

Kutatási területek

1) Kémiai reakciótechnika

1.1) Az energetikai és kémiai iparban gyakran használnak kétfázisú (gáz-folyadék, gáz-szilárd) és háromfázisú (gáz-folyadék-szilárd) reaktorokat.

A fluiddinamika, a szorpció, az anyagátadás és a kémiai reakció kapcsolatát vizsgáltuk barnaszén elgázosításánál, nagy léptékű fluidizációs reaktorokban, a Rheinische Braunkohlewerk és Babcock vállalatokkal együtt. A 850 °C-os ágyban a gáz összetételét és a szénrészecskék eloszlását mértük az általunk készített szondákkal. Matematikai modellel írtuk le és optimáltuk a reaktort.

Gáz-szilárd fázisú reakciókat vizsgáltunk újszerű, nagy rétegkiterjedésű cirkulációs ágyakban, a Lurgi vállalattal együtt. A folyamatot optimáltuk a fenti reaktorokban.

A Kali Chemie vállalattal együttműködve forgókemencés reaktorokban tökéletesítettük a foszfát műtrágya (Rhenania- Phosphat) termelését. A gyártási hőmérsékletet 1300-ról 1000 °C-ra tudtuk csökkenteni a reakciókeverék megfelelő előkezelésével. Az eljárást Braziliában valósították meg.

A szén fluidizációs elégetésénél kéndioxid is képződik. Ennek megkötésére kiégetett, ill. félig kiégetett dolomitot adagolnak az ágyba a folyamat során. Termogravimetriával és magas hőmérsékletű röntgenfelvételekkel megvizsgáltuk a dolomit bontását fluidizációs és forgókemencés reaktorokban,. A reakció két lépcsőben játszódik le: az első lépésben MgO, a második lépésben CaO képződik. Az eredmények alapján kidolgoztuk az optimális dolomitégetési eljárást.

1.2) Új módszert fejlesztettünk ki a folyadékban szabadon lebegő kis (10-100 μm) átmérőjű folyadékcseppben végbemenő anyagátadás érintkezés nélküli, gyors (msecnyi idő alatt megvalósítható) vizsgálatára, szcintillációs technikával. Ha a csepp pl. ^{14}C - vagy trícium-aktív oldószert és organikus szcintillátorokat tartalmaz, akkor az organikus csepp fluoreszkál. Ha poláris vegyületet oldunk benne, akkor csökken a sugárzása. Így, az emisszió mérésével a poláris vegyületek koncentráció-változását meg tudjuk határozni.

Radioaktív vegyületek használata nélkül is lehet alkalmazni ezt a mérési elvet. Pl. egy zárt, 300 mCi aktivitású Am-241 γ -sugárforrással lehet a fluoreszcens kibocsátást gerjeszteni, az emissziót poláris vegyülettel az organikus fázisban lecsökkenteni és így a vegyület koncentrációját optikailag mérni. Egy VIM (Video Intensified Microscopy) rendszerrel mértük a foton eloszlást a cseppben és matematikai modell segítségével meghatároztuk a poláris vegyület háromdimenziós eloszlását a cseppben.

Egy másik módszerünkkel egy poláris vegyület koncentrációját az organikus fázisban, a vizes/szerves fázishatáron lehet mérni. Az egyik oldalon tríciumot alkalmazunk, a másik oldalon szerves oldószert és organikus szcintillátort. Ekkor a határfelület fluoreszkál. Ha poláris vegyület megy át a vizes oldatból az organikus oldatba, a fluoreszkálás lecsökken. A trícium β -sugara csupán 0,5 μm mélyen hatol be az organikus fázisba., ezért ebben a keskeny rétegben tudjuk mérni a koncentráció változását.

Egy másik, új módszerünkkel is tudjuk mérni a határfelületi koncentrációt az organikus fázisban. Az organikus fázisban feloldott poláris vegyületek koncentrációját érintkezés nélkül lehet mérni a víz és a szerves folyadék határfelületénél, egy 0,01 μm vékony rétegben. Ha szerves bórvegyületet oldunk a vizes fázisban és organikus szcintillátorokat az organikus fázisban, és a rendszert hideg (kis energiájú) neutronokkal besugározzuk, akkor a vizes fázisban (n, α)- és (n, γ)-reakciók révén α - és γ -sugarak képződnek, amelyek szcintillációs felvillanásokat okoznak. Az α - és γ -felvillanásokat egy impulzusforma analízissel tudjuk megkülönböztetni. Mivel a

reakcióból származó α -sugarak csupán 0,01 μm mélyre tudnak behatolni az organikus fázisba, a vizes és a szerves fázis határán ebben a vékony rétegben tudjuk mérni a poláris vegyületek koncentrációját.

