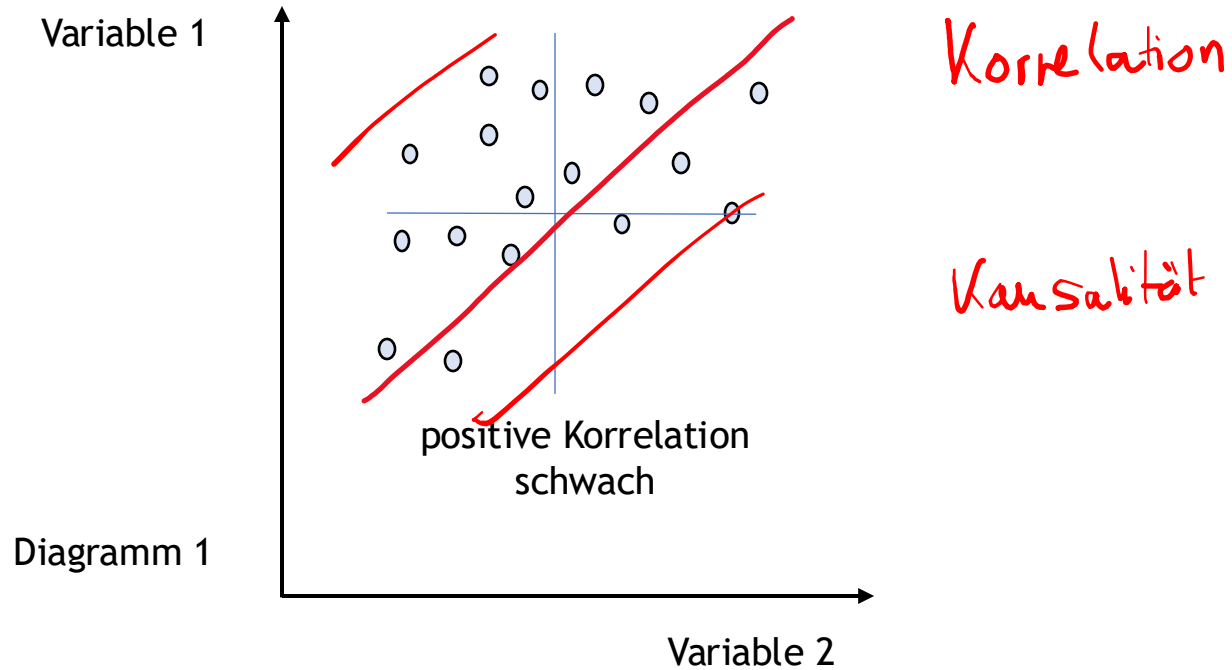
$\bar{x} = 47,993$        $s = 0,0202$   
 $OGW = 48,15 \text{ cm}$   
 $UGW = 47,85 \text{ cm}$   
 $T = 48,15 \text{ cm} - 47,85 \text{ cm} = 0,30 \text{ cm}$   
 $\Delta_{krit} = \min(47,993 - 47,85; 48,15 - 47,993)$   
 $= \min(0,143; 0,157)$   
 $c_m = \frac{0,30 \text{ cm}}{6 \cdot 0,0202 \text{ cm}} = 2,475 \checkmark$        $c_{mk} = \frac{0,143}{3 \cdot 0,0202} = 2,360 \checkmark$

Ein Extruder fertigt Fensterprofile. Die Längen einer Stichprobe ( $n = 50$ ) sind mit den entsprechenden Häufigkeiten in folgender Tabelle dargestellt. Laut interner Qualitätsvorgabe darf das Längenmaß der Fensterprofile  $48 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$  betragen.

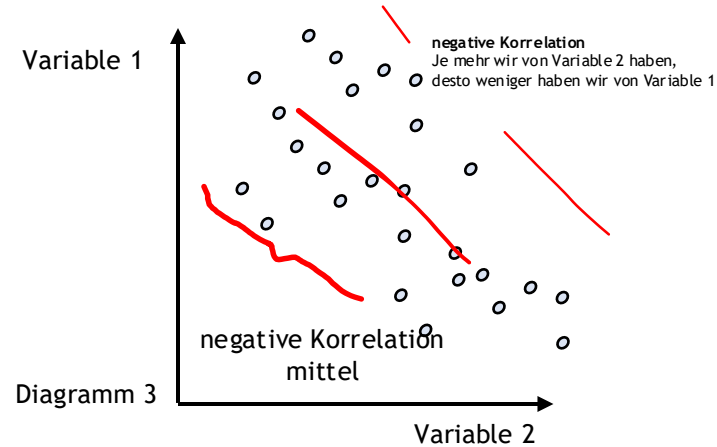
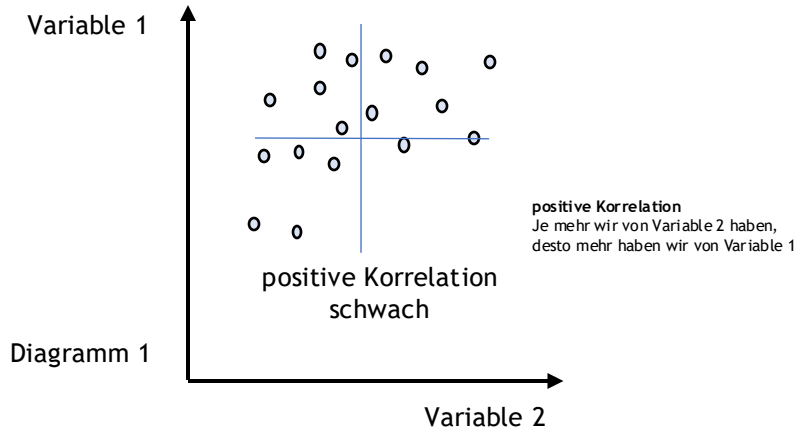
Längen in cm	47,95	47,96	47,97	47,98	47,99	48,00	48,01	48,02	48,03	48,04
Häufigkeit	1	2	6	9	13	7	5	3	2	2

- Überprüfe mithilfe eines Wahrscheinlichkeitsnetzes, ob die Grundlage für eine Berechnung von Maschinenfähigkeitskennwerten gegeben ist.
- Die interne Qualitätssicherung fordert, dass der  $c_m$ - und  $c_{mk}$ -Wert nicht unter 2,22 liegen darf. Werden diese Anforderungen erfüllt?

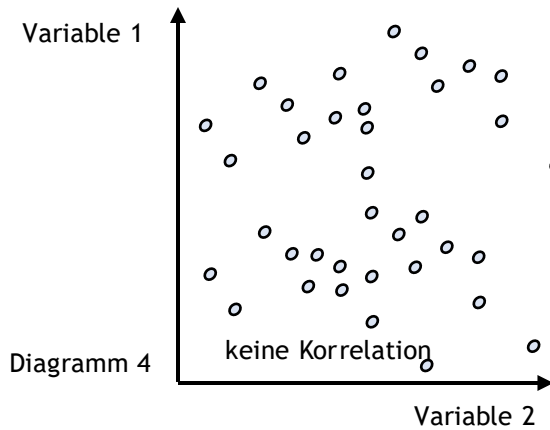
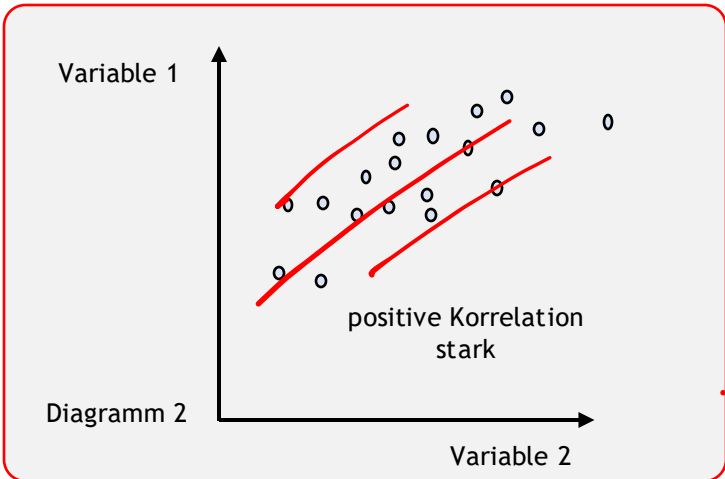
Ein Korrelationsdiagramm zeigt an, ob zwei Variablen miteinander verknüpft sind und es liefert die visuellen und statistischen Mittel, um die Stärke einer Beziehung zu testen.



