

6 Polymerisatietechnieken

6.1 Inleiding

Bij de productie van polymeren dient men een keus te maken betreffende het toe te passen polymerisatiesysteem en de te gebruiken polymerisatiereactor. Deze keus wordt bepaald door een aantal factoren die min of meer specifiek zijn voor polymeren, zoals:

1. De chemische samenstelling van de ketens moet constant blijven.
2. opvolgende productcharges moeten dezelfde gewenste molecuulgewichtsverdeling bezitten.
3. Zuivering van polymere producten achteraf is onaantrekkelijk.
4. De viscositeit van het medium kan enorm toenemen tijdens polymerisatie.

Men zal ervoor moeten zorgen dat de uitgangsstoffen geen verontreinigingen bevatten die ongecontroleerde inhibitie, ketenstop of vernetting kunnen geven. Bovendien dienen te hoge temperaturen en te lange verblijftijden in de reactor vermeden te worden, omdat thermische degradatie en vorming van onoplosbare afzettingen ook tot inferieure producten kunnen leiden.

Een centraal probleem is de sterk toenemende viscositeit van het medium, hetgeen een direct gevolg is van de stijging van het gemiddelde molecuulgewicht met een factor 100 a 10.000 tijdens de polymerisatie. Stoftransport (diffusie, afvoer van vluchtig reactieproduct) en warmte transport (afvoer reactiewarmte) worden hierdoor aanzienlijk vertraagd en kunnen daarom een beslissende rol spelen bij de keuze van het polymerisatiesysteem.

De voornaamste polymerisatiesystemen zijn massa- of bulkpolymerisatie, oplossingspolymerisatie, suspensiepolymerisatie en emulsiepolymerisatie. Suspensiepolymerisatie en emulsiepolymerisatie zijn heterogene polymerisatiesystemen; massa- en oplossingspolymerisatie behoren tot de homogene systemen, hoewel het wel voorkomt dat gevormd polymeer gaat neerslaan (precipitatiepolymerisatie). De vier polymerisatiesystemen zullen nu achtereenvolgens besproken worden waarna tenslotte enkele minder voorkomende technieken besproken zullen worden.

6.2 Bulkpolymerisatie

Bij *bulkpolymerisatie* (ook wel *massapolymerisatie*) polymeriseert men *onverdund monomeer*. Deze techniek heeft het voordeel dat oplosmiddelen e.d. uitgespaard worden, terwijl het moeizame verwijderen van laatste resten oplosmiddel uit het polymeer ook achterwege kan blijven. Na de massapolymerisatie wordt de polymeersmelt uit de reactor gelost en tot korrels gehakt, die als zodanig aan de verwerker afgeleverd kunnen worden.

Bulkpolymerisatie is een voor de hand liggende en één van de meest toegepaste methodes bij de bereiding van condensatiepolymeren (bijv. nylon-6). Bij dit type reactie komt namelijk een betrekkelijk geringe warmte vrij. Bovendien komt de meeste warmte vrij als de viscositeit van het reactiemengsel nog betrekkelijk laag is. Hierdoor kan een goede menging en warmteoverdracht plaatsvinden, bovendien is het ontwijken van lucht/gas bellen bij een lage viscositeit nog goed mogelijk. Controle van een dergelijk polymerisatiesysteem is dus betrekkelijk eenvoudig.

Bulkpolymerisatie bij een kettingreactie is moeilijker. De reactie is over het algemeen sterk exotherm en de reactiesnelheid is sterk temperatuurafhankelijk, temeer daar de ontledingssnelheid van de initiator sterk temperatuurafhankelijk is. Bij dit type polymerisatie wordt de viscositeit al in het begin van de reactie vrij groot en de warmte afvoer wordt daardoor problematisch. Daardoor kunnen zeer *gelocaliseerde temperatuursverhogingen* optreden, de zogenaamde "*hot-spots*", waardoor een slecht product ontstaat. Deze effecten worden nog versterkt bij het optreden van het "*Trommsdorff-effect*" (zie H4), waarbij polymerisatiesnelheid én viscositeit versneld toenemen. In de praktijk wordt bulkpolymerisatie bij polymeren die worden gevormd door kettingreacties dan ook niet of nauwelijks toegepast. Styreen, vinylacetaat en methacrylzure esters vormen hierop een uitzondering. Vaak past men dan een "truc" toe door deze systemen te produceren in een geroerd continu bulksysteem met een lage conversie en daarna het overgebleven monomeer te recyclen.

Voor *thermoharders* is bulkpolymerisatie *de enige mogelijkheid*, omdat na uitharding van de hars een onsmeltbaar product ontstaat dat niet vervormd kan worden.