- 1.3) Folyadékmembránok képződnek, ha a vizes fázist 10 000 l/min keverési sebességgel szerves fázisban (kerozin) diszpergáljuk, és az így képződött emulziót vízben 300 l/min keverési sebességgel elkeverjük. Ebben a kettős emulzióban a vízcseppek átmérője néhány μm , az emulziós golyók átmérője néhány mm. Ha a belső vizes fázisban a pH-érték alacsonyabb mint a külső fázisban, akkor a külső vizes fázisból kationokat tudunk úgy extrahálni egy komplexképző vegyülettel -, amely az organikus fázisban van feloldva -, hogy a belső vizes fázisban a kationok feldúsuljanak.

Így lehet pl. Cu^{++} -ionokat kis fémtartalmú ércekből kioldani és besűríteni. A komplexált Cu^{++} -ion a szerves fázisban oldódik, ezért a szerves fázison keresztüldiffundál, a koncentráció-gradienssel ellenkező irányban. Az extrakció hajtóereje a protonoknak a belső vizes fázisból a külső vizes fázisba való vándorlása. Így tudunk ipari szennyvizekből különböző fémeket nagyon kis koncentrációk esetén is eltávolítani.

Emellett többlépéses enzimreakciókat egy lépésben tudunk kivitelezni folyadékmembrán segítségével.

1) **Elemi homogen reakciók vizsgálata szuperszonikus molekula sugarakkal**

Számos atom és molekula integrális és differenciális ütközési keresztmetszetét mértük molekulásugarakkal és meghatároztuk Lennard-Jones potenciál paramétereiket. Elemi kémiai reakciókat vizsgáltunk keresztezett atom/molekula sugarakkal. Egységes sebességű kálium atomsugarat és CH_3J -molekulásugarat kereszteztünk magas vákuumban, és a K-atomok, valamint a CH_3J molekulák sebességéből és a képződött KJ sebesség- és szögeloszlásából meghatároztuk a reakció energiamérlegét és a termékek (KJ és CH_3) energiaelosztását a különböző szabadságfokokra. A $\text{K} + \text{CF}_3\text{J}$ és $\text{K} + \text{CH}_3\text{COOH}$ reakciókat is megvizsgáltuk ezzel a módszerrel.

KF molekulák rotációs állapotának térbeli elválasztása az általunk kidolgozott „alternating gradient focusing” (AGF) mezővel lehetővé tette a $\langle 0,0 \rangle$ -állapot kiválasztását. Csupán ezzel a módszerrel lehet a poláris JCl molekulának a rotációs állapotát egy inhomogén mezőben beállítani. Az így beállított JCl molekulákat kereszteztünk Cs-atom sugárral. A JCl molekulák úgy lettek beállítva, hogy egyszer a molekula J-végén és máskor a Cl-végén ütköztek a Cs- atommal. Ily módon nekünk sikerült először megmérni a rotációs energia és a molekulák beállításának befolyását a reakcióra. Ez mostanáig az egyetlen módszer, amellyel mérni lehet a rotációs energiaállapotnak és a molekula térbeli beállításának befolyását a reaktivitásra. Számos kémiai reakciót vizsgáltunk szuperszonikus sugárban és a komponensek koncentrációját molekuláris mintaelvétellel analizáltuk. Pl.: $\text{F}_2 + \text{CH}_4$, $\text{F}_2 + \text{H}_2$, $\text{CH}_4 + \text{O}_2$, $\text{CH}_4 + \text{O}_3$. Így instabil termékeket és gyököket is ki tudunk mutatni.

3. **Fizikai kémiai mérési technika**

3.1.) *Bioszenzorok a fermentlé összetételének on-line mérésére*

Amperometrikus és potenciometrikus bioszenzorokat készítettünk a biotechnológiai termelés szempontjából fontos vegyületek mérésére. Különböző enzimeket immobilizáltunk a transducer (pl. field effect transistor gate) felületére, amely a kémiai jelet elektromos jellé változtatja. Olyan enzimeket választottunk erre a célra, amelyek nagy szelektivitást és érzékenységet mutatnak a keresett vegyülettel szemben. Ezeket a bioszenzorokat „flow-injection analysis” (FIA) rendszerekbe integráltuk, amelyekkel *in situ* tudtuk mérni a koncentrációk változásait. A bioszenzor-FIA-rendszereket a gyártási folyamatok szabályozására használtuk.

Az állati sejtek tenyésztésénél immunoassay-szenzorokat fejlesztettünk ki és alkalmaztunk.

3.2.) *Méréstechnika a reaktorok jellemzésére*

Műszereket fejlesztettünk ki a folyadék lokális sebességének, a buborékok sebességének, átmérőjének és a folyadék-gáz fázisok határfelületének mérésére. Mindezekkel a műszerekkel a többfázisú rendszer tulajdonságait *in situ* tudjuk mérni.

4. **Biotechnológiai kutatások**

4.1) *Mikroorganizmusok termelése*

A hetvenes években a SCP (single cell protein) nagy fontosságot tulajdonítottak termelésének. Mi a GBF (Gesellschaft für Biotechnologische Forschung) munkatársaival dolgoztunk együtt ezen a területen, és *Candida boidini* és *Hansenula polymorpha* sejteket 100 literes ATL (ailift tower loop) reaktorban tenyésztettük és a folyamatot optimaltuk.