Ein Korrelationsdiagramm zeigt an, ob zwei Variablen miteinander verknüpft sind und es liefert die visuellen und statistischen Mittel, um die Stärke einer Beziehung zu testen.



**Vorteile**  
 + Einfache Datenaufnahme und ablesen einer Korrelation



**Nachteile**  
 - „nur verwirrend“ - Wir können zwar eine Korrelation ablesen, aber wir können nicht auf einen Ursache-Wirkungs Zusammenhang schließen.

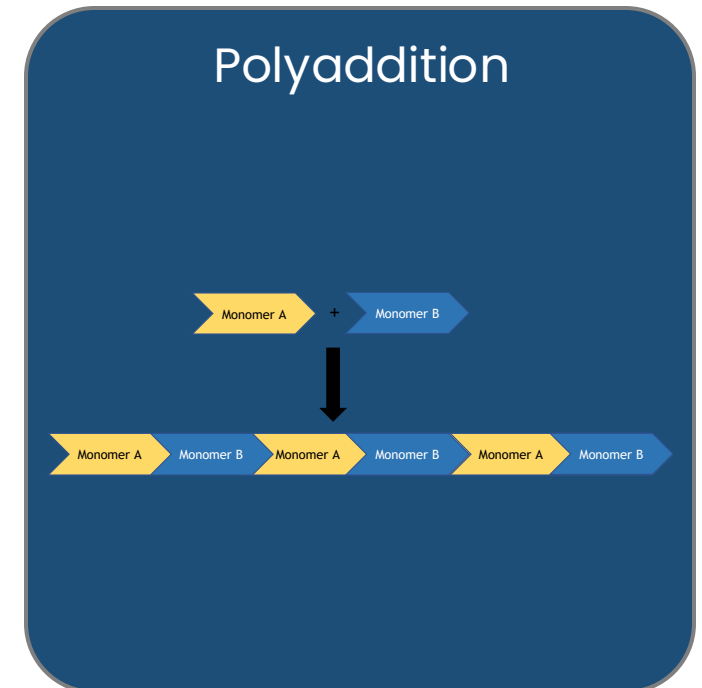
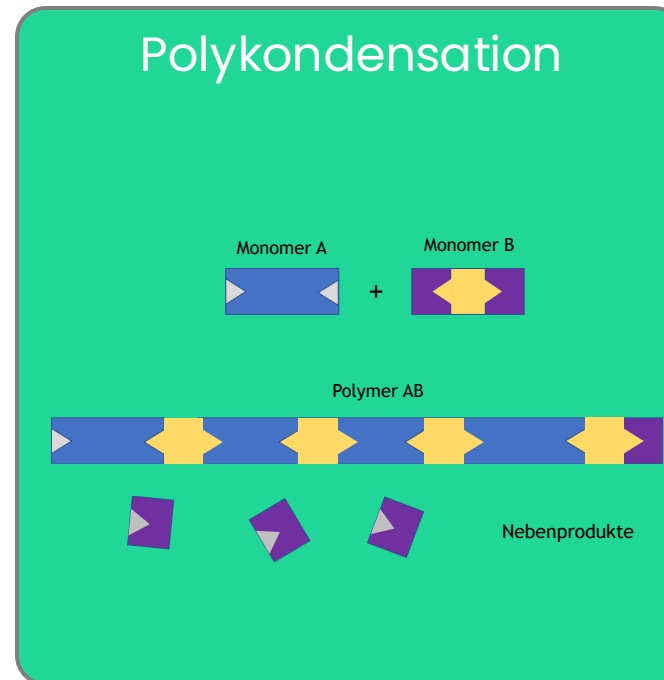
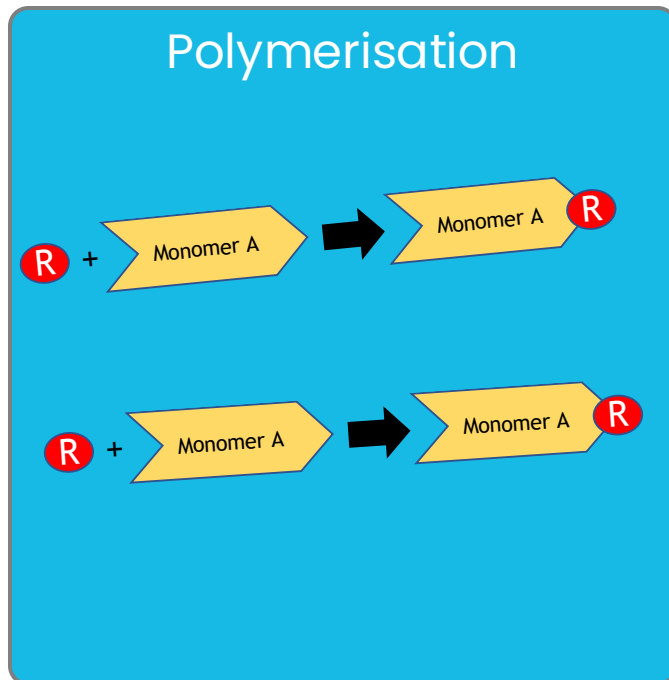


TIW GmbH ©

# POLYMERISATION

Exemplarisch wichtige Reaktionsschemata

Bei Kunststoffen gibt es drei grundlegende Entstehungsreaktionen. Bei diesen Entstehungsreaktionen bauen sich Makromoleküle aus Monomeren auf.



# WAS IST EINE POLYMERISATION?

Polymerisation

Eine Polymerisation ist eine Kettenreaktion zur Verknüpfung von Monomeren zu Polymeren. Die elementaranalytische Zusammensetzung bleibt erhalten, das heißt, dass Monomer und Polymer dieselben Massenanteile an Elementen haben. Bei Kettenreaktionen werden Monomermoleküle einzeln eins nach dem anderen an die wachsende Kette angebunden.

Die Reaktion wird durch einen sog. Kettenträger (= aktives Zentrum) aufrechterhalten. Im Verlauf der Kettenreaktion wird der Kettenträger immer wieder neu gebildet. Je nach Polymerisationstyp wird zwischen unterschiedlichen Kettenträgern unterschieden.

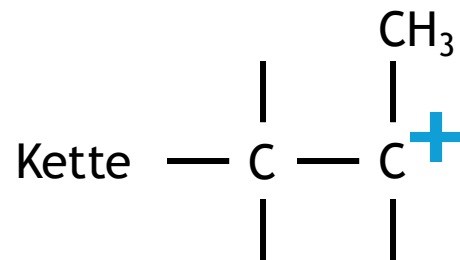
Radikalische  
Polymerisation

Radikale

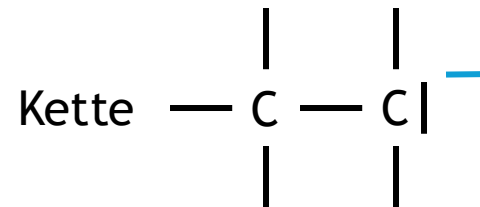


Ionische Polymerisation

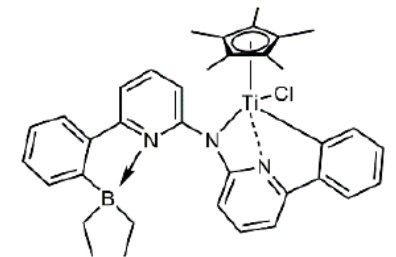
Kationen



Anionen



Metallkomplexe



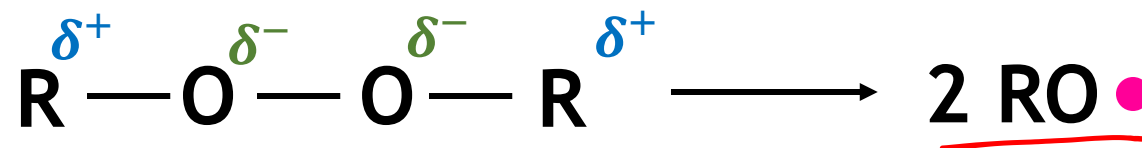
# RADIKALISCHE POLYMERISATION

Polymerisation

Das aktive Zentrum ist hier ein Radikal, also ein Molekül mit einem ungepaarten, freien Elektron. Radikale sind sehr reaktionsfreudig. Sie müssen in einem vorgelagerten Schritt erzeugt werden, reagieren dann mit den ungesättigten Monomeren, wobei sie deren Doppelbindung aufreißen und so an die Monomere gebunden werden. Dabei entsteht wieder ein Radikal, das in gleicher Weise in einem sich vielfach wiederholenden Wachstumsschritt Monomermoleküle anlagert. Diese Reaktionskette wird schließlich durch Abbruchreaktionen beendet.



