

Übung zur Analytischen Chemie I

Theorie der Chromatographie II

Dr. Sven Meckelmann

Erläutern Sie das Trennstufenmodell und erklären Sie anhand dessen die Bandenverbreiterung. Welche wichtigen Größen für die Chromatographie beinhaltet die Theorie?

Erläutern Sie das Trennstufenmodell und erklären Sie anhand dessen die Bandenverbreiterung. Welche wichtigen Größen für die Chromatographie beinhaltet die Theorie?

In einer theoretischen Trennstufe herrscht für einen Stoff ein thermodynamisches Gleichgewicht zwischen mobiler und stationärer Phase, zwischen Sorptions- und Desorptionsvorgängen.

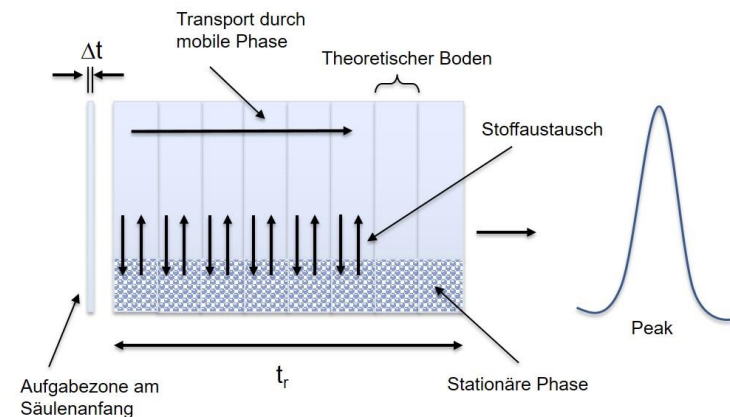
Das Trennstufenmodell stützt sich also auf die Vorstellung, dass auf der Trennstrecke theoretische Böden (analog Destillation) existieren, in denen sich ein Gleichgewicht zwischen SP und MP einstellt. In der Realität ist aber eine solche Gleichgewichtseinstellung durch den kontinuierlichen Fluss der MP nicht möglich.

Charakteristische Größen dabei:

N → Bodenzahl (Trennstufenzahl)

H → Bodenhöhe (Trennstufenhöhe)

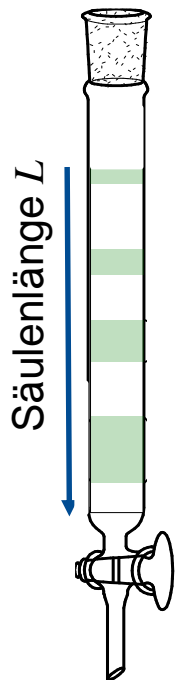
σ → Standardabweichung des Peaks



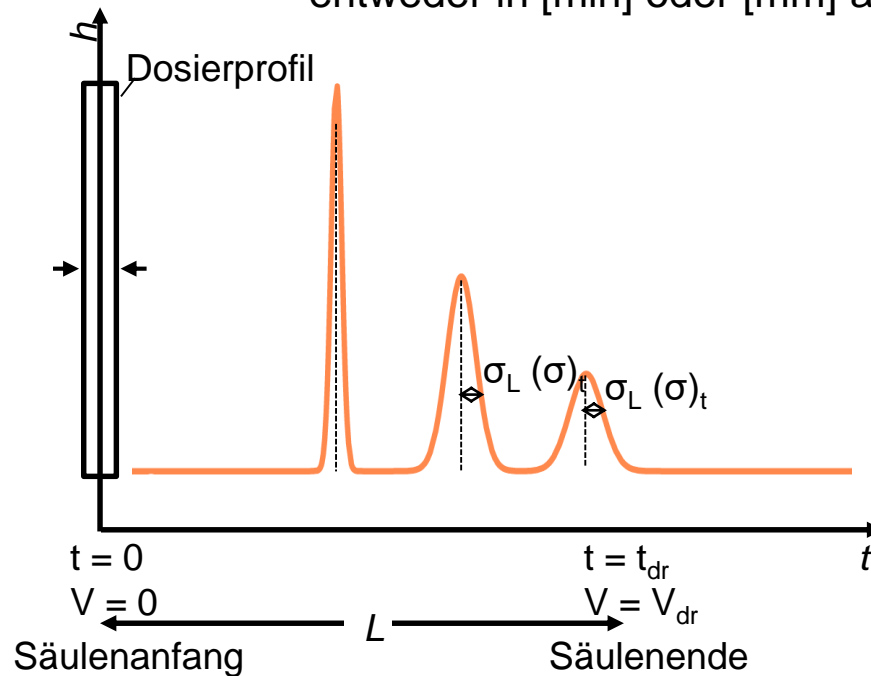
Erläutern Sie das Trennstufenmodell und erklären Sie anhand dessen die Bandenverbreiterung. Welche wichtigen Größen für die Chromatographie beinhaltet die Theorie?

In der Chromatographie kommt es zu einer ständigen Peak- bzw. Bandenverbreiterung. Das ursprüngliche Dosierprofil einer Substanz verbreitert sich entlang der Trennstrecke. In den Zonen liegt eine gaußförmige Verteilung vor.

Die Standardabweichung der Peaks σ wird entweder in [min] oder [mm] angegeben



Breite der Startzone



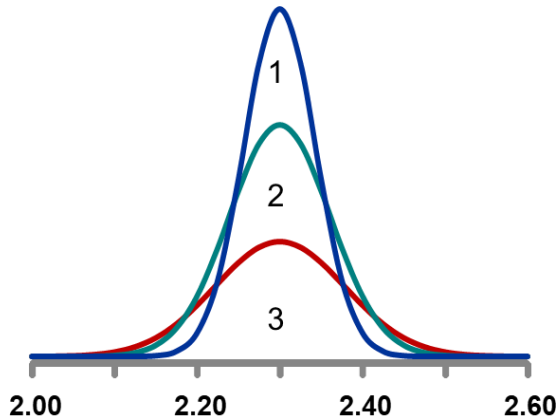
Erläutern Sie das Trennstufenmodell und erklären Sie anhand dessen die Bandenverbreiterung. Welche wichtigen Größen für die Chromatographie beinhaltet die Theorie?

Es kommt zu der erwähnten Bandenverbreiterung aufgrund:

- des in endlicher Zeit ablaufenden Massentransports zwischen mobiler und stationärer Phase,
- der Streudiffusion (Eddy-Diffusion) an den Teilchen der stationären Phase,
- Diffusionseffekten in der Strömungsrichtung bzw. Longitudinalrichtung.

Das Trennstufenmodell führt den Begriff der Effizienz ein. Erläutern Sie den Begriff in diesem Zusammenhang sowie die Bedeutung der theoretischen Bodenzahl (-höhe) für die chromatographische Trennung eines Stoffgemisches! Erklären sie auch wie sich eine geringere Bodenhöhe bzw. eine höhere Bodenzahl auf die Form eines Peaks auswirkt und welche Werte für H bzw. N in der LC und GC typisch sind?

Das Trennstufenmodell führt den Begriff der Effizienz ein. Erläutern Sie den Begriff in diesem Zusammenhang....



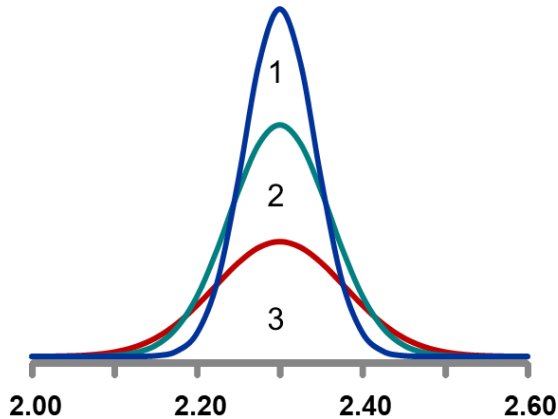
Nach der Trennung repräsentiert jeder Peak im Chromatogramm eine Substanz. Wenn die Peaks unendlich schmal wären, könnte es zu keiner Überlappung kommen und wir hätten die optimale Trennung. Leider ist das in der Praxis nie der Fall: Peaks haben immer eine bestimmte Weite aufgrund z.B. der Diffusion. Im idealen Fall hat der Peak eine symmetrische Gaussform.

Die Peakweite ist nicht von der Peakfläche oder Peakhöhe abhängig. Diese sind abhängig von der injizierten Menge der Komponente.

Wenn beispielsweise die gleiche Menge der Komponente in drei ähnlichen Säulen aber mit unterschiedlichen Effizienzen injiziert würde, könnte man folgendes Ergebnis erhalten:

Die Säule mit der höchsten Effizienz (größte Anzahl an theoretischen Böden) liefert den höchsten und schlankesten Peak (1). Die Säule mit der niedrigsten Effizienz liefert hingegen den breitesten Peak mit der geringsten Höhe (3).

Das Trennstufenmodell führt den Begriff der Effizienz ein. Erläutern Sie den Begriff in diesem Zusammenhang....