6.3 Oplossingspolymerisatie

In eerste instantie is het enige verschil tussen oplossingspolymerisatie en bulkpolymerisatie de verlaagde concentratie door de verdunning. Het belangrijkste voordeel van oplossingspolymerisatie is natuurlijk de verlaagde viscositeit van het medium en daaraan gekoppeld de mogelijkheid van *snellere afvoer van reactiewarmte*.

Oplossingspolymerisatie heeft echter *twee belangrijke nadelen*:

1. Er kan *ketenoverdracht naar het oplosmiddel* plaatsvinden.
2. De *moeilijke verwijdering van het oplosmiddel* uit het polymeer.

Indien het gevormde polymeer als oplossing toegepast gaat worden vervalt het genoemde bezwaar van verbruik en verwijdering van oplosmiddel. Daarom wordt deze techniek bij voorkeur toegepast waar gebruik van het polymeer in het oplosmiddel beoogd wordt zoals bij verf, impregneermiddelen, lijmen, het natspinnen van draden en foliegieten.

6.4 Suspensiepolymerisatie

Bij de suspensiepolymerisatie is het monomeer als fijne druppeltjes aanwezig in een continue fase, veelal water. Het polymeer ontstaat als een gedispergeerde vaste fase.

Karakteristiek voor dit systeem zijn twee factoren:

1. De *initiator is opgelost* in de monomeerdruppeltjes.
2. De *kinetiek* is binnen elk monomeerdruppeltje dezelfde *als voor "bulkpolymerisatie"*.

Men zou dus kunnen zeggen dat suspensiepolymerisatie *een watergekoelde "microbulk"-polymerisatie* is.

De diameter van de *monomeerdruppels* is *0.01-0.5 cm*. Dit wordt bereikt door roeren. Indien door roeren voldoende turbulentie heerst óm de druppeltjes en de druppeltjes voldoende groot zijn, ontstaan er in ieder druppeltje twee wervels, zodat er als het ware een groot aantal geroerde reactortjes aanwezig zijn (zie fig. 7.1).

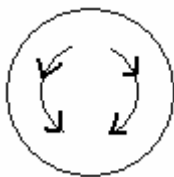
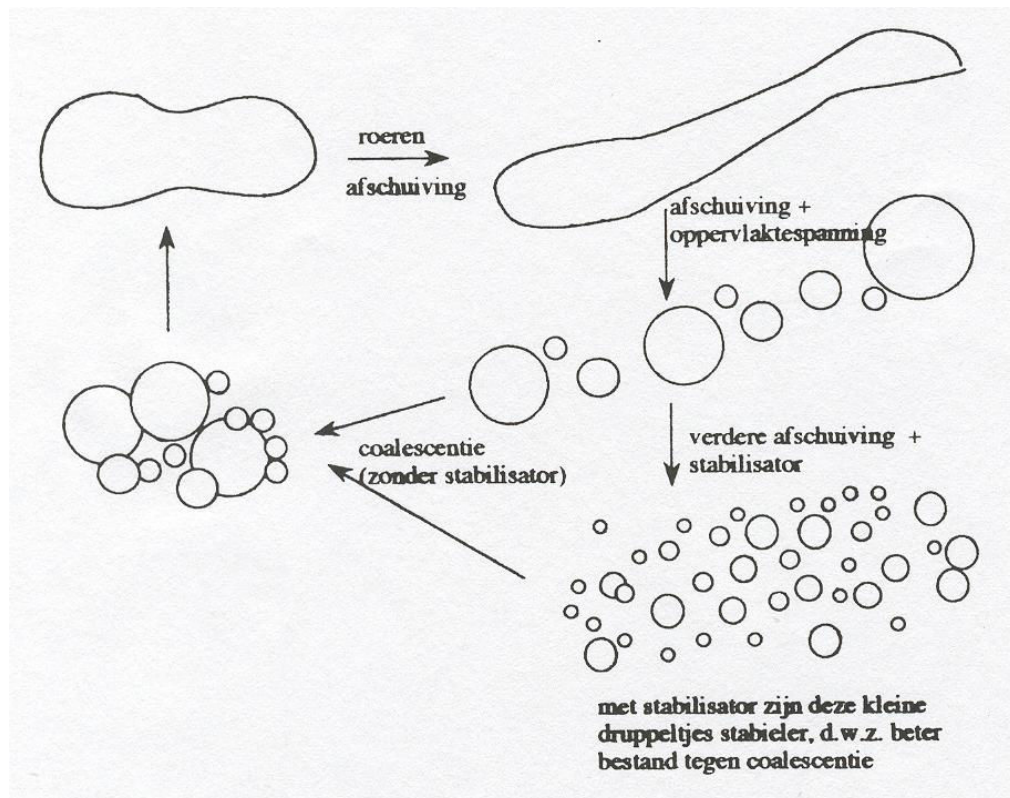


Fig. 7.1. Wervels in een druppel die zich in een geroerd vat bevindt.