Zur Radikalbildung werden als Initiatoren Stoffe verwendet, die beim Erhitzen leicht in Radikale zerfallen. Hierzu zählen organische Peroxide, da die schwache O-O-Bindung leicht zerfällt.

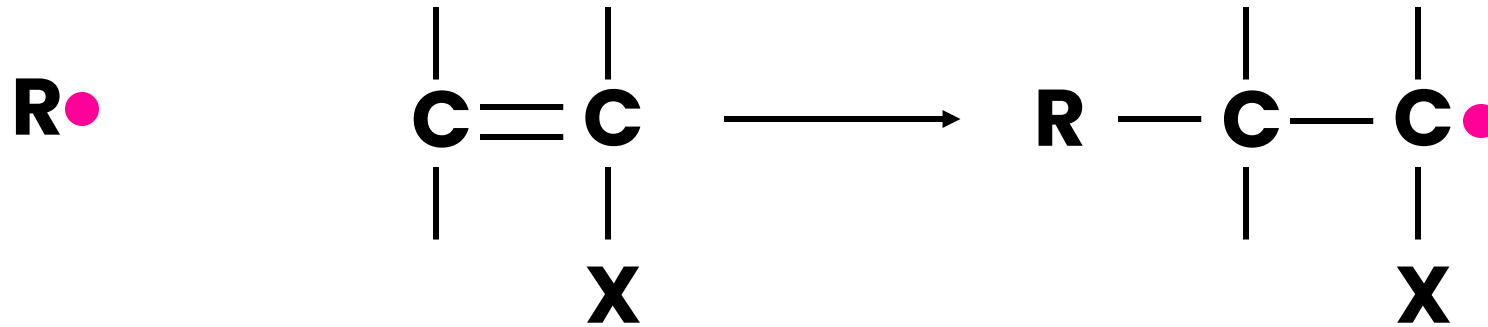


Die Zerfallsreaktionen werden beschleunigt durch: Temperaturerhöhung, UV-Licht, Redox-Katalyse (bei tiefen Temperaturen angewandte Beschleunigersysteme)

# RADIKALISCHE POLYMERISATION-Startreaktion

Polymerisation

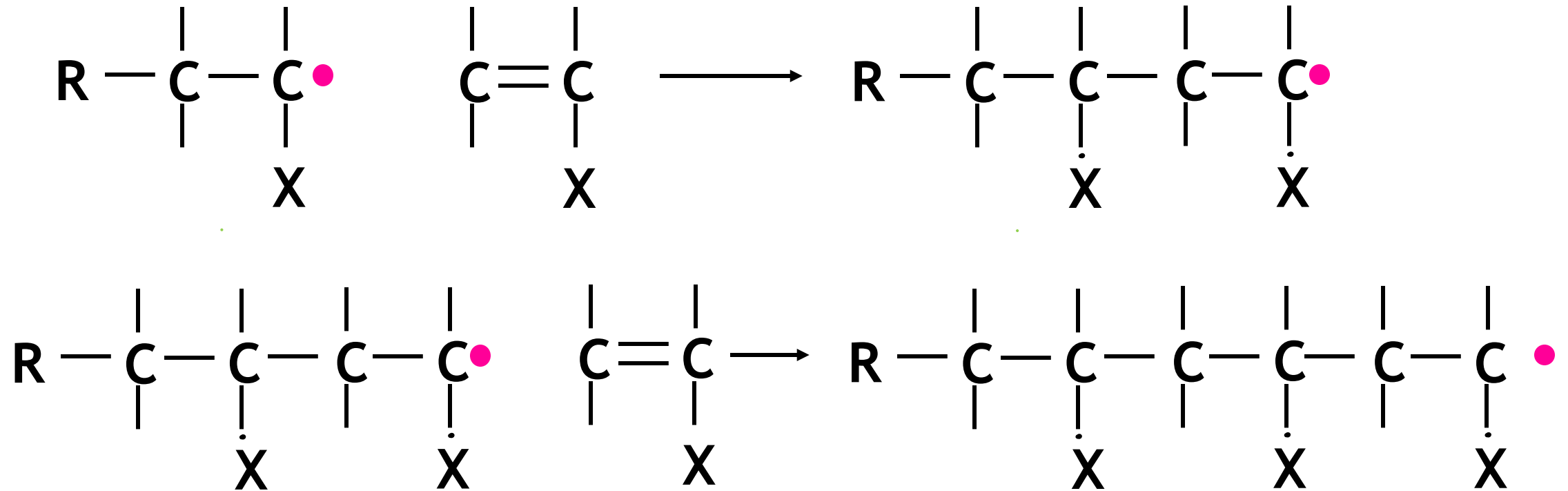
Das Radikal **R•** reißt die Doppelbindung im Monomer auf; eines der  $\pi$ -Elektronen wird zur Bindung des Radikals benötigt, das andere bleibt als ungepaartes Elektron am C-Atom. Es entsteht das nächste aktive Zentrum:



# RADIKALISCHE POLYMERISATION-Wachstum

Polymerisation

Der Mechanismus läuft im Prinzip ab wie bei der Startreaktion. Die Wachstumsschritte wiederholen sich sehr häufig und rasch.



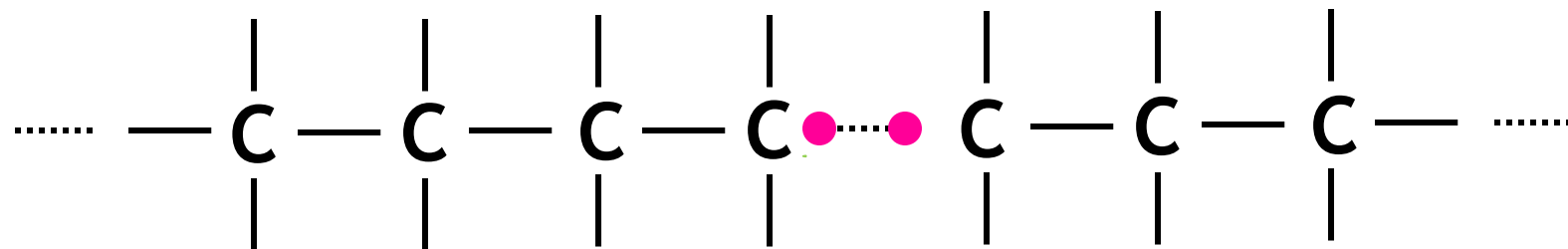
# RADIKALISCHE POLYMERISATION-Abbruch

Polymerisation



Durch zufällig eintretende Abbruchreaktionen wird das Kettenwachstum beendet.

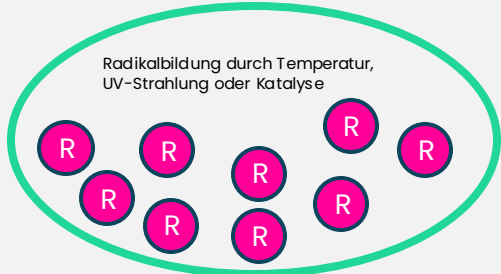
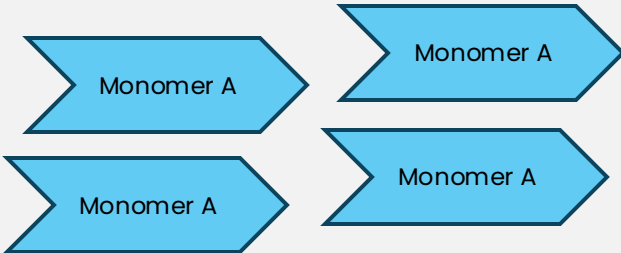
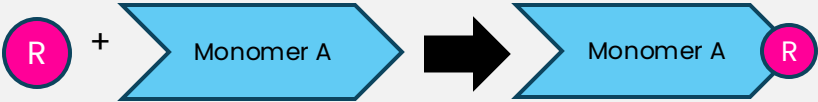
Bei der Kombination von Radikalen verbinden sich zwei Radikale (2 Polymerradikale oder ein Polymerradikal und ein Initiatorradikal) zu einem Molekül, wobei die beiden freien Elektronen der Radikale zu einer Bindung vereinigt werden. Das neu entstandene Molekül hat keine freien Elektronen mehr, ist also abgesättigt, das Kettenwachstum ist beendet.