→LC:

$H \sim (2 \sim 5)$ Partikeldurchmesser (dp) der stationären Phase

$dp = 1,7 - 5 \mu\text{m}$

H für $5 \mu\text{m}$: $10 - 25 \mu\text{m}$

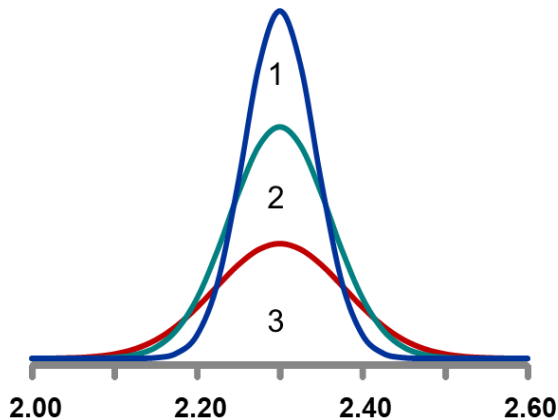
H für $1,7 \mu\text{m}$: $4 - 9 \mu\text{m}$

→ bei einer Länge von 100 mm ergeben sich für $5 \mu\text{m}$ Partikel etwa 4000 bis 10000 theoretische Böden

Ein quantitatives Maß für die Leistungsfähigkeit einer chromatographischen Säule stellt die Zahl der theoretischen Trennstufen N bzw. die Höhe einer theoretischen Trennstufe H dar.

→ Je mehr Böden bzw. je niedriger die Bodenhöhe, desto besser für die Trennung komplexer Gemische.

Das Trennstufenmodell führt den Begriff der Effizienz ein. Erläutern Sie den Begriff in diesem Zusammenhang....



Ein quantitatives Maß für die Leistungsfähigkeit einer chromatographischen Säule stellt die Zahl der theoretischen Trennstufen N bzw. die Höhe einer theoretischen Trennstufe H dar.

→ **Je mehr Böden bzw. je niedriger die Bodenhöhe, desto besser für die Trennung komplexer Gemische.**

Kapillarsäulen
(250 – 500 μm) - \emptyset
SP als dünner Film an der Innenoberfläche
$N = 1000 - 4000$ (pro m Säule)
$H = 250-1000 \mu\text{m}$



niedriger als in der LC!
da aber idR Säulen 30 m eingesetzt werden ist die Trennleistung besser als in der LC

Die einzelnen Effekte, die zu einer Bandenverbreiterung bei chromatographischen Prozessen führen, werden in Erweiterung des theoretischen Trennstufenmodells in der allgemeinen Theorie der Nichtgleichgewichte von J. C. Giddings behandelt. Nennen Sie ideale Verhältnisse, die eine niedrige Trennstufenhöhe zur Folge haben:

Die einzelnen Effekte, die zu einer Bandenverbreiterung bei chromatographischen Prozessen führen, werden in Erweiterung des theoretischen Trennstufenmodells in der allgemeinen Theorie der Nichtgleichgewichte von J. C. Giddings behandelt. Nennen Sie ideale Verhältnisse, die eine niedrige Trennstufenhöhe zur Folge haben:

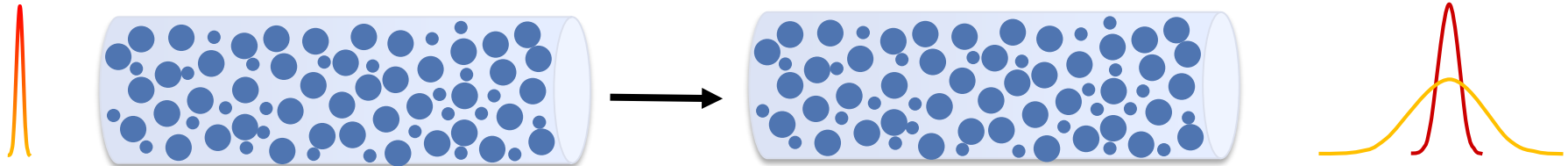
- **bei einer sofortigen (ungehemmten) Gleichgewichtseinstellung zwischen mobiler und stationärer Phase,**
- **einer konstanten Geschwindigkeit der mobilen Phase,**
- **einer konstanten Temperatur im gesamten Bereich der Trennstrecke,**
- **vor allem bei zu vernachlässigenden Diffusionseffekten sowie**
- **bei linearen Adsorptions- bzw. Verteilungsisothermen.**

- a) Erklären Sie die Peakverbreiterung bei der Flüssigchromatographie anhand der Eddy-Diffusion.
- b) Berechnen Sie den Wert für die Streudiffusion für eine $5\ \mu\text{m}$ und für eine $1,7\ \mu\text{m}$ Partikelpackung.
- c) Zeichnen Sie für beide Partikelgrößen die Streudiffusion in ein H/u – Diagramm
- d) Welchen Einfluss hat die Longitudinaldiffusion auf die Höhe eines theoretischen Bodens? Zeichnen Sie das entsprechende H/u – Diagramm.
- e) Von welchen Faktoren ist die Longitudinaldiffusion abhängig?
- f) Welchen Einfluss hat der Massenaustausch bei der Chromatographie auf die Bodenhöhe bei steigender Flussgeschwindigkeit? Zeichnen Sie dies ebenfalls in das H/u Diagramm ein.
- g) Fassen Sie die einzelnen Terme in der van-Deemter-Gleichung zusammen und zeichnen sie das resultierende Diagramm.

- a) Erklären Sie die Peakverbreiterung bei der Flüssigchromatographie anhand der Eddy-Diffusion.

Eddy-Diffusion / Streudiffusion (A-Term):

Teilchen legen unterschiedlich lange Wege zurück!



Van-Deemter-Gleichung

$$H = A + \frac{B}{u} + C \cdot u$$

↓ ↓ ↓
Streu- Längs- Massen-
diffusion diffusion austausch

b) und c)

Van-Deemter-Gleichung

$$A = 2 \cdot \lambda \cdot d_p$$

↓ ↓
Konstante, die statistische Unregelmäßigkeit der Packung berücksichtigt.
In der LC (experimentell ermittelt): $\lambda \approx 1,5$ Teilchendurchmesser

$$H = A + \frac{B}{u} + C \cdot u$$

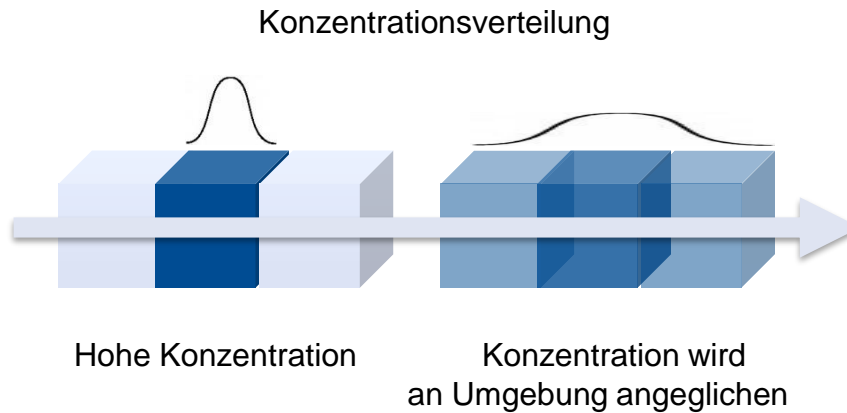
↓ ↓ ↓
Streu- Längs- Massen-
diffusion diffusion austausch

$$A(5 \mu\text{m}) = 2 \cdot 1,5 \cdot 5 \mu\text{m} = 15 \mu\text{m}$$

$$A(1,7 \mu\text{m}) = 2 \cdot 1,5 \cdot 1,7 \mu\text{m} = 5,1 \mu\text{m}$$



d) und e)