Het grote belang van de roersnelheid wordt duidelijk gemaakt in fig. 7.2. De afschuifkrachten in de geroerde vloeistof verlengen de relatief grote druppels en breken hen uiteindelijk op in vele kleine druppeltjes.



Figuur 7.2 Druppelvorming in een geroerde suspensie.

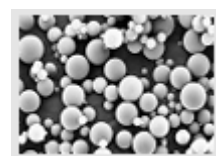
Een *kritiek stadium* breekt aan wanneer de polymerisatie zover is dat het mengsel van monomeer en polymeer in de druppeltjes kleverig wordt. Als de druppels visceus en kleverig worden tijdens de polymerisatie, vertonen zij veel meer *neiging tot coalescentie* (samenklontering) dan in het begin van de polymerisatie, als het nog laagvisceuze druppeltjes zijn, of aan het eind van de polymerisatie wanneer het harde deeltjes zijn geworden. Het is duidelijk dat het volstrekt noodzakelijk is tijdens de polymerisatie voortdurend met constante snelheid te roeren om te voorkomen dat er een grote klomp polymeer ontstaat.

Dit wordt bereikt door roeren in combinatie met *stabilisatoren*. Er zijn drie typen stabilisatoren te onderscheiden:

- organische of anorganische materialen, die de agglomeratie mechanisch onmogelijk maken (da zogenaamde schutcolloïden).
- electrolyten, die de oppervlaktespanning verhogen, waardoor de bolletjes betere bestaansansen hebben.
- Wateroplosbare polymeren, die de viscositeit van de waterfase opvoeren, waardoor agglomeratie ten gevolge van precipitatie wordt tegengegaan.

Door het gebruik van water als dispersiemedium in plaats van organisch oplosmiddel is suspensiepolymerisatie aantrekkelijker dan oplossingspolymerisatie. Bovendien zorgt water voor een nog snellere warmte afvoer. Een bezwaar is de moeilijke verwijdering van emulgatorresten uit het polymeer. De suspensiepolymerisatie wordt vooral gebruikt voor sterk exotherme radicaalpolymerisaties zoals bij de bereiding van PVC, PS en PMMA.

Bij deze polymerisatietechniek bestaat de mogelijkheid om "*polymeerparels*" (zie foto hiernaast) te verkrijgen van iedere gewenste diameter, variërend van enkele micrometers tot verscheidene millimeters. Juist de vorming van deze bolletjes is een unieke eigenschap van de suspensiepolymerisatie.



Figuur 7.3 "Polymeerparels"

6.5 Emulsiopolymerisatie

6.5.1 Kwalitatieve beschouwing van de emulsiopolymerisatie

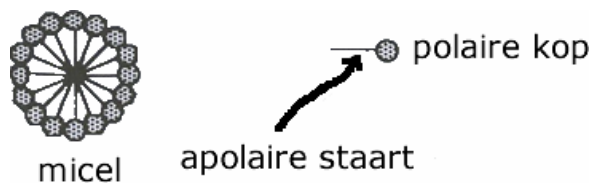
Emulsiopolymerisatie is een belangrijk technologisch proces dat o.a. wordt toegepast bij de polymerisatie van butadiëen, isopreen, vinylacetaat, styreen, vinylchloride, methacrylaten, acrylaten, etheen en acrylonitril en voor de productie van veel copolymeren. Bij deze techniek wordt gebruik gemaakt van het principe van solubilisatie door micel vorming.

Een emulsiopolymerisatiesysteem bestaat uit:

- een dispergerend medium (meestal water)
- een emulgator
- monomeer
- een initiator die oplosbaar is in het dispergerend medium.

(-eventueel ketenoverdragers)

De *emulgator* is een oppervlakte actieve stof die een hydrofiële kop en een hydrofobe staart bevat. In waterige oplossingen vormen de afzonderlijke emulgatormoleculen boven een bepaalde concentratie de zogenaamde micellen (zie figuur 7.3): circa 50 tot 100 moleculen zijn hierin georiënteerd samengebond tot een aggregaat.



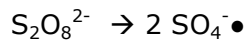
Figuur 7.4 Schematische weergave van een micel.