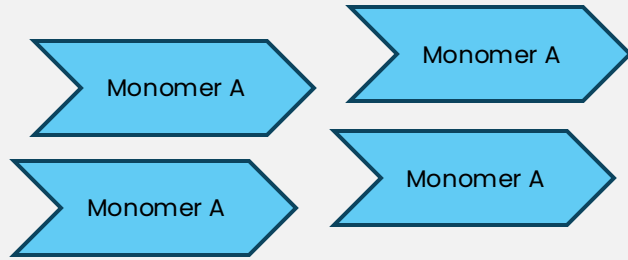
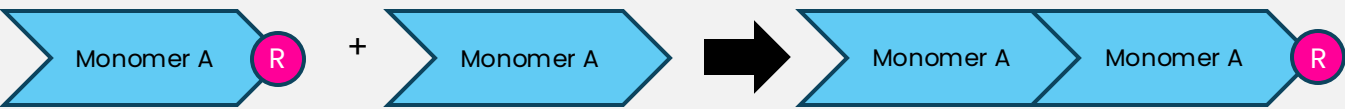
# RADIKALISCHE POLYMERISATION

Polymerisation

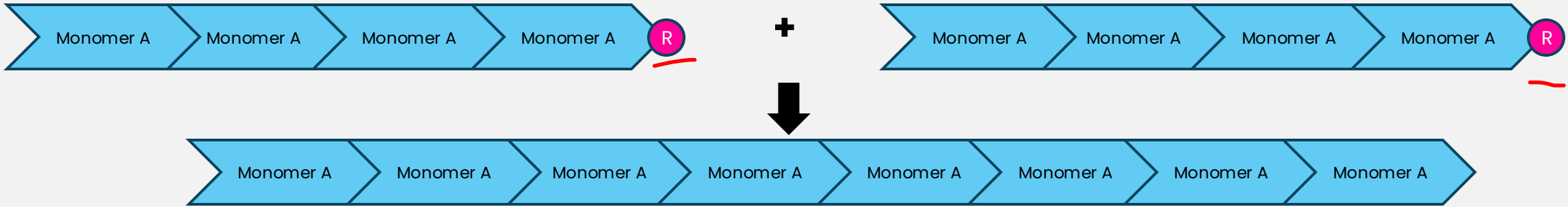
## Schritt 1: Radikalbildung und Startreaktion



## Schritt 2: Kettenreaktion



## Schritt 3: Abbruchreaktion



# RADIKALISCHE POLYMERISATION-Infos

Polymerisation

- Die radikalische Polymerisation kann nicht z.B. bei einem niedrigen Polymerisationsgrad abgebrochen und später wieder weitergeführt werden.
- Während des gesamten Polymerisationsprozesses müssen neue Initiatorradikale durch Zerfall weiteren Initiators erzeugt werden. Die Polymerradikale können wegen ihrer hohen Reaktivität i.a. nicht isoliert werden.

Radikalische Polymerisationen sind exotherm (Energie, hier Wärme, wird frei). Die Reaktion läuft „freiwillig“ ab.

Die Umwandlung in eine energetisch günstigere Form ist die Triebkraft für den Polymerisationsprozess.

Dadurch entsteht jedoch das Problem, große Wärmemengen abführen zu müssen.

Polyethylen niedriger Dichte (LDPE)

Polystyrol (PS)

Polyvinylchlorid (PVC)

Polymethylmethacrylat (PMMA)

# AN- UND KATIONISCHE POLYMERISATION

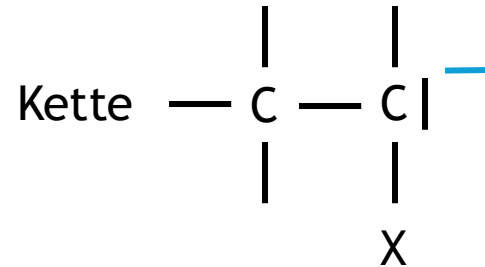
Polymerisation

## Anionische Polymerisation

Als aktives Zentrum bei der anionischen Polymerisation werden zumeist starke Basen genutzt. Die negative Ladung löst die Doppelbindung weiterer Monomere auf, sodass sie durch Elektronenübertragung zu einer stetig wachsenden Monomerkette gebunden werden. Häufig dienen starke Basen wie Alkoholate oder Alkalimetalle als gute Initiatoren.

### Beispielhafte Stoffe

Polybutadien (BR)  
Polystyrol (PS)  
Styrol-Butadien-Rubber (SBR)  
Polyoxymethylen (POM)  
Polyamid 6 (PA 6)  
Polycyanacrylat (= Sekundenkleber)



### Weitere Inforationen

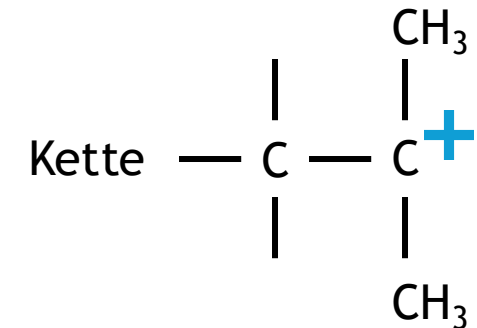
Während bei der radikalischen Polymerisation die Radikale während des gesamten Verlaufs neu entstehen und so immer neue Polymerisationsreaktionen starten, beginnen bei der anionischen Polymerisation die Ketten alle praktisch gleichzeitig zu wachsen, eine Folge ist eine einheitliche Kettengröße.

## Kationische Polymerisation

Als aktives Zentrum bei der kationischen Polymerisation werden zumeist starke Säuren genutzt. Die positive Ladung löst über die schrittweise Addition von Monomeren an das aktive Zentren aus.

### Beispielhafte Stoffe

Polyisobuten  
Polyolefine (PE, PP, PIB...)  
Polyvinylether (PVE)  
Polyvinylarene



### Weitere Inforationen

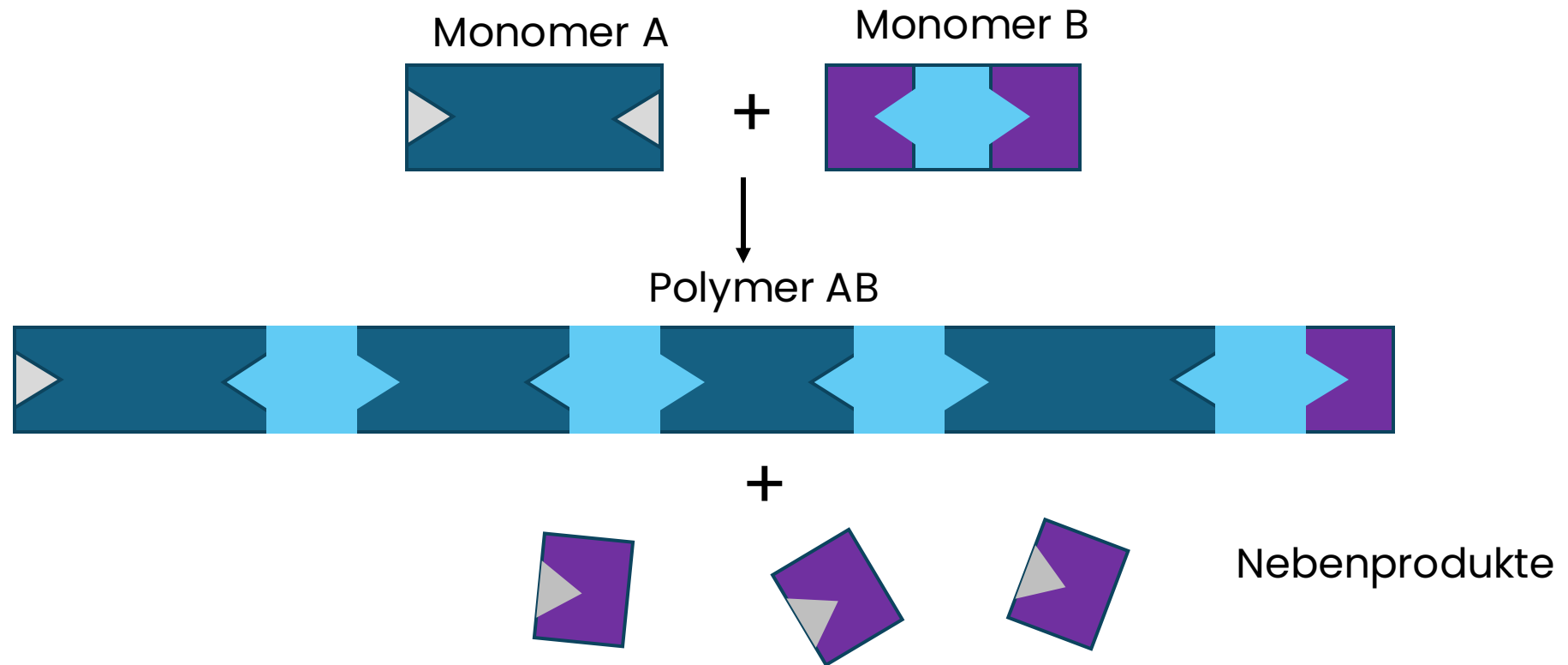
Auch die kationische Polymerisation kann wie die anionische Polymerisation als lebende Polymerisation verlaufen, jedoch bricht die kationische Polymerisation prinzipiell schneller ab, da ein Proton leicht abgespalten werden kann.