Van-Deemter-Gleichung

$$H = A + \frac{B}{u} + C \cdot u$$

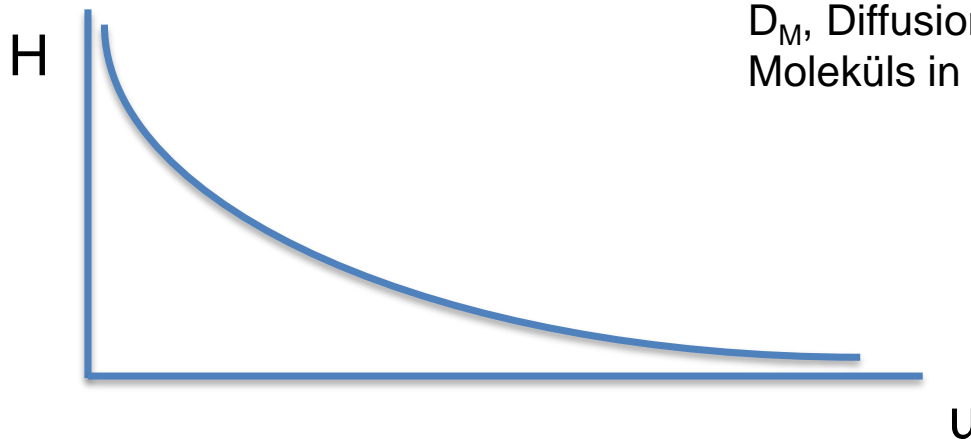
↓
↓
↓

Streu- Längs- Massen-
 diffusion diffusion austausch

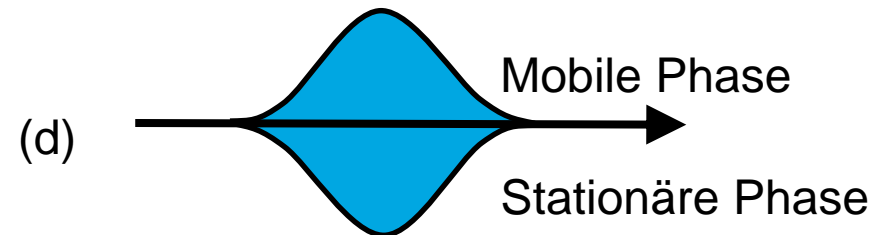
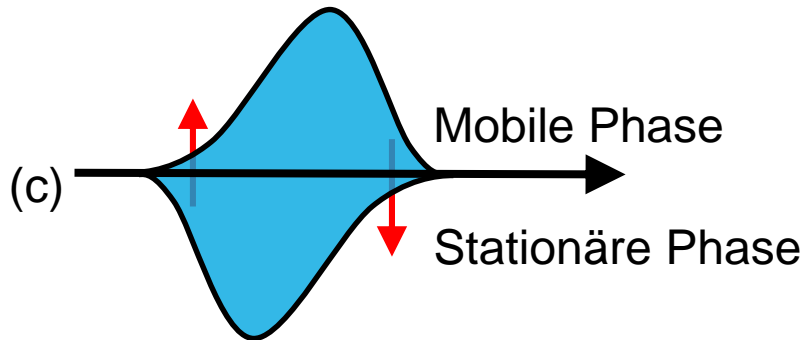
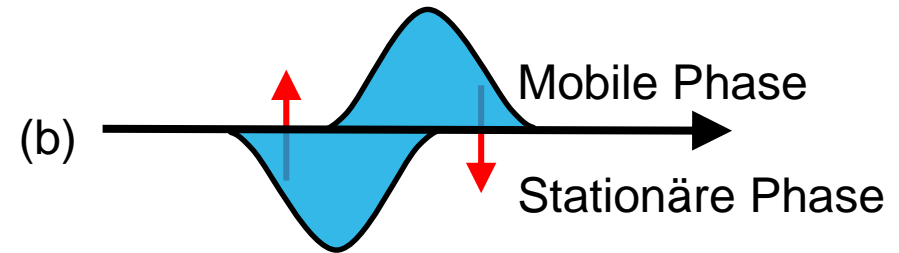
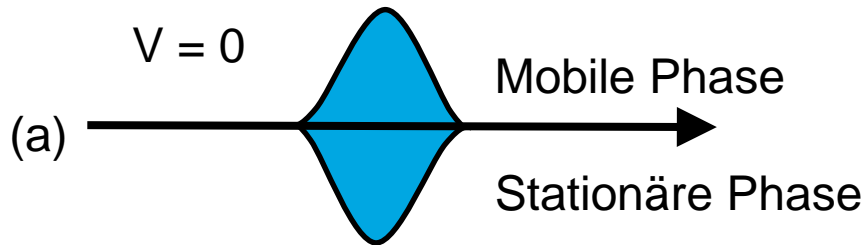
$$B = 2 \gamma D_M$$

γ , Labyrinthfaktor (1 bei Kapillarsäulen und ca. 0,6 bei gepackten Säulen)

D_M , Diffusionskoeffizient eines Moleküls in der mobilen Phase



f)

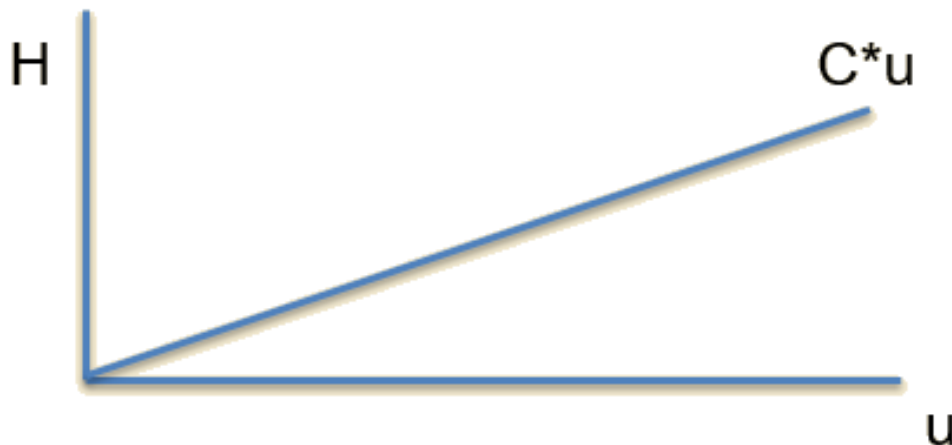


f)

→ Beschreibt den eigentlichen chromatographischen Effekt

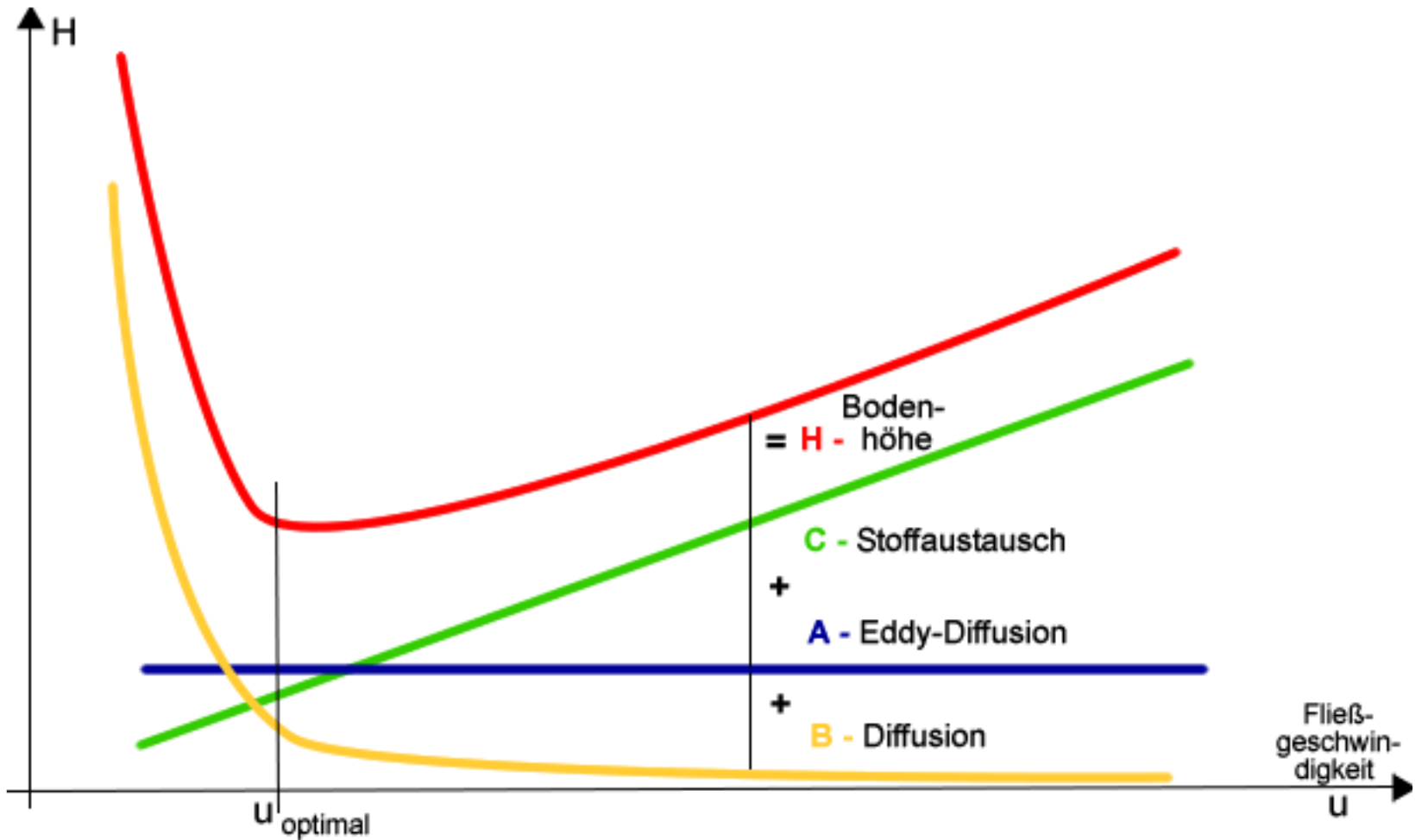
Durch die Zahl und Intensität der Wechselwirkungen der Probenbestandteile mit der stationären Phase kommt es zu einer Verzögerung der Bewegung der Stoffteilchen → Trennung