Bij de *micellen* is de buitenzijde dan hydrofiel en in contact met water en bestaat de kern van de micel uit de hydrofobe staarten: een apolair kerngedeelte dus, dat plaats kan bieden aan apolaire moleculen die zich in het polaire water niet thuisvoelen. Hierin kan dus monomeer gaan zitten tijdens een polymerisatie. Tussen de micellen en de vrije emulgator moleculen in het water bestaat een evenwicht: komt de emulgatorconcentratie beneden de zogenaamde *kritische micel concentratie (KMC)* doordat de oplossing bijvoorbeeld verdund wordt, dan zijn alle emulgator moleculen weer als vrije moleculen aanwezig.

Bij een emulsiopolymerisatie wordt zoveel emulgator toegevoegd dat er aan het begin van de polymerisatie talrijke micellen worden gevormd: ongeveer 10^{18} micellen per ml.

Het *monomeer* dat wordt gebruikt bij een emulsiopolymerisatie is altijd *onoplosbaar in het water*. Indien dus monomeer aan het systeem water + emulgator wordt toegevoegd, dan zal slechts een miniem gedeelte van het monomeer in oplossing gaan. Een iets groter deel van het monomeer "lost op" in de kern van de aanwezige micellen. Het grootste deel van het monomeer is echter aanwezig als gedispergeerde monomeerdruppels in de waterige fase, waarbij de grootte van de druppels wordt bepaald door de mate waarin geroerd wordt. Deze monomeerdruppels worden (beperkt) gestabiliseerd door adsorptie van emulgatormoleculen aan het oppervlak.

De *initiator* bevindt zich in de waterfase en daar worden dus ook de radicalen gevormd. Veel gebruikte initiators zijn kaliumpersulfaat, ammoniumpersulfaat en diverse azo-verbindingen. De radicaalvorming vindt plaats door thermische ontleding, bijvoorbeeld:



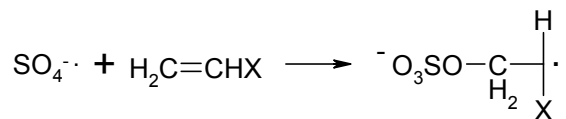
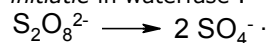
De ontleding van peroxide type initiators wordt sterk versneld door de aanwezigheid van een reductiemiddel. Meest gebruikt is het persulfaat-ijzer redox systeem:



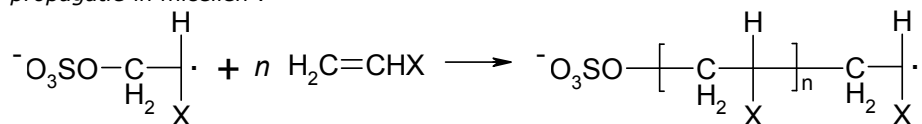
De snelheid van radicaalvorming ligt in de orde van 10^{13} radicalen per ml per seconde. Deze in het water gevormde radicalen diffunderen door de waterfase waar ze of monomeerdruppels of met monomeer gezwollen micellen kunnen tegenkomen. Omdat het aantal micellen (10^{18} per ml) veel groter is dan het aantal monomeerdruppels ($\pm 10^6 - 10^9$ per ml) is *de kans dat een radicaal onderweg het eerst een micel tegenkomt het grootst*. Dit ondanks het feit dat de monomeerdruppels in het begin veel groter zijn. Verklaring: de oppervlakte/volume verhouding is voor de monomeergezwollen micellen door hun grote aantal vele malen groter als voor de monomeerdruppels.

In een micel met monomeer en radicaal vindt polymerisatie plaats door aanvoer van monomeer uit de oplossing. Het reactieschema ziet er als volgt uit:

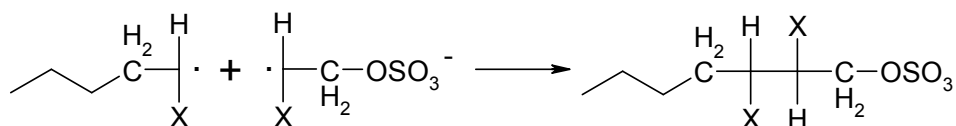
initiatie in waterfase :



propagatie in micellen :