# POLYKONDENSATION

## Polymerisation

Die Polykondensation ist eine Stufenreaktion, bei der sich das Wachstum der Ketten in immer größeren Sprüngen vollzieht. Wichtiges Merkmal dieses Reaktionstyps ist die Abspaltung niedermolekularer Stoffe (z.B. Wasser).

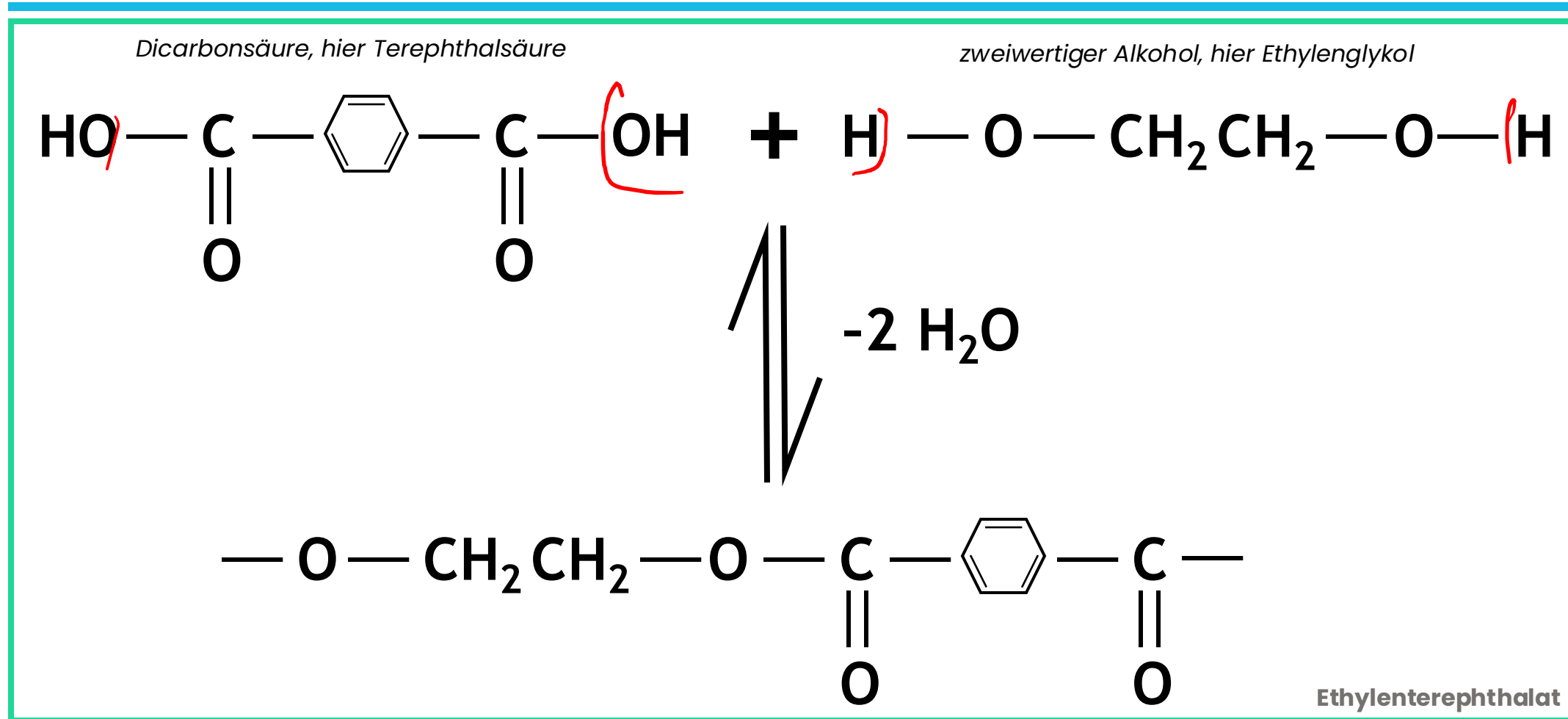
Die Monomere müssen mindestens difunktionell sein, d.h. sie müssen mindestens zwei (gleiche oder verschiedene) funktionelle Gruppen (z.B.  $-OH$ ,  $-COOH$  usw.) besitzen. Diese funktionellen Gruppen oder einzelne Atome daraus (z.B. H) werden abgespalten; dadurch werden pro Monomer zwei Bindungsmöglichkeiten frei, über die sich die Monomere verknüpfen können