$$C = C_{MP} \cdot \sqrt{u} + C_{SP} \cdot u$$



Aufgabe 4 - Lösung

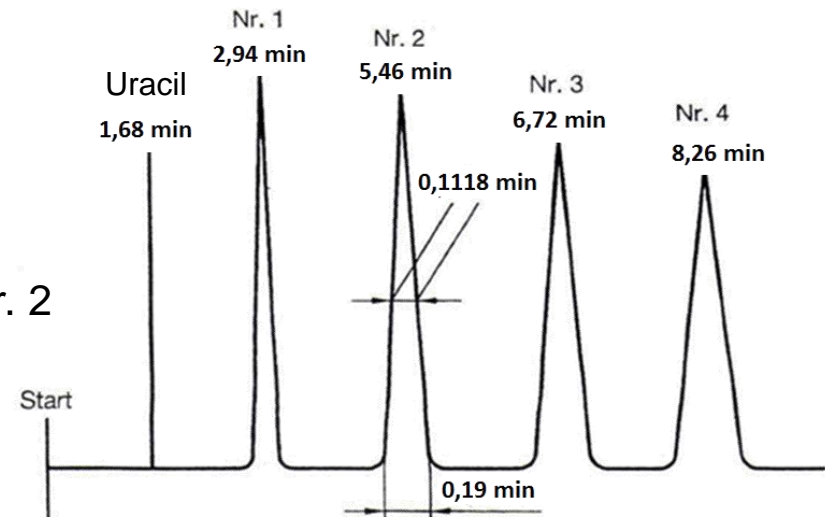
g)



Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inertschubstanz (keine Wechselwirkung mit der stationären Phase) eingesetzt. Säulenlänge: 25 cm

Ermitteln Sie aus dem Chromatogramm die folgenden Werte:

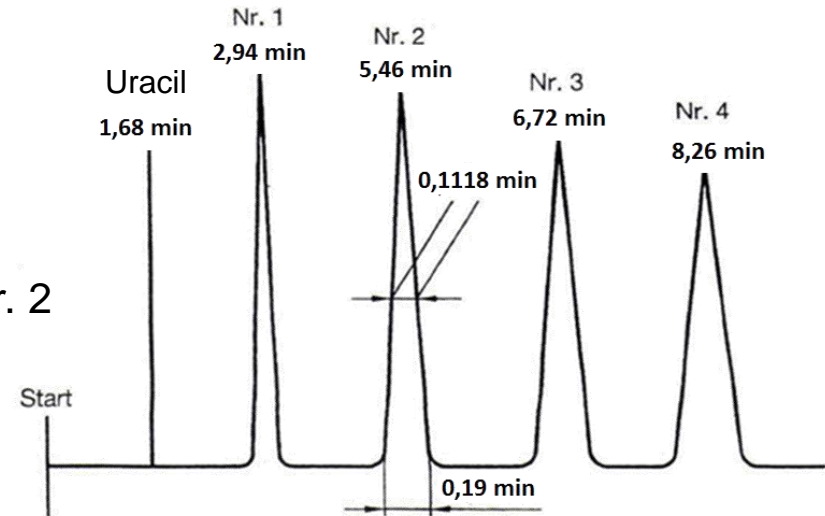
- Durchflusszeit („Totzeit“)
- Lineargeschwindigkeit u (in cm/s)
- Kapazitätsfaktor k von Peak Nr. 2
- Trennfaktor α zwischen Peak Nr. 2 und 3
- Theoretische Trennstufenzahl N
(und –höhe H in cm) bezogen auf Peak Nr. 2



Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inertsubstanz (keine Wechselwirkung mit der stationären Phase) eingesetzt. Säulenlänge: 25 cm

Ermitteln Sie aus dem Chromatogramm die folgenden Werte:

- Durchflusszeit („Totzeit“)
- Lineargeschwindigkeit u (in cm/s)
- Kapazitätsfaktor k von Peak Nr. 2
- Trennfaktor α zwischen Peak Nr. 2 und 3
- Theoretische Trennstufenzahl N
(und –höhe H in cm) bezogen auf Peak Nr. 2



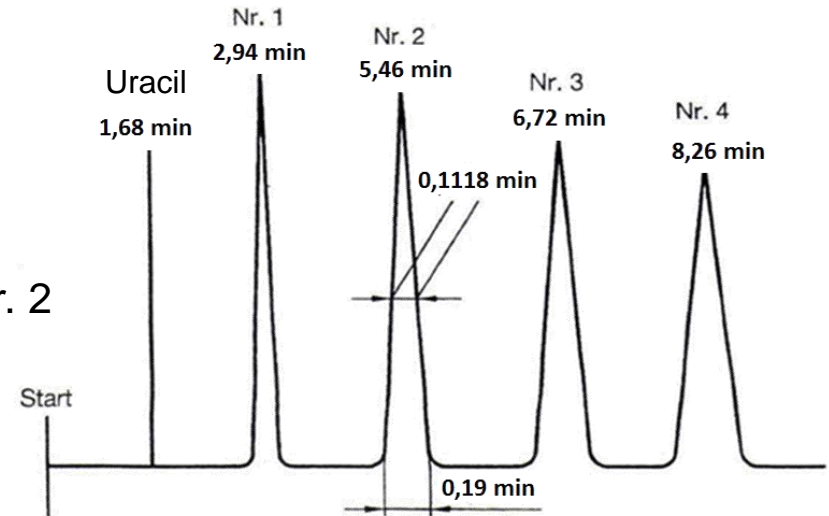
Durchflusszeit („Totzeit“) → kann direkt aus dem Chromatogramm entnommen werden.

$$t_0 = 1,68 \text{ min (100,8 s)}$$

Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inertsubstanz (keine Wechselwirkung mit der stationären Phase) eingesetzt. Säulenlänge: 25 cm

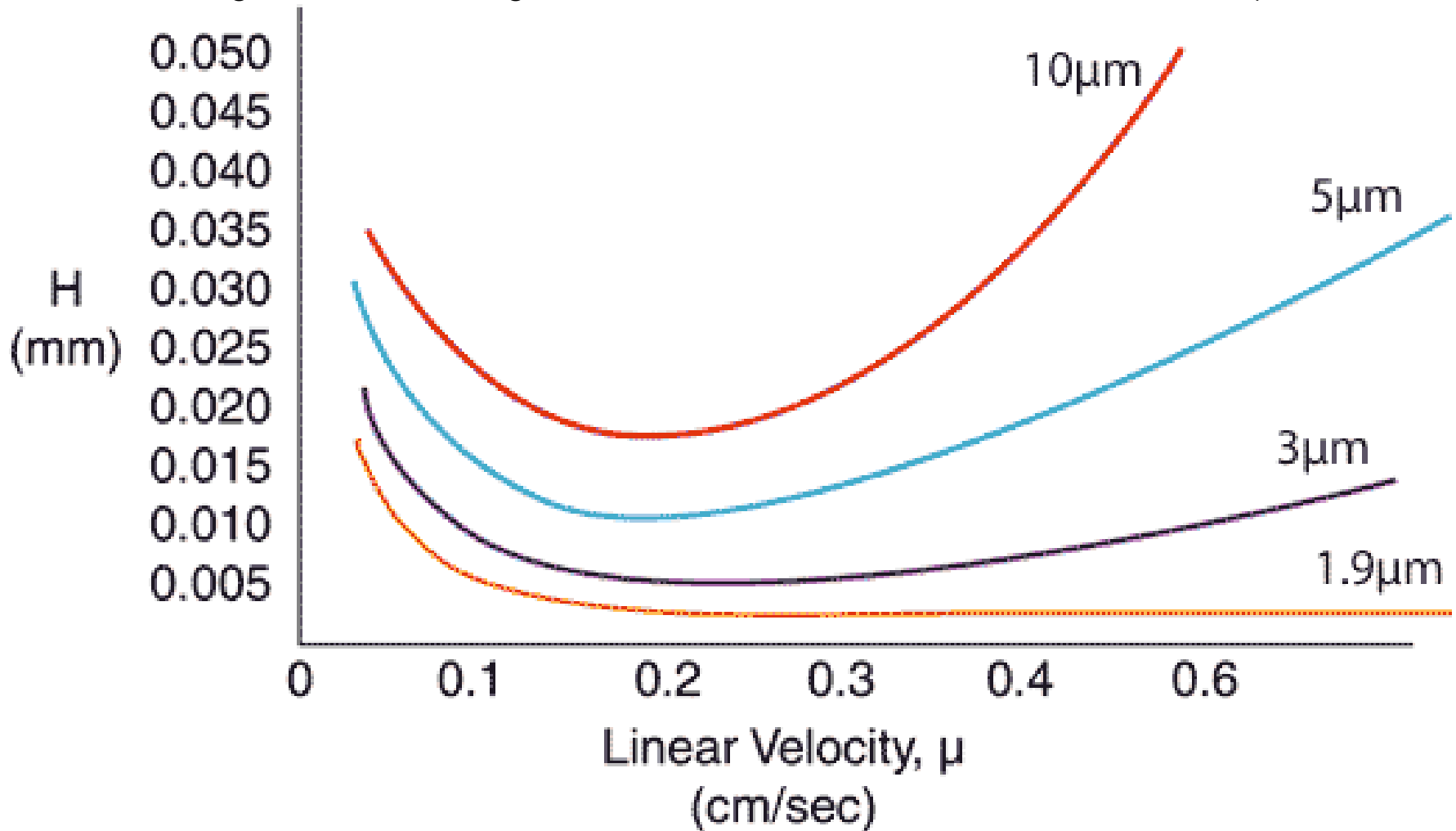
Ermitteln Sie aus dem Chromatogramm die folgenden Werte:

- Durchflusszeit („Totzeit“)
- Lineargeschwindigkeit u (in cm/s)
- Kapazitätsfaktor k von Peak Nr. 2
- Trennfaktor α zwischen Peak Nr. 2 und 3
- Theoretische Trennstufenzahl N
(und –höhe H in cm) bezogen auf Peak Nr. 2



$$\text{Lineargeschwindigkeit } u = \frac{L}{t_0} = \frac{25 \text{ cm}}{100,8 \text{ s}} = 0,25 \text{ cm/s}$$

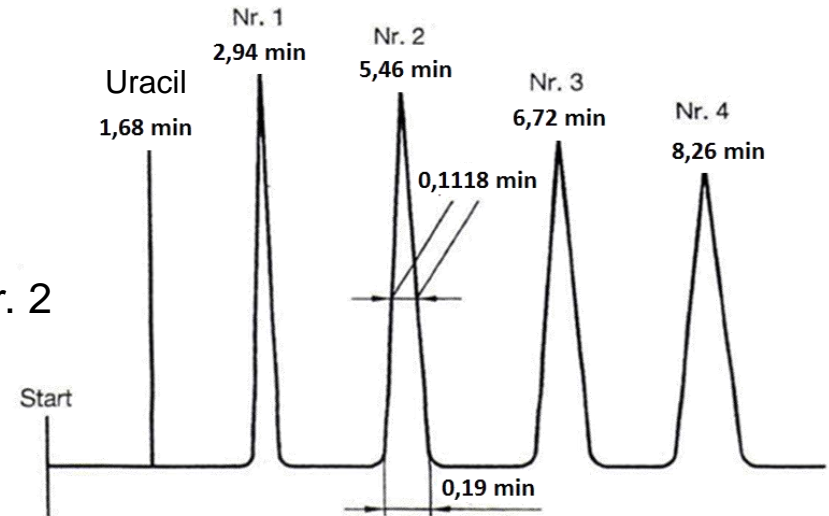
Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inertsubstanz (keine



Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inerts substanz (keine Wechselwirkung mit der stationären Phase) eingesetzt. Säulenlänge: 25 cm

Ermitteln Sie aus dem Chromatogramm die folgenden Werte:

- Durchflusszeit („Totzeit“)
- Lineargeschwindigkeit u (in cm/s)
- Kapazitätsfaktor k von Peak Nr. 2
- Trennfaktor α zwischen Peak Nr. 2 und 3
- Theoretische Trennstufenzahl N
(und –höhe H in cm) bezogen auf Peak Nr. 2

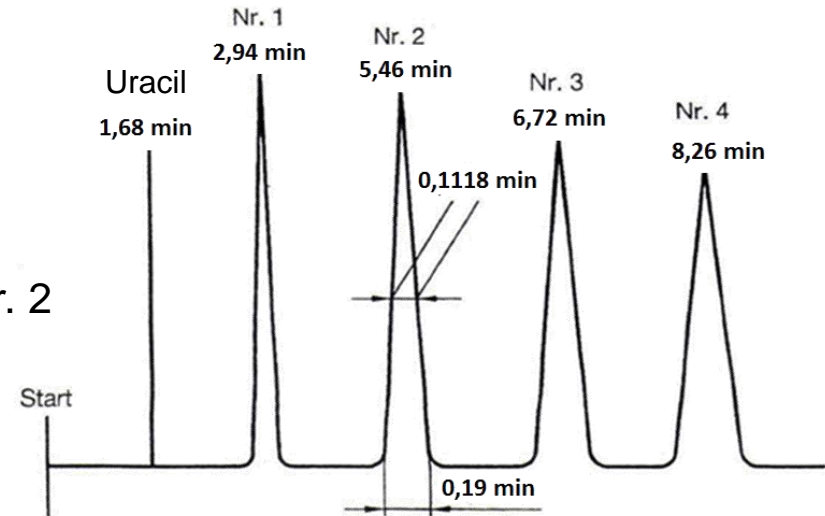


$$\text{Kapazitätsfaktor } k = \frac{t_{r2}}{t_0} = \frac{t_{r2} - t_0}{t_0} = \frac{5,46 \text{ min} - 1,68 \text{ min}}{1,68 \text{ min}} = 2,25$$

Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inertsubstanz (keine Wechselwirkung mit der stationären Phase) eingesetzt. Säulenlänge: 25 cm

Ermitteln Sie aus dem Chromatogramm die folgenden Werte:

- Durchflusszeit („Totzeit“)
- Lineargeschwindigkeit u (in cm/s)
- Kapazitätsfaktor k von Peak Nr. 2
- Trennfaktor α zwischen Peak Nr. 2 und 3
- Theoretische Trennstufenzahl N
(und –höhe H in cm) bezogen auf Peak Nr. 2



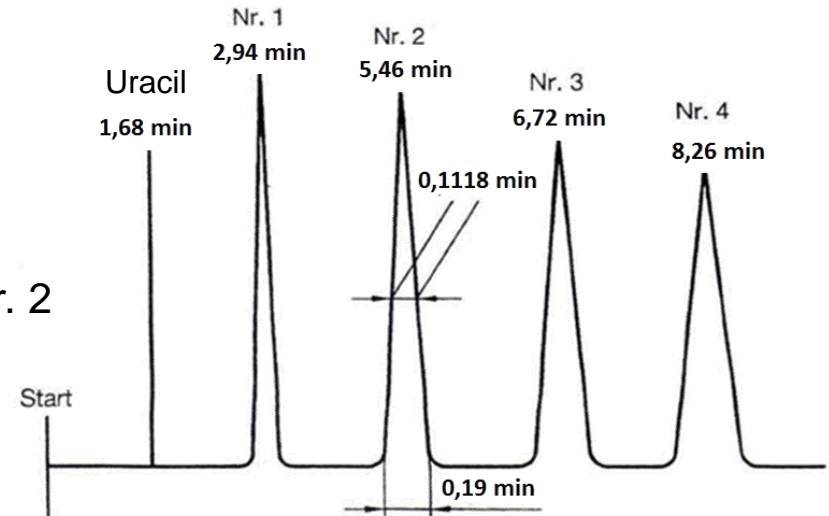
$$\text{Trennfaktor } \alpha = \frac{t_{r3} - t_0}{t_0} = \frac{6,72 \text{ min} - 1,68 \text{ min}}{1,68 \text{ min}} = \frac{3,00}{2,25} = 1,33$$

$$\alpha = \frac{k_2}{k_1} = \frac{t'_{r2}}{t'_{r1}} = \frac{t_{r2} - t_0}{t_{r1} - t_0}$$

Sie haben folgendes Chromatogramm erhalten. Uracil wurde als Inertsubstanz (keine Wechselwirkung mit der stationären Phase) eingesetzt. Säulenlänge: 25 cm

Ermitteln Sie aus dem Chromatogramm die folgenden Werte:

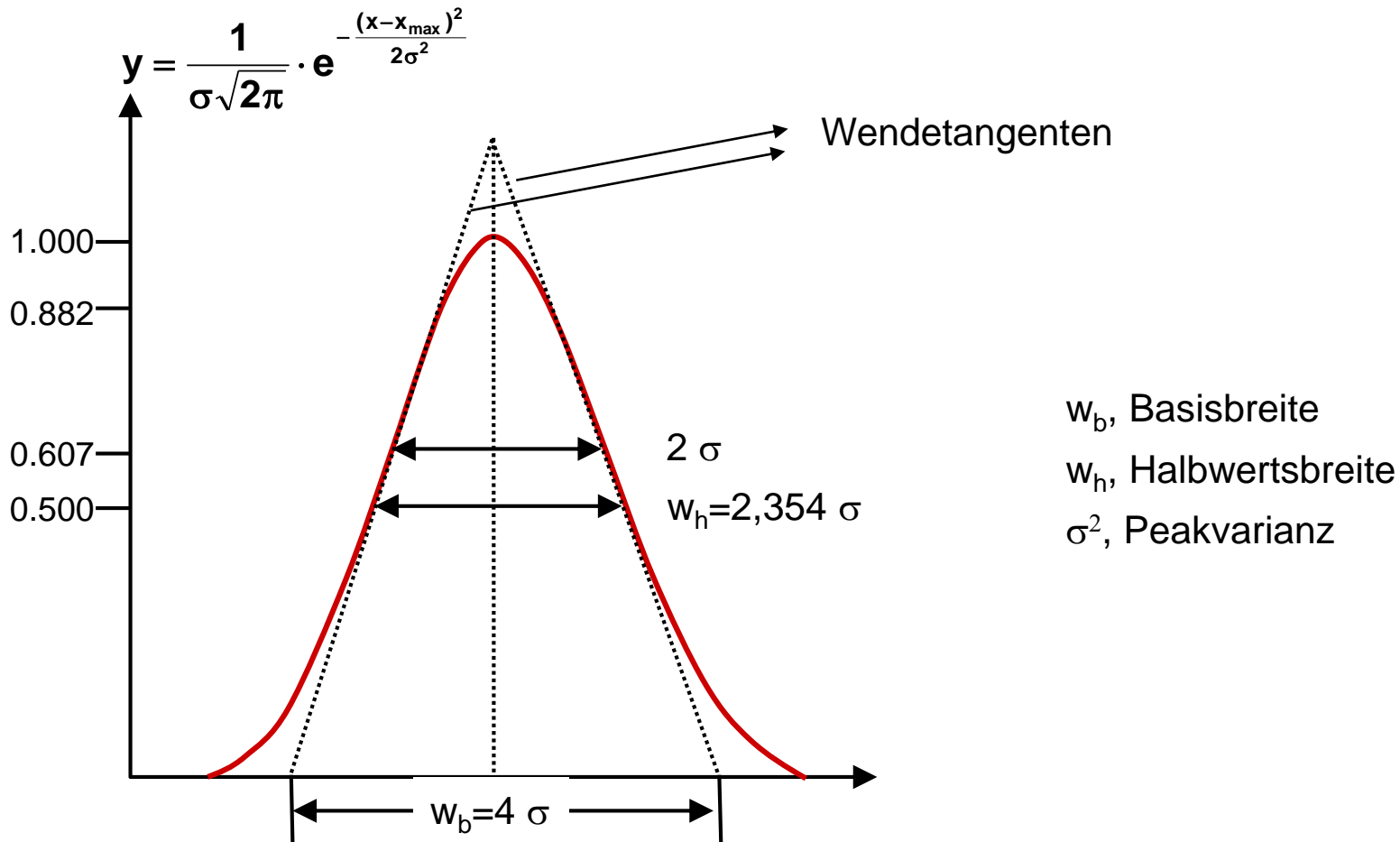
- Durchflusszeit („Totzeit“)
- Lineargeschwindigkeit u (in cm/s)
- Kapazitätsfaktor k von Peak Nr. 2
- Trennfaktor α zwischen Peak Nr. 2 und 3
- Theoretische Trennstufenzahl N
(und –höhe H in cm) bezogen auf Peak Nr. 2



Theoretische Trennstufenzahl N_{th}

$$N = 5,54 \cdot \left(\frac{t_r}{b_{0,5}} \right)^2 = 5,54 \cdot \left(\frac{5,46 \text{ min}}{0,1118 \text{ min}} \right)^2 = 13213$$

$$H = \frac{L}{N} = \frac{25 \text{ cm}}{13213} = 0,0019 \text{ cm} = 19 \mu\text{m}$$



$W_{1/2}$ oder W_h Peakbreite auf halber Höhe $W_{1/2} = 2,354\sigma$ (oft auch als $b_{0,5}$ bezeichnet)
 W_b Basisbreite des Peaks $W_b = 4\sigma$ (durch Einzeichnen der Tangenten der Wendepunkte)

Nennen Sie eine Fundamentalgleichung der Chromatographie und erläutern Sie jeden Term der Gleichung. Erläutern Sie dabei auch, wie Sie die einzelnen Terme in der Praxis beeinflussen können (z.B. in der GC und/oder LC).

Nennen Sie eine Fundamentalgleichung der Chromatographie und erläutern Sie jeden Term der Gleichung. Erläutern Sie dabei auch, wie Sie die einzelnen Terme in der Praxis beeinflussen können (z.B. in der GC und/oder LC).

(eine) Fundamentalgleichung der Chromatographie

$$R_s = \frac{1}{4} \underbrace{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)}_{\text{Selektivitäts-}} \underbrace{\left(\frac{k}{k + 1} \right)}_{\text{Verzögerungs-}} \underbrace{\sqrt{N}}_{\text{Effizienz-}} \text{term}$$

Nennen Sie eine Fundamentalgleichung der Chromatographie und erläutern Sie jeden Term der Gleichung. Erläutern Sie dabei auch, wie Sie die einzelnen Terme in der Praxis beeinflussen können (z.B. in der GC und/oder LC).

Einfluss von α (Selektivitätsterm):

Der Selektivitätsterm beeinflusst die Trennung am stärksten.

Geringe Änderungen der Selektivität bewirken große Änderungen von R_s .

→ Veränderung der Selektivität in der Praxis:

bei LC → Änderung der MP (z.B. MeOH anstatt ACN) und SP (z. B PFP anstatt C18)

bei GC → Änderung der SP (z.B. durch modifizierte Polysiloxane)

$$R_s = \frac{1}{4} \underbrace{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)}_{\text{Selektivitäts-}} \underbrace{\left(\frac{k}{k + 1} \right)}_{\text{Verzögerungs-}} \underbrace{\sqrt{N}}_{\text{Effizienz-}}$$

Nennen Sie eine Fundamentalgleichung der Chromatographie und erläutern Sie jeden Term der Gleichung. Erläutern Sie dabei auch, wie Sie die einzelnen Terme in der Praxis beeinflussen können (z.B. in der GC und/oder LC).

Einfluss von α (Selektivitätsterm):

Der Selektivitätsterm beeinflusst die Trennung am stärksten.

Geringe Änderungen der Selektivität bewirken große Änderungen von R_S .

→ Veränderung der Selektivität in der Praxis:

bei LC → Änderung der MP (z.B. MeOH anstatt ACN) und SP (z. B PFP anstatt C18)

bei GC → Änderung der SP (z.B. durch modifizierte Polysiloxane)

Einfluss von k (Verzögerungsterm):

Der Verzögerungsterm hat nur Einfluss auf R_S bei kleinen k -Werten und schnellen Trennungen.

→ Veränderung der Retention (Verzögerungsterm) in der Praxis:

bei LC → Änderung der Verhältnisse der MP (z.B. 10% MeOH anstatt 50% MeOH)

bei GC → Änderung der SP (z.B. dickere SP)

$$R_s = \frac{1}{4} \underbrace{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)}_{\text{Selektivitäts-}} \underbrace{\left(\frac{k}{k + 1} \right)}_{\text{Verzögerungs-}} \underbrace{\sqrt{N}}_{\text{Effizienz-}}$$

Nennen Sie eine Fundamentalgleichung der Chromatographie und erläutern Sie jeden Term der Gleichung. Erläutern Sie dabei auch, wie Sie die einzelnen Terme in der Praxis beeinflussen können (z.B. in der GC und/oder LC).

Einfluss von α (Selektivitätsterm):

Der Selektivitätsterm beeinflusst die Trennung am stärksten.

Geringe Änderungen der Selektivität bewirken große Änderungen von R_S .

→ Veränderung der Selektivität in der Praxis:

bei LC → Änderung der MP (z.B. MeOH anstatt ACN) und SP (z. B PFP anstatt C18)

bei GC → Änderung der SP (z.B. durch modifizierte Polysiloxane)

$$R_s = \frac{1}{4} \underbrace{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)}_{\text{Selektivitäts-}} \underbrace{\left(\frac{k}{k + 1} \right)}_{\text{Verzögerungs-}} \underbrace{\sqrt{N}}_{\text{Effizienz-}}$$

Einfluss von k (Verzögerungsterm):

Der Verzögerungsterm hat nur Einfluss auf R_S bei kleinen k -Werten und schnellen Trennungen.

→ Veränderung der Retention (Verzögerungsterm) in der Praxis:

bei LC → Änderung der Verhältnisse der MP (z.B. 10% MeOH anstatt 50% MeOH)

bei GC → Änderung der SP (z.B. dickere SP)

Einfluss von N (Effizienzterm):

Der Effizienzterm gibt die Trennleistung einer Säule an.

→ Veränderung der Effizienz (Effizienzterm) in der Praxis:

bei LC/GC → Änderung der Säulenparameter da:

LC: kleiner Partikel oder längere Säule

GC: längere Säule

$$\sqrt{N} = \sqrt{\frac{L}{H}}$$

Sie möchten chromatographisch zwei Substanzen (A und B) voneinander trennen.

Die Retentionszeiten (Korrigierte Retentionszeit; Netto-Retentionszeit) der Substanzen A und B betragen 11,7 und 12,8 Minuten. Berechnen Sie ob die Peaks bei einer effektiven Trennstufenzahl von 35142 „Basislinien getrennt“ sind.