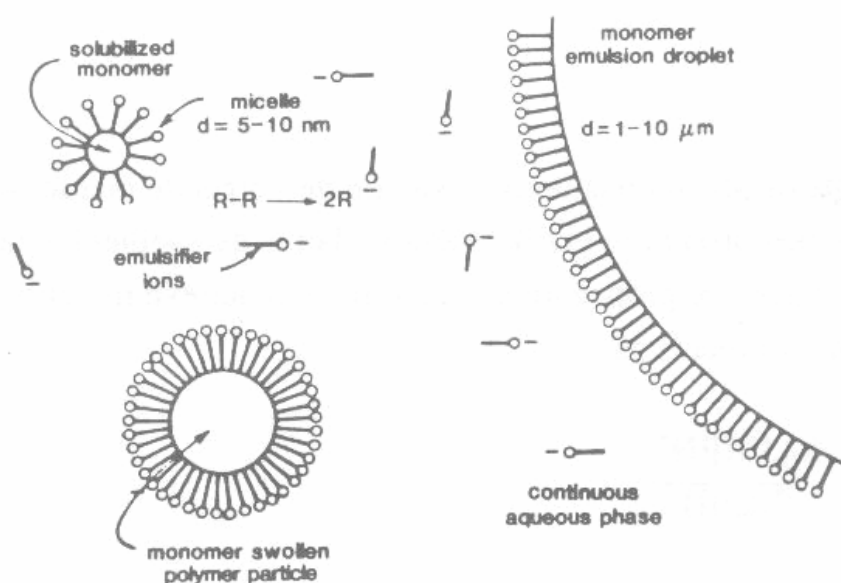
terminatie in micellen :



Het geïnitieerde monomeer treft een micel en reageert met de daarin gesolubiliseerde monomeren verder tot een lange keten. Per micel groeit maar èèn keten tegelijk. Deze propagatie zet zicht voort totdat er èèn volgend radicaal vanuit de waterfase binnenkomt waarmee *direct* terminatie door combinatie optreedt. De polymerisatie treedt in zo'n micel pas weer op nadat weer een radicaal binnengekomen is, enzovoort. De perioden van wel en geen polymerisatie in een micel zijn van de orde van 10 seconden. De *polymeër bevattende micellen* worden ook wel *latexdeeltjes* genoemd en deze deeltjes zullen groeien zolang het in polymeer omgezette monomeer aangevuld wordt. Dit gebeurt door diffusie van nieuw monomeer vanuit de monomeerdruppels via de waterfase naar de micellen.

Qua verloop van de polymerisatie zijn er drie stadia te onderscheiden die worden doorlopen:

- 0 Begintoestand: met monomeer gezwollen micellen + lege micellen + monomeerdruppels aanwezig in het water
- 1 Omdat *monomeer gezwollen micellen in omvang (dus oppervlak) toenemen*, zijn er meer emulgator moleculen voor deze gezwollen micellen nodig. Deze worden gehaald uit de vrije emulgator monomeren die in evenwicht verkeren met de lege micellen. Dit gaat door totdat de lege micellen op zijn. Dit is het einde van fase 1: Het systeem is nu: gezwollen micellen met polymeer+ monomeer ("loci") + monomeerdruppels
Merk op dat bij verdergaande polymerisatie de monomeerdruppels steeds minder gestabiliseerd worden door emulgator moleculen. Die zijn steeds meer nodig voor de aan het oppervlak groeiende loci. Indien het roeren nu gestopt wordt, zal er onmiddellijk coalescentie van de monomeerdruppels optreden!
- 2 Het *aantal loci blijft nu constant*: er treedt nu *alleen nog maar groei* op van de deeltjes. Dit gaat door totdat alle monomeerdruppeltjes op zijn en er alleen nog monomeer over is in de gezwollen micellen. Tot dit punt vindt in stadium twee groei met een constante snelheid plaats.
- 3 De polymerisatie gaat nu door, wel met een *afnemende snelheid* omdat de monomeer concentratie in de loci nu beperkt is. Eventueel kunnen conversies van praktisch 100% worden gehaald.



Figuur 7.5 Schematische weergave van een emulsiepolymerisatie-systeem.

6.5.2 De kinetiek van de emulsiepolymerisatie

De theorie achter de emulsiepolymerisatie-kinetiek is gebaseerd op de snelheid van de radicaal koppelingsreacties in vergelijking met de diffusiesnelheid van radicalen in water. Men heeft experimenteel aannemelijk kunnen maken, dat de initiërende radicalen net in de waterige fase termineren, zodat praktisch alle in de waterfase geproduceerde radicalen de geëmulgeerde polymeerdeeltjes binnentreden.

Voor het gemak nemen we de situatie in beschouwing dat het aantal loci constant (fase 2). Het aantal loci, N , is circa 10^{13} - 10^{15} deeltjes per ml. Terwijl de initiatiesnelheid ongeveer 10^{12} - 10^{14} radicalen per ml per seconde is. We nemen nu aan dat $N = 10^{14}$ deeltjes/ml en de initiatiesnelheid $v_i = 10^{13}$ radicalen.ml⁻¹.s⁻¹, zodat ongeveer elke 10 seconden een radicaal een loci binnentreedt.