# POLYKONDENSATION-PET

Polymerisation

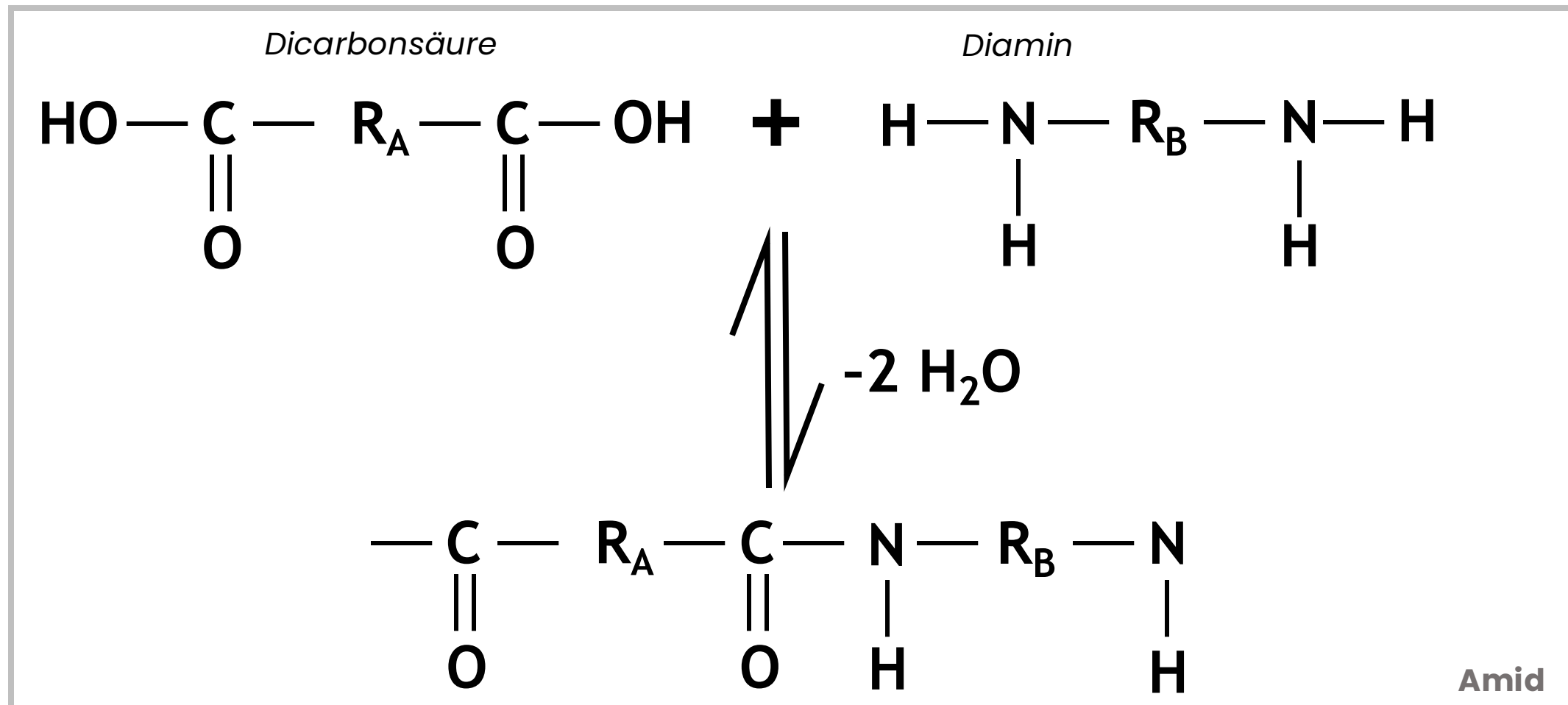
## Polyethylenterephthalat Herstellung



# POLYKONDENSATION-PA

Polymerisation

## Polyamid Herstellung



# POLYKONDENSATION-PA NOMENKLATUR

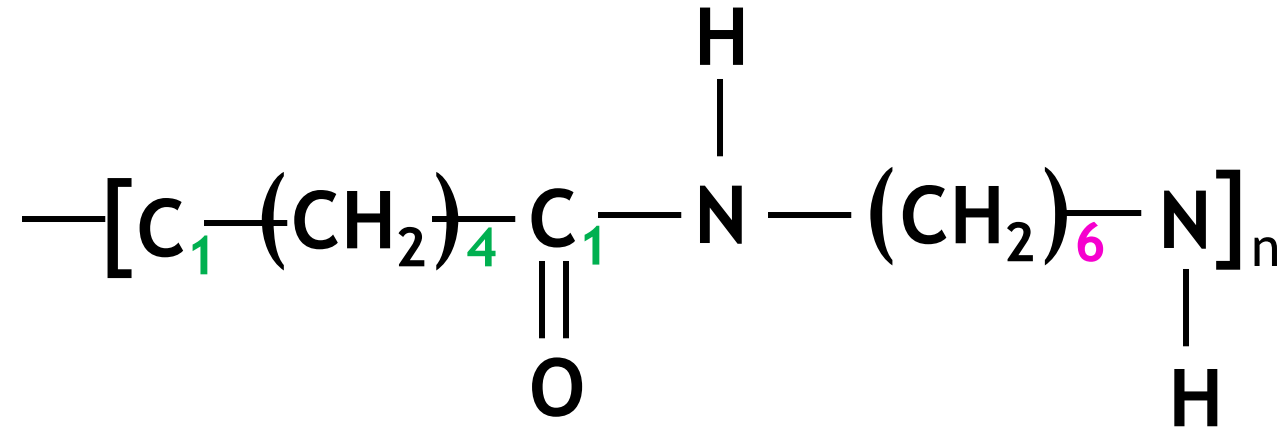
Polymerisation

## Polyamid Nomenklatur

Die Zahlen in den Bezeichnungen der PA-Typen haben folgende Bedeutung:

**1. Zahl: Anzahl der C-Atome im Diamin**

**2. Zahl: Anzahl der C-Atome in der Dicarbonsäure**

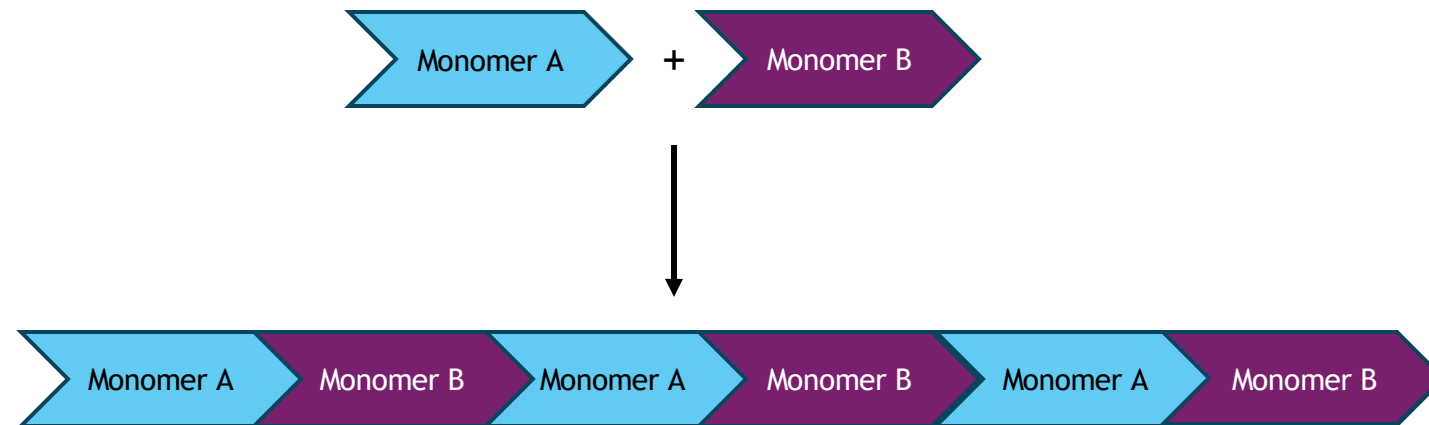


Bei dem dargestellten Polyamid handelt es sich somit um PA **6.6**

# POLYADDITION

## Polymerisation

Polyaddition ist eine Polyreaktion, die über einzelne unabhängige Additionsreaktionen Polymere bildet. Die wichtigsten Kunststoffe, die in einer Polyaddition entstehen, sind Polyurethane, Polyharnstoffe und Epoxidharze. Eine Polyaddition kann nur erfolgen, wenn die Monomere zwei oder mehr funktionelle Gruppen tragen.



(De)hydratisierung

(De)hydrierung

Abspaltung von Wasser oder Wasserstoff

# Löslichkeit

## Prozesskomponenten

Ein Unternehmen möchte den Wirkstoff einer organischen Verbindung extrahieren. Dabei soll der Wirkstoff in Wasser gelöst werden, um anschließend weiterverarbeitet zu werden.

**a) Erkläre, welche Eigenschaften der Verbindung die Löslichkeit in Wasser beeinflussen.**

**b) Warum ist die Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln oft anders als in Wasser?**

# Löslichkeit

## Prozesskomponenten

Ein Unternehmen möchte den Wirkstoff einer organischen Verbindung extrahieren. Dabei soll der Wirkstoff in Wasser gelöst werden, um anschließend weiterverarbeitet zu werden.

**a) Erkläre, welche Eigenschaften der Verbindung die Löslichkeit in Wasser beeinflussen.**

**b) Warum ist die Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln oft anders als in Wasser?**

- a) Die Löslichkeit einer Verbindung in Wasser hängt vor allem von der Polarität der funktionellen Gruppen ab. Moleküle mit polaren Gruppen wie Hydroxylgruppen (-OH) oder Carboxylgruppen (-COOH) können Wasserstoffbrücken mit Wassermolekülen bilden, wodurch ihre Löslichkeit erhöht wird. Bei Carbonsäuren nimmt beispielsweise die Löslichkeit ab, wenn der Alkylrest immer länger wird, da dieser unpolar ist und die Wirkung der polaren Carboxylgruppe überdeckt. Bei Alkanolen verhält es sich ähnlich: Kurzkettige Alkanole sind wasserlöslich, während langkettige aufgrund ihres hydrophoben Alkylrests weniger löslich sind.
- b) Die Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln unterscheidet sich oft aufgrund der Polarität der Lösungsmittel. Organische Lösungsmittel wie Hexan oder Toluol sind unpolar oder wenig polar. Daher lösen sich unpolare oder schwach polare Verbindungen besser in diesen Lösungsmitteln als in Wasser. Im Gegensatz dazu ist Wasser ein stark polares Lösungsmittel, das bevorzugt andere polare Substanzen löst.

Grundsatz: Gleiches löst sich in gleichem

# Löslichkeit

## Prozesskomponenten

Ein Stoff B hat eine maximale Löslichkeit von 30 g pro 100 g Wasser bei 25 °C. Die molare Masse von Stoff B beträgt 60 g/mol. Du möchtest 90 g des Stoffes in 200 g Wasser auflösen.

- Berechne, ob sich der Stoff vollständig in 200 g Wasser lösen kann, und ob ein Bodensatz entsteht.
- Falls ein Bodensatz entsteht, berechne die Stoffmenge (in Mol) des ungelösten Stoffes.
- Berechne die Stoffmengenkonzentration der gesättigten Lösung in Mol pro Liter (mol/L). (Nimm an, dass das Volumen der Lösung hauptsächlich vom Wasser abhängt und dass die Dichte des Wassers 1 g/mL beträgt.)

$$L = \frac{30 \text{ g}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$$

$$M = \frac{60 \text{ g}}{\text{mol}}$$

$$m_B = 90 \text{ g}$$

a)

In 200 g Wasser können maximal 60 g Stoff B gelöst werden

→ 30 g bleiben als Bodensatz

b)

$$n = \frac{m}{M} = \frac{30 \text{ g}}{60 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,5 \text{ mol Bodensatz}$$

c) Überlegung  $V \approx 0,2 \text{ L}$

$$n_{\text{gelöst}} = \frac{60 \text{ g}}{60 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1 \text{ mol} \rightarrow \text{in } 200 \text{ ml gelöst}$$

$$C = \frac{n}{V} = \frac{1 \text{ mol}}{0,2 \text{ l}} = 5 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

# Löslichkeit

## Prozesskomponenten

Ein Stoff B hat eine maximale Löslichkeit von 30 g pro 100 g Wasser bei 25 °C. Die molare Masse von Stoff B beträgt 60 g/mol. Du möchtest 90 g des Stoffes in 200 g Wasser auflösen.