Sie möchten chromatographisch zwei Substanzen (A und B) voneinander trennen.

Die Retentionszeiten (Korrigierte Retentionszeit; Netto-Retentionszeit) der Substanzen A und B betragen 11,7 und 12,8 Minuten. Berechnen Sie ob die Peaks bei einer effektiven Trennstufenzahl von 35142 „Basislinien getrennt“ sind.

$$\alpha = \frac{t'(B)}{t'(A)} = \frac{12,8}{11,7} = 1,094$$

$$R_s = \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right) \sqrt{N_{\text{eff}}}$$

$$R_s = \frac{1}{4} \left(\frac{1,094 - 1}{1,094} \right) * \sqrt{35142} = \frac{1}{4} (0,086) * 187,5 = 4,031 = \underline{4,03}$$

Die Peaks sind Basisliniengetrennt, da $R_s > 1,5$.

Bei ansonsten unveränderten GC Bedingungen wurde, zur Verbesserung der Auflösung, die 15 Meter lange Säule durch eine längere Säule ersetzt.

Die Auflösung wurde dadurch um den Faktor 2 verbessert.

Wie lang ist die jetzt verwendete GC-Säule?

Bei ansonsten unveränderten GC Bedingungen wurde, zur Verbesserung der Auflösung, die 15 Meter lange Säule durch eine längere Säule ersetzt.

Die Auflösung wurde dadurch um den Faktor 2 verbessert.

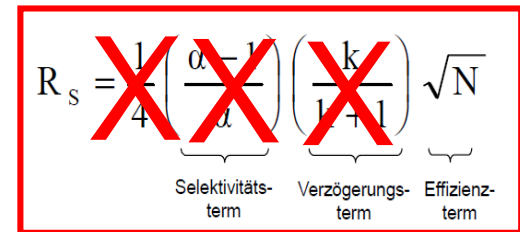
Wie lang ist die jetzt verwendete GC-Säule?

$$R_s = \cancel{\frac{1}{4}} \underbrace{\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)}_{\text{Selektivitäts-}} \underbrace{\left(\frac{k}{k+1} \right)}_{\text{Verzögerungs-}} \underbrace{\sqrt{N}}_{\text{Effizienz-}} \text{term}$$

Bei ansonsten unveränderten GC Bedingungen wurde, zur Verbesserung der Auflösung, die 15 Meter lange Säule durch eine längere Säule ersetzt.

Die Auflösung wurde dadurch um den Faktor 2 verbessert.

Wie lang ist die jetzt verwendete GC-Säule?



The diagram shows the resolution equation $R_s = \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right) \left(\frac{k}{1+k} \right) \sqrt{N}$ enclosed in a red box. Large red 'X' marks are placed over the $\frac{1}{4}$, $\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)$, and $\left(\frac{k}{1+k} \right)$ terms. Brackets below the equation identify the terms: 'Selektivitäts-term' under $\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)$, 'Verzögerungs-term' under $\left(\frac{k}{1+k} \right)$, and 'Effizienz-term' under \sqrt{N} .

$$R_{s1} = \sqrt{N_{15m}}$$

$$R_{s2} = \sqrt{N_x} = 2 * R_{s1} = 2 * \sqrt{N_{15m}}$$

$$\sqrt{N_x} = 2 * \sqrt{N_{15m}}$$

$$N_x = (2 * \sqrt{N_{15m}})^2 = 4 * (\sqrt{15 m})^2 \\ = \mathbf{60 m}$$

Das heißt: Um die Auflösung um den Faktor 2 zu verbessern muss die Säulenlänge vervierfacht werden!

Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

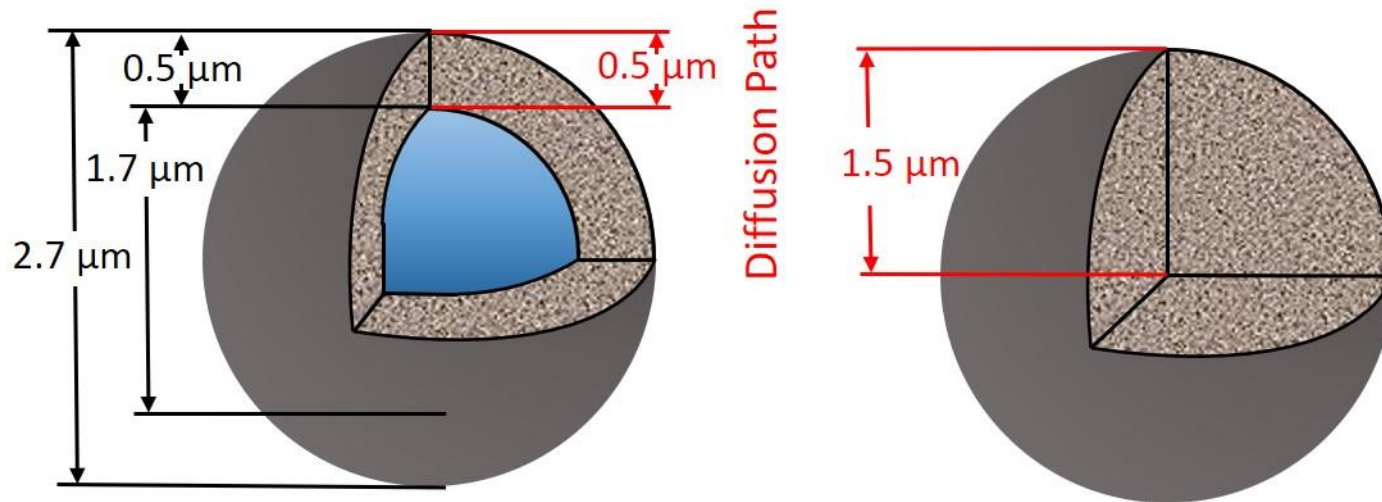
Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?

Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

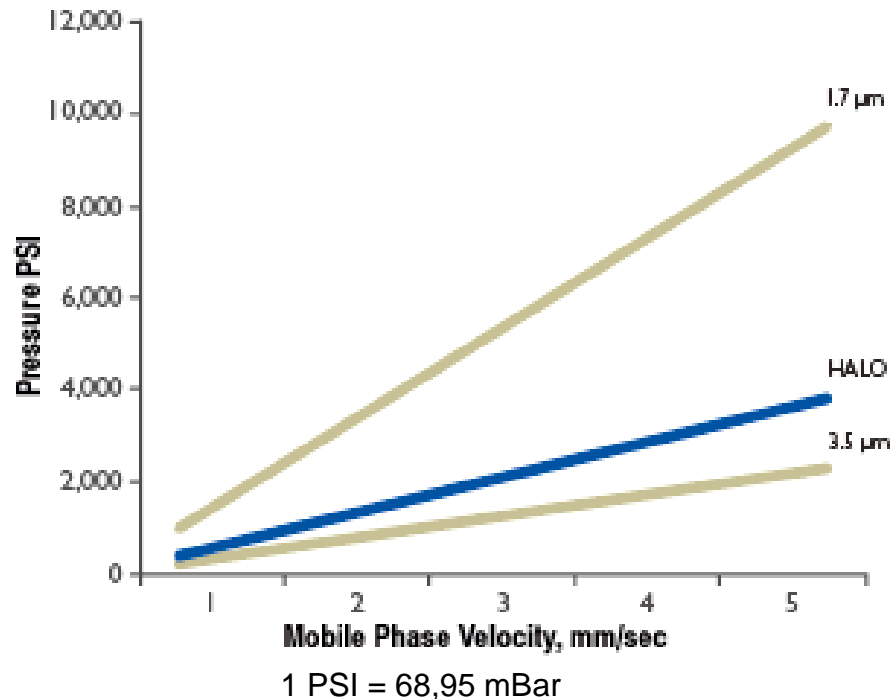
Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?



Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?