Heeft dat eenmaal plaatsgevonden, dan geldt in elk deeltje $v_p = k_p[M]$.

De monomeerconcentratie is gewoonlijk hoog en kan wel 5 molair bedragen. De radicaalconcentratie in een loci kan berekend worden en is globaal 10^{-6} molair of hoger. Dit is aanzienlijk hoger dan in de homogene polymerisatiesystemen (10^{-8} of lager). Wanneer nu een tweede radicaal een loci, dat al een radicaal bevat, binnendringt, treedt onmiddellijk een bimoleculaire beëindigingreactie op. Daarom zal een loci of één of nul radicalen bevatten. Dit gedeactiveerde polymeerdeeltje blijft dan inactief totdat er circa 10 seconden later een volgen radicaal naar binnen diffundeert. Na een volgende 10 seconden cyclus treedt weer reactivering op. Deze cyclus van alternerende groei en inactiviteit in periodes van 10 s blijft voortgaan totdat vrijwel alle monomeer is omgezet. Een willekeurige loci zal daardoor tijdens de gehele reactieduur slechts voor de helft actief zijn dat wil zeggen groei vertonen. Het aantal radicalen per deeltje, gemiddeld over alle deeltjes is dus gelijk aan 0.5.

De totale polymerisatiesnelheid per ml is daarom de som van alle polymerisatie snelheden in $N/2$ deeltjes dus:

$$v_p = (N/2) \cdot k_p \cdot [M] \quad (7.1)$$

De polymerisatiesnelheid is dus direct evenredig met het aantal loci en onafhankelijk van de initiatiesnelheid v_i .

De kinetische ketenlengte of polymerisatiegraad kan op de volgende manier worden berekend:

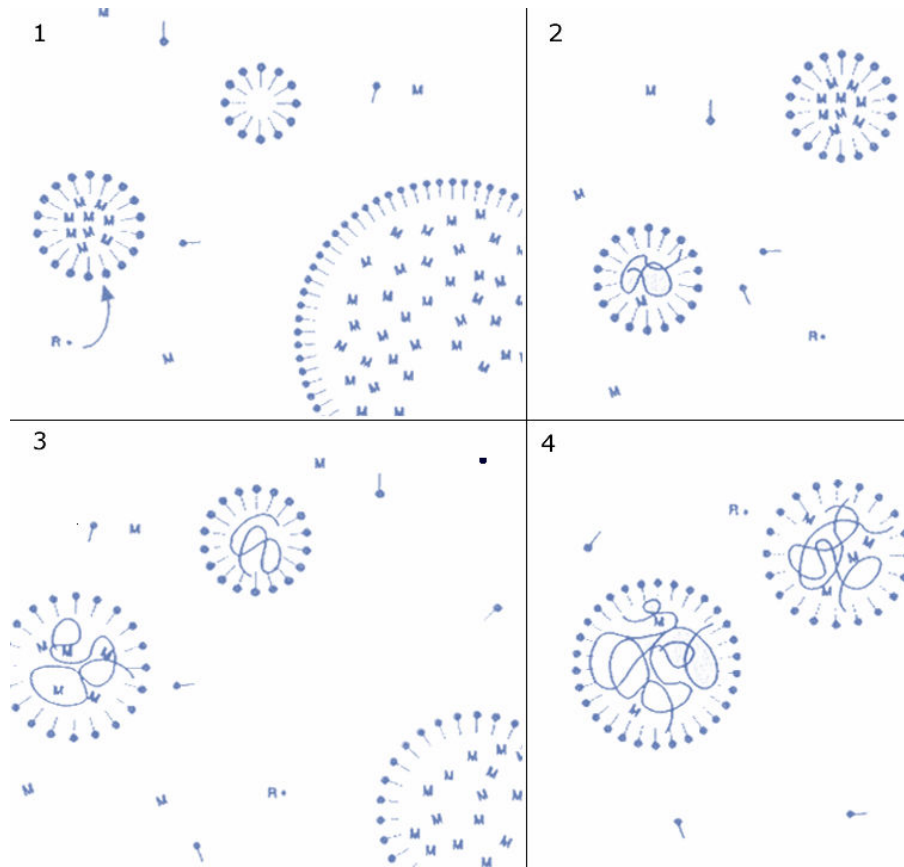
Als de snelheid van radicaalproductie gelijk is aan v_i dan is de snelheid waarmee ze een loci binnentreden gelijk aan v_i/N . De propagatiesnelheid in zo'n actieve micel is $v_p = k_p[M]$. De kinetische ketenlengte in zo'n loci is dan:

$$P_n = X_n = \frac{k_p \cdot [M]}{(v_i/N)} = \frac{k_p \cdot [M][N]}{2fk_d[I]} \quad (7.2)$$

met k_p = de snelheidsconstante voor propagatie
 $[M]$ = monomeerconcentratie in loci
 v_i = de initiatiesnelheid
 $[N]$ = loci concentratie
 $[I]$ = initiatorconcentratie
 f = efficiencyfactor voor uiteenvallen van het radicaal
 k_d = snelheidsconstante voor uiteenvallen van het radicaal

De ketenlengte wordt dus wel beïnvloed door de initiatorconcentratie (in tegenstelling tot de propagatiesnelheid) en neemt af. Wat verder opvalt is dat bij een vaste initiator concentratie zowel v_p als de polymerisatiegraad afhankelijk zijn van het aantal loci. Dus

een toename in de emulgatorconcentratie leidt tot een toename in de polymerisatiesnelheid en tot langere ketens! Dit kan worden begrepen op grond van de basis van het model: als het aantal loci toeneemt terwijl de radicaalproductie constant blijft, dan betekent dit dat de tijd tussen twee opeenvolgende radicalen die dezelfde loci binnendringen groter wordt. Hierdoor is er meer tijd beschikbaar ivoor de vorming van een keten voordat er terminatie optreedt.



Figuur 7.5. De verschillende fasen tijdens een emulsiepolymerisatie.

6.6 Vergelijking van polymerisatiesystemen

<i>Type</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
<i>Homogeen</i>		
Bulk (batch)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Minimale verontreiniging ➤ Simpele uitvoering voor maken van thermohardende giet-producten 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zeer exotherm ➤ Verbreding van ketenlengte verdeling bij hoge conversies ➤ Complex als kleine deeltjes nodig zijn ➤ Insluiting van niet-gereageerd monomeer
Bulk (continu)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lagere conversie per doorgang leidt tot betere warmte beheersing en minder brede verdeling 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vereist roeren ➤ Vereist materiaal transport ➤ Vereist scheiding en recyclen
Oplossing	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Makkelijke warmtebeheersing ➤ Oplossing kan direct bruikbaar zijn 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Niet erg bruikbaar voor productie van puur polymeer omdat oplosmiddel moeilijk te verwijderen is
<i>Heterogeen</i>		
Suspensie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Makkelijke warmtebeheersing ➤ Lage viscositeit ➤ Suspensie of het resulterende fijnkorrelige polymeer kan direct bruikbaar zijn 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Continu roeren is vereist ➤ Verontreiniging door stabilisator ➤ Wassen en drogen nodig als polymeer als poeder wordt gebruikt
Emulsie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Snelle polymerisatie tot hoge molgewichten ➤ Geeft nauwe verdeling in ketenlengte ➤ Makkelijke warmtebeheersing ➤ Emulsie kan direct bruikbaar zijn 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verontreiniging door emulgator ➤ Wassen en drogen nodig ➤ Compacteren (samendrukken) vanwege hoog volume meestal nodig

6.7 Enkele minder voorkomende technieken

7.6.1 Precipitatiepolymerisatie

Wanneer het polymeer onoplosbaar is in monomeer of oplosmiddel, vindt precipitatie plaats van het polymeer tijdens de reactie. Voorbeelden zijn de bulkpolymerisatie van vinylchloride en de polymerisatie van acrylonitril in water. Onder deze omstandigheden kunnen aanzienlijke afwijkingen optreden van de kinetiek van de reactie t.o.v. de homogene polymerisatie. Zo zal in veel gevallen de bimoleculaire terminatie in sterk verminderde mate optreden als gevolg van insluiting van radicalen in het compact, precipiterende polymeer. De radicalen worden als het ware gevangen gehouden door de stijve geklunde polymeermoleculen die neerslaan. Een en ander kan leiden tot aanzienlijk verhoging van de overall polymerisatiesnelheid. Vrije radicalen met een levensduur van enkele uren bij kamertemperatuur zijn bij dit soort reacties zowel chemisch als fysisch aantoonbaar.