- a) **Berechne, ob sich der Stoff vollständig in 200 g Wasser lösen kann, und ob ein Bodensatz entsteht.**
- b) **Falls ein Bodensatz entsteht, berechne die Stoffmenge (in Mol) des ungelösten Stoffes.**
- c) **Berechne die Stoffmengenkonzentration der gesättigten Lösung in Mol pro Liter (mol/L). (Nimm an, dass das Volumen der Lösung hauptsächlich vom Wasser abhängt und dass die Dichte des Wassers 1 g/mL beträgt.)**

### a) Berechnung der maximalen Löslichkeit in 200 g Wasser:

Die maximale Löslichkeit von Stoff B beträgt 30 g pro 100 g Wasser. Zuerst berechnen wir, wie viel von Stoff B sich in 200 g Wasser lösen kann:

$$\text{Maximale Löslichkeit} = 30 \text{ g} \times \left( \frac{200 \text{ g Wasser}}{100 \text{ g Wasser}} \right) = 60 \text{ g}$$

Das bedeutet, dass sich in 200 g Wasser maximal 60 g von Stoff B lösen können.

Da du 90 g Stoff B hinzufügen möchtest, wird ein Teil davon ungelöst bleiben.

Ein Stoff B hat eine maximale Löslichkeit von 30 g pro 100 g Wasser bei 25 °C. Die molare Masse von Stoff B beträgt 60 g/mol. Du möchtest 90 g des Stoffes in 200 g Wasser auflösen.

- Berechne, ob sich der Stoff vollständig in 200 g Wasser lösen kann, und ob ein Bodensatz entsteht.**
- Falls ein Bodensatz entsteht, berechne die Stoffmenge (in Mol) des ungelösten Stoffes.**
- Berechne die Stoffmengenkonzentration der gesättigten Lösung in Mol pro Liter (mol/L). (Nimm an, dass das Volumen der Lösung hauptsächlich vom Wasser abhängt und dass die Dichte des Wassers 1 g/mL beträgt.)**

### c) Berechnung der Stoffmengenkonzentration der gesättigten Lösung:

Die Stoffmenge des gelösten Stoffes in der gesättigten Lösung beträgt:

$$n_{\text{gelöst}} = \frac{60 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 1 \text{ mol}$$

Nun berechnen wir die Stoffmengenkonzentration. Die Lösung besteht aus 200 g Wasser, was einem Volumen von 200 mL bzw. 0,2 L (da die Dichte von Wasser 1 g/mL beträgt) entspricht.

$$c = \frac{n}{V} = \frac{1 \text{ mol}}{0,2 \text{ L}} = 5 \text{ mol/L}$$



TIW GmbH ©

# STOFFEIGENSCHAFTEN

Masse

Volumen

Stoffmenge

*Kapitel aus dem IHK-Rahmenplan  
Chemische Prozesse und Verfahren*

# Grundgrößen von Stoffen

## Die Masse $m$

Masse ist die Menge an Materie in einem Objekt oder einer Substanz. Sie wird in Kilogramm (kg) oder Gramm (g) gemessen.

Masse = Stoffmenge · Molare Masse

$$m = n \cdot M$$

## Die Stoffmenge $n$

Die Stoffmenge gibt an, wie viele Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen) in einer Stoffportion enthalten sind. Die Einheit ist das Mol (mol).

1 mol eines Stoffes enthält immer  $6,022 \cdot 10^{23}$  Teilchen (Avogadro-Konstante)

$$m = n \cdot V$$

## Das Volumen $V$

Volumen ist der Raum, den ein Objekt oder eine Substanz einnimmt. Es wird in Litern (L) oder Kubikmetern  $m^3$  gemessen.

**Bei Gasen:** Das Volumen eines Gases kann mit der **idealen Gasgleichung** berechnet werden, sofern Temperatur, Druck und Stoffmenge bekannt sind:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

## Molare Masse $M$

Die molare Masse ist die Masse eines Mols eines bestimmten Stoffes. Sie gibt an, wie viel 1 Mol einer Substanz wiegt und wird in **g/mol** oder **kg/kmol** angegeben. Die molare Masse wird aus den Atommassen der im Molekül enthaltenen Elemente berechnet, die du im Periodensystem findest.

Die molare Masse wird verwendet, um die Masse eines Stoffes in Gramm oder Kilogramm in die Stoffmenge (Mol) umzurechnen oder umgekehrt. Dies ist besonders wichtig, wenn du die Menge eines Reaktanten oder Produkts in chemischen Reaktionen bestimmen möchtest.

## H<sub>2</sub>O mit

$$H = 1,008 \frac{g}{mol}$$

$$O = 16 \frac{g}{mol}$$

$$M(H_2O) = 2 \cdot 1,008 \frac{g}{mol} + 16 \frac{g}{mol} = 18,016 \frac{g}{mol}$$

# Klausuraufgabe - Calciumhydroxid

## Reaktionsgleichungen

Für die Herstellung von Calciumhydroxid aus Calciumcarbonat sollst du folgende Aufgaben lösen:

- a) Schreibe die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von Calciumhydroxid aus Calciumcarbonat auf. (4 Punkte)
- b) Berechne die erforderliche Masse an Calciumcarbonat, wenn du für eine Fällung 350 kg Calciumhydroxid benötigst und der Massenanteil von Calciumcarbonat  $w(\text{CaCO}_3) = 0,9$  beträgt. (8 Punkte)

Die molaren Massen sind:

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{Ca(OH)}_2) = 74,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

a) Zwei Schritt



Überlegung Stoffmengenverhältnis 1:1

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Ca(OH)}_2) = \frac{m(\text{Ca(OH)}_2)}{M(\text{Ca(OH)}_2)} = \frac{350 \text{ kg}}{74,09 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 4,724 \text{ kmol}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M = 4,724 \text{ kmol} \cdot 100,09 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 472,78 \text{ kg}$$

Masse reines Calciumcarbonat

$$m_{\text{ges}} = \frac{472,78 \text{ kg}}{0,9} = 525,36 \text{ kg}$$

# Klausuraufgabe - Calciumhydroxid

## Reaktionsgleichungen

Für die Herstellung von Calciumhydroxid aus Calciumcarbonat sollst du folgende Aufgaben lösen:

- Schreibe die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von Calciumhydroxid aus Calciumcarbonat auf. (4 Punkte)
- Berechne die erforderliche Masse an Calciumcarbonat, wenn du für eine Fällung 350 kg Calciumhydroxid benötigst und der Massenanteil von Calciumcarbonat  $w(\text{CaCO}_3) = 0,9$  beträgt. (8 Punkte)

Die molaren Massen sind:

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{Ca(OH)}_2) = 74,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

a)

# Klausuraufgabe – Von der Masse und dem Volumen

## Reaktionsgleichungen

Für die Herstellung von Calciumhydroxid aus Calciumcarbonat sollst du folgende Aufgaben lösen:

- Schreibe die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von Calciumhydroxid aus Calciumcarbonat auf. (4 Punkte)
- Berechne die erforderliche Masse an Calciumcarbonat, wenn du für eine Fällung 350 kg Calciumhydroxid benötigst und der Massenanteil von Calciumcarbonat  $w(\text{CaCO}_3) = 0,9$  beträgt. (8 Punkte)

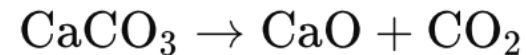
Die molaren Massen sind:

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

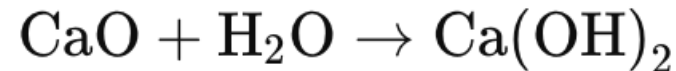
$$M(\text{Ca(OH)}_2) = 74,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

### a) Reaktionsgleichungen

Zunächst wird Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) zu Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) zersetzt:



Im zweiten Schritt reagiert Calciumoxid mit Wasser zu Calciumhydroxid:



### b) Masse

Um die benötigte Menge an Calciumcarbonat zu berechnen, folgst du diesen Schritten:

- Zunächst berechnest du die Stoffmenge ( $n$ ) von Calciumhydroxid:

$$n(\text{Ca(OH)}_2) = \frac{m(\text{Ca(OH)}_2)}{M(\text{Ca(OH)}_2)} = \frac{350 \text{ kg}}{74,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 4,724 \text{ kmol}$$

- Da das Verhältnis von Calciumcarbonat zu Calciumhydroxid in der Reaktionsgleichung 1:1 ist, ist die Stoffmenge von  $\text{CaCO}_3$  gleich der von  $\text{Ca(OH)}_2$ . Daher:

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Ca(OH)}_2) = 4,724 \text{ kmol}$$

- Nun berechnest du die Masse des reinen Calciumcarbonats:

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 4,724 \text{ mol} \cdot 100,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 472,78 \text{ kg}$$

- Da das Calciumcarbonat nur einen Reinheitsgrad von 90% hat ( $w = 0,9$ ), musst du die tatsächliche Masse an Calciumcarbonat berechnen:

$$m(\text{CaCO}_3) = \frac{472,78 \text{ kg}}{0,9} = 525,36 \text{ kg}$$

**Ergebnis:** Du benötigst 525,36 kg Calciumcarbonat, wenn du 350 kg Calciumhydroxid herstellen möchtest und der Massenanteil  $w(\text{CaCO}_3) = 0,9$  beträgt.

# Klausuraufgabe - Von der Masse und dem Volumen

Reaktionsgleichungen

## Aufgabe 7

Mögliche Punktzahl: 16

Im Kunstharz-Technikum sind durch eine Leckage an einem Dichtungsflansch 300 ml Ethansäureethylester (Ethylacetat) ausgetreten und verdunstet. Das Technikum hat ein Raumvolumen von 300 m<sup>3</sup>, die Raumtemperatur beträgt 25 °C und der Luftdruck 1,025 mbar.

Stoffdaten:

Name	Ethansäureethylester
Dichte (kg/m <sup>3</sup> ) bei 25 °C	<u>900,3 kg/m<sup>3</sup></u>
molare Masse	<u>88,11 g/mol</u>
AGW (TRGS 900)	<u>400 ppm</u>
Siedepunkt	77,06 °C
Schmelzpunkt	-83,6 °C
Flammpunkt	-4 °C
Zündtemperatur	430 °C

Berechnen Sie, ob der Arbeitsplatzgrenzwert von Ethansäureethylester überschritten wurde.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Grenzwert wird nicht überschritten

$$\begin{aligned} m &= V \cdot \rho = 300 \text{ ml} \cdot \\ &= 0,3 \text{ dm}^3 \cdot 0,9003 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 0,27009 \text{ kg} \\ &= 270,09 \text{ g} \end{aligned}$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$V = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot p} = \frac{270,09 \text{ g} \cdot 8,314472 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{mol} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^2} \cdot 298,15 \text{ K}}{88,11 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 102.500 \text{ Pa}}$$

$$V = 0,074 \text{ m}^3 \approx 74 \text{ dm}^3$$

$$\varphi = \frac{0,074 \text{ m}^3}{300 \text{ m}^3} = 247 \cdot 10^{-6} \rightarrow 247 \text{ ppm} < 400 \text{ ppm}$$

# Klausuraufgabe – Von der Masse und dem Volumen

## Reaktionsgleichungen

### Aufgabe 7

Mögliche Punktzahl: 16

Im Kunstharz-Technikum sind durch eine Leckage an einem Dichtungsflansch 300 ml Ethansäureethylester (Ethylacetat) ausgetreten und verdunstet. Das Technikum hat ein Raumvolumen von 300 m<sup>3</sup>, die Raumtemperatur beträgt 25 °C und der Luftdruck 1.025 mbar.

Stoffdaten:

Name	Ethansäureethylester
Dichte (kg/m <sup>3</sup> ) bei 25 °C	900,3 kg/m <sup>3</sup>
molare Masse	88,11 g/mol
AGW (TRGS 900)	400 ppm
Siedepunkt	77,06 °C
Schmelzpunkt	– 83,6 °C
Flammpunkt	– 4 °C
Zündtemperatur	430 °C

Berechnen Sie, ob der Arbeitsplatzgrenzwert von Ethansäureethylester überschritten wurde.

### Lösungshinweise Aufgabe 7

[VO: § 5 Absatz 8 Nr. 3. a)]

Mögliche Punktzahl: 16

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = V \cdot \rho \rightarrow m = 300 \text{ mL} \cdot 0,9003 \text{ g/mL} = 270,09 \text{ g}$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \rightarrow V = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot p} \rightarrow$$

$$V = \frac{270,09 \text{ g} \cdot \text{mol} \cdot 83,14 \text{ mbar} \cdot \text{L} \cdot 298 \text{ K}}{88,11 \text{ g} \cdot 1.025 \text{ mbar} \cdot \text{K} \cdot \text{mol}} = 74,09 \text{ L}$$

$$\varphi(\text{Ethansäureethylester}) = \frac{V_{\text{Ethansäureethylester}}}{V_{\text{gesamt}}}$$

$$\varphi(\text{Ethansäureethylester}) = \frac{74,09 \cdot 10^3 \text{ mL}}{300 \text{ m}^3} = 246,97 \frac{\text{mL}}{\text{m}^3}$$

Der Arbeitsplatzgrenzwert wird nicht überschritten.

# Klausuraufgabe - Von der Masse und dem Volumen

Reaktionsgleichungen

## Aufgabe 1

Das überschüssige Restmonomer Chlorethen wird der thermischen Nachverbrennung zugeführt. Pro produzierter Tonne PVC befinden sich im Abgas 210 g Chlorethen.

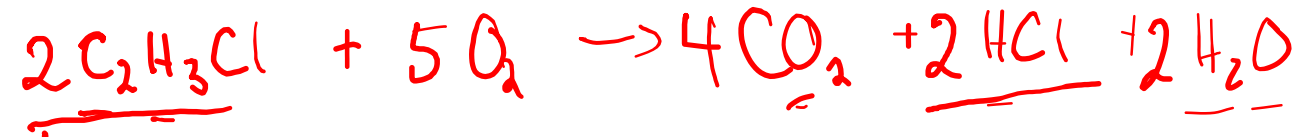
**a** Mögliche Punktzahl: 5

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der vollständigen Verbrennung von Chlorethen.

**b** Mögliche Punktzahl: 5

Berechnen Sie, welches Volumen ( $\text{Nm}^3$ ) an Chlorwasserstoff pro Tonne produziertem PVC entsteht,  $M(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = 62,5 \text{ g/mol}$ .

a)



b)

$$n_{\text{HCl}} = n_{\text{Chlorethen}}$$

$$n_{\text{Chlorethen}} = \frac{m}{M} = \frac{210 \text{ g}}{62,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3,36 \text{ mol}$$

S. 81 Tabellenbuch

Ansatz: Ideale Gase 1 mol bei Normbedingungen entspricht Volumen von 22,4 l

$$V_{\text{N}_3} = 3,36 \text{ mol} \cdot 22,4 \frac{\text{l}}{\text{mol}} = 75,3 \text{ l}$$

# Klausuraufgabe – Von der Masse und dem Volumen

## Reaktionsgleichungen

### Aufgabe 1

Das überschüssige Restmonomer Chlorethen wird der thermischen Nachverbrennung zugeführt. Pro produzierter Tonne PVC befinden sich im Abgas 210 g Chlorethen.

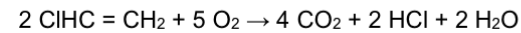
**a** Mögliche Punktzahl: 5

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der vollständigen Verbrennung von Chlorethen.

**b** Mögliche Punktzahl: 5

Berechnen Sie, welches Volumen (Nm<sup>3</sup>) an Chlorwasserstoff pro Tonne produziertem PVC entsteht,  $M(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = 62,5 \text{ g/mol}$ .

**a** Mögliche Punktzahl: 5



**b** Mögliche Punktzahl: 5

$$n_{\text{Chlorethen}} = \frac{m_{\text{Chlorethen}}}{M_{\text{Chlorethen}}} = \frac{210 \text{ g}}{62,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3,36 \text{ mol}$$

$$n_{\text{HCl}} = n_{\text{Chlorethen}}$$

$$n_{\text{HCl}} = 3,36 \text{ mol}$$

$$V_{\text{NB,HCl}} = n_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{mol}} = 3,36 \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ L/mol} = 75,3 \text{ L}$$