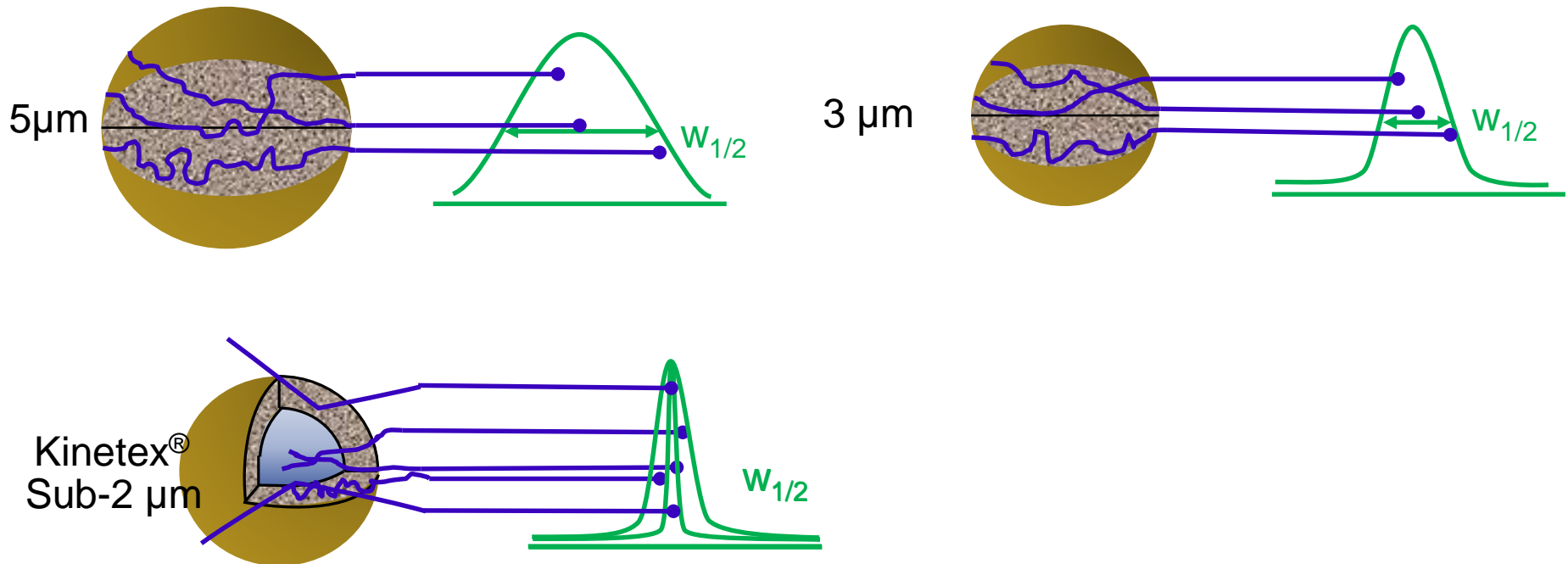


Core-shell-Säulen, wie z. B. die HALO-Säulen, können mit den herkömmlichen HPLC-Anlagen eingesetzt werden, obwohl sie einen leicht höheren Rückdruck als Säulen aufweisen, die mit 3,5 µm-Partikeln gepackt sind.

Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

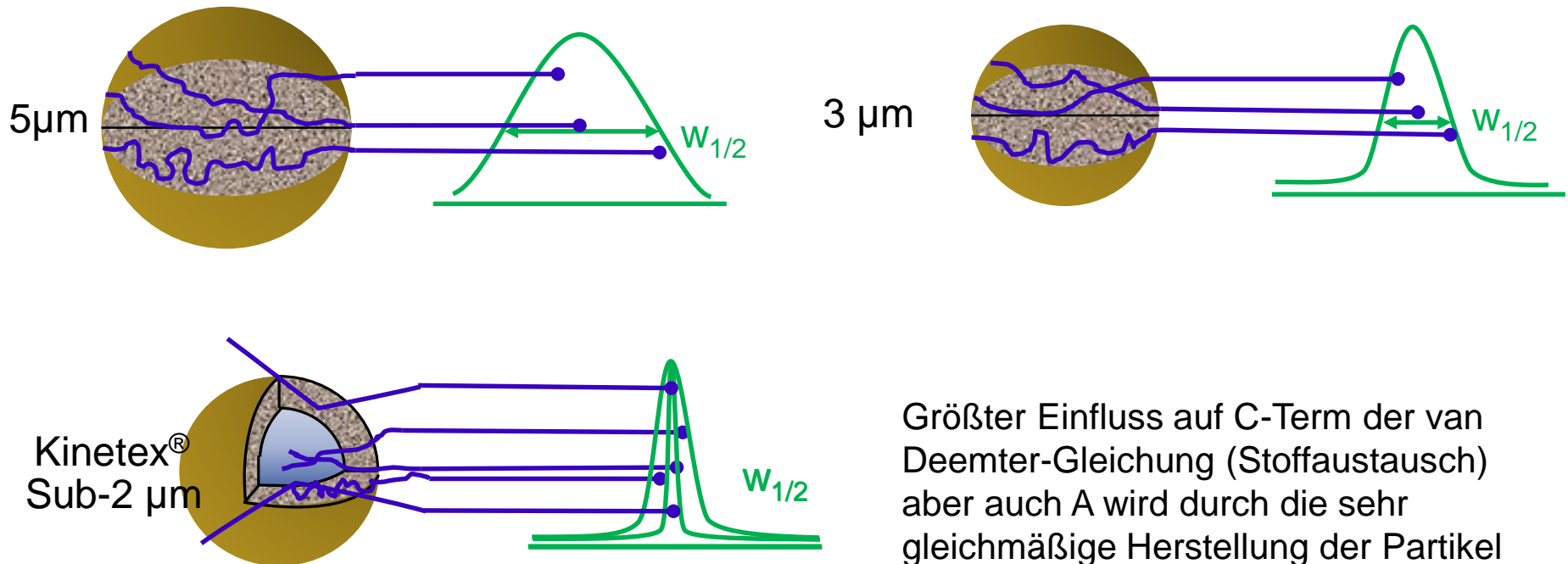
Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?



Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?

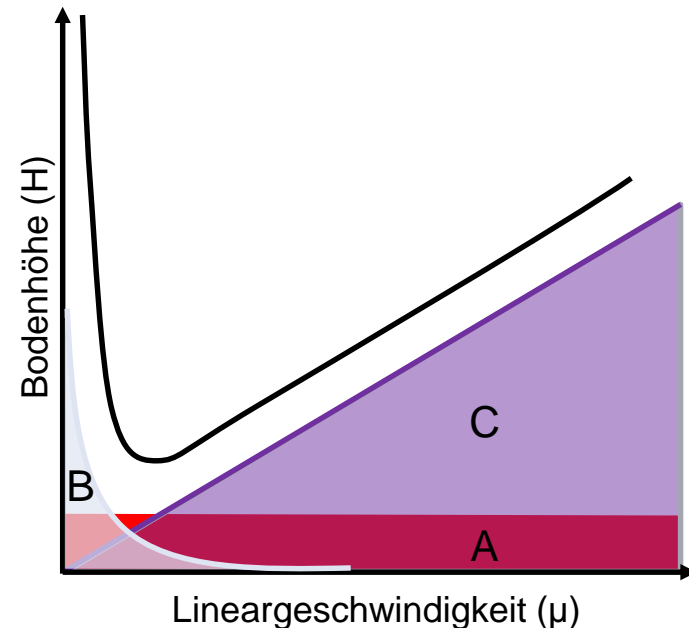
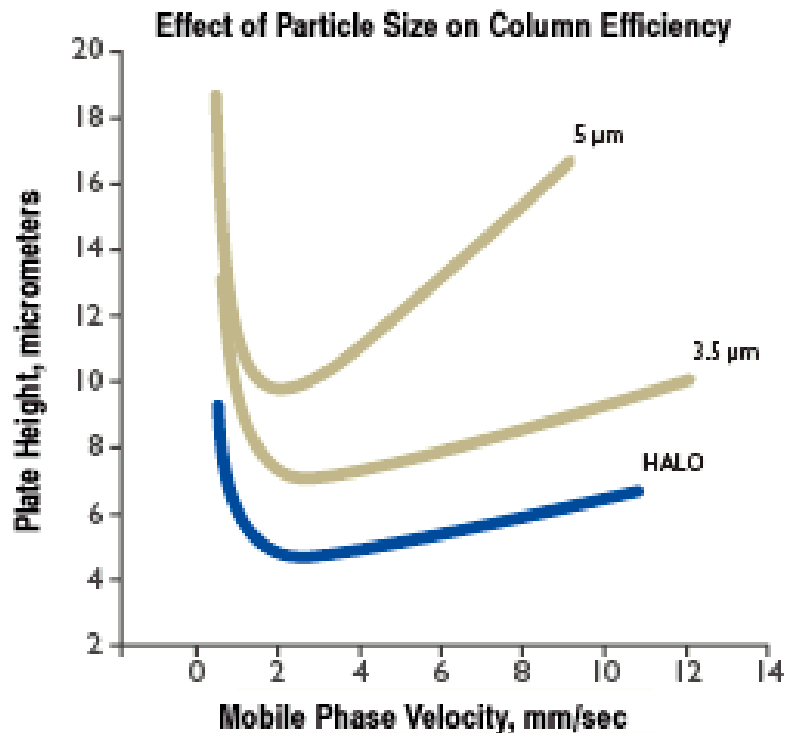


Größter Einfluss auf C-Term der van Deemter-Gleichung (Stoffaustausch) aber auch A wird durch die sehr gleichmäßige Herstellung der Partikel beeinflusst

Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?



Was ist die Besonderheit an Fused-Core (HALO) HPLC-Säulenmaterialien?

Skizzieren Sie einen solchen Core-Partikel und erklären Sie den Unterschied zu einem herkömmlichen Material. Wie wirkt sich dies auf die Chromatographie aus?

Welcher Term der van Deemter-Gleichung wird dadurch am meisten beeinflusst?