7.6.2 Polymerisatie van gasvormige monomeren

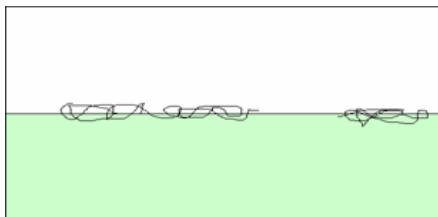
De door licht geïnitieerde polymerisatie van gasvormige vinylmonomeeren met een polaire substituent treedt gemakkelijk op. De kinetiek van de reactie is echter zeer gecompliceerd. Het polymeer scheidt zich namelijk in het begin van de reactie al af als tweede fase (precipitatiepolymerisatie!); propagatie en terminatie lijken zich voornamelijk in de vaste deeltjes af te spelen. Polymerisatie in de gasfase wordt commercieel niet toegepast.

De hogedrukpolymerisatie van etheen, hoewel technisch gezien een gasfase proces, wordt theoretisch beschouwd als een reactie in een sterk uitgezette vloeistof waarbij de dampfase aanwezig is (superkritisch etheen). Dit hogedrukproces leidt tot vertakt "lage dichtheid"polyetheen (LDPE).

De lage drukpolymerisatie van etheen, welke leidt tot lineaire "hoge dichtheid"polyetheen (HDPE), vindt plaats door coördinatiepolymerisatie (Ziegler Natta proces), bijvoorbeeld met een in de gasfase verdeelde katalysator in een fluid-bed reactor. Er wordt dan een vaste polyetheen fase gevormd, waarbij de zeer geringe hoeveelheid katalysator veelal in het produkt kan achterblijven.

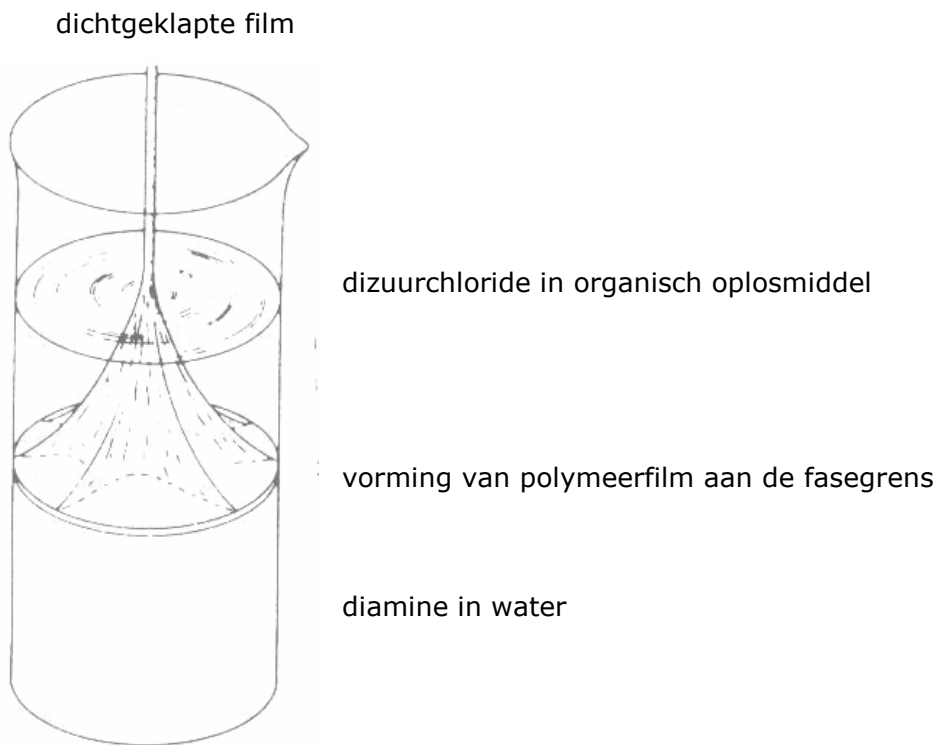
7.6.3 Grensvlakpolymerisatie

Grensvlakpolymerisatie kan worden uitgevoerd bij enkele condensatiepolymerisaties. De twee reactanten mogen dan niet in hetzelfde oplosmiddel kunnen oplossen. Het systeem bestaat dan uit twee niet mengbare vloeistoffen waarbij in elk van de vloeistoffen slechts één type reactant is opgelost. Op het grensvlak van de twee vloeistoffen vindt dan polymerisatie plaats.



Figuur 7.6 Principe grensvlakpolymerisatie.

Een bekend voorbeeld hiervan is de polymerisatie van een nylon draad (zie figuur 7.7). Een diamine wordt opgelost in de waterfase en een diisocyanate in de organische fase. Op het grensvlak wordt een nylonfilm gevormd. Door de film met een pincet naar boven te halen en voortdurend verder weg te trekken wordt een nyloodraad gevormd.



Figuur 7.7 Vorming van een nylondaad door grensvlakpolymerisatie.