Egy pékélesztő gyártó vállalattal együtt *Saccharomyces cerevisiae* sejteket tenyésztettünk egy 23 m magas ATL reaktorban a folyamatot részletes vizsgálat alá vettük és optimaltuk.

Az Emslandstärke (burgonyakeményítő gyártó) vállalattal együtt dolgoztunk ki egy eljárást a keményítőgyártás melléktermékének (pulp) értesítésére. Egy 10 m³-es ATL reaktorban termeltünk pékélesztőt. A pulp-ból visszamaradt cellulózt és hemicellulózt enzimmel lebontottuk és *Pachysolen tannophilus* sejtekkel alkohollá erjesztettük.

4.2) *Primér metabolitok termelése*

Az ozmofil (cukortoleráns) élesztő *Moniella tomentosa var. pollinis* cukoralkoholokat képez. A Cerestar Research and Development Center (Vilvoorde, Belgium) vállalattal együtt kidolgoztuk az eritrit termelését ezzel a mikroorganizmussal. A fő nehézség az erős habképződés volt. Ezt a problémát egy nitrogénforrás speciális adagolásával sikerült megoldanunk. A vállalat ezt a cukoralkoholt most 500 m³-es reaktorokban termeli.

A *Zymomonas mobilis* egy baktérium, mely glükózból nagy hozammal alkoholt képez. Az alkohol termelését optimaltuk szabad és immobilizált baktériumra egyaránt.

Aspegillus niger gombát és *Zymomonas mobilis* baktériumot koimmobilizáltunk. A golyó alakú hordozó külső rétegében a gomba a keményítőt glükózzá hidrolizálja, a hordozó belsejében pedig a baktérium a glükózt alkohollá konvertálja.

A *Clostridium acetobutylicum* acetont és butanolt termel glükózból. A butanol termelését optimaltuk szabad és immobilizált baktérium esetére.

A biológiailag lebontható műanyagok alkalmazása sok területen kívánatos. A polimerizált tejsav is egy ilyen műanyag. Különböző lactobacillusokkal tejsavat állítottunk elő és elektrodialízissal nyertük ki a terméket a reaktorból. Ezt az eljárást a Cerestar Research and Development Center vállalattal közösen dolgoztuk ki.

4.3) *Szekunder metabolitok termelése*

A *Penicillium chrysogenum* gomba penicillin G és penicillin V antibiotikumokat képez. A Hoechst-Marion-Roussel vállalat penicillin V termelési eljárását felülvizsgáltuk és tökéletesítettük. Az *Acremonium chrysogenum* gomba cephalosporin C antibiotikumot termel. A Hoechst-Marion-Roussel vállalat cephalosporin C termelési eljárását is megvizsgáltuk és hatékonyabbá tettük.

4.4) *Proteinek termelése*

A xilanáz egy fontos enzim, amelyet az élelmiszeriparban különböző célokra használnak. Az *Aspergillus awamori* sokféle enzimet termel, többek között xilanázt is. Az Unilever vállalattal együtt kifejlesztettünk egy eljárást xilanáz termelésre szilárd búzaborpa alapon.

A celluláz enzimeket sok területen alkalmazzák. A *Trichoderma reesei* gomba állítja elő ezt az enzimet. Eljárást dolgoztunk ki a celluláz termelésére. Az enzim minősége megfelel az ipari termék minőségének.

Az alkalikus proteázokat a mosószeriparban használják. A *Bacillus licheniformis* képes ilyen enzim termelésére. A Henkel vállalattal együtt kidolgoztunk egy eljárást alkalikus szerin proteáz előállítására.

A EcoRI restrikciós endonukleáz egy fontos enzim, mely DNS-t egy bizonyos helyen felhasítja. A rekombináns *Escherichia coli* baktérium, amely háromféle (expressziós, repressziós és védő) plazmidot tartalmaz, termeli ezt a enzimet. Hogy az enzim korai lebontását megakadályozzuk, *Staphylococcus* protein A-val (EcoRI::SPA) egy fúziós proteint állítottunk elő. Ez utóbbi baktériumot kétlépcsős folyamatos üzemi reaktorban tenyésztettük. Az első reaktorban a történt a sejtszaporodás. A második reaktorban indítottuk a génexpressziót, a hőmérséklet megemelésével. Itt képződött a fúziós protein. Mivel a fúziós protein elpusztítja a baktériumot, nehéz volt a termelőeljárás kidolgozása. Ennek ellenére sikerült nagyon magas enzimaktivitást elérni.

A vérfaktorok fontos proteinek az orvosi gyakorlatban. Rekombináns BHK (Baby Hamster Kidney) és CHO (Chinese Hamster Ovary) sejtekkel lehet ezeket előállítani. Különböző reaktorokban tenyésztettük ezeket a sejteket és ipari vállalatokkal együttműködve termeltük az AT III (antithrombin III) és a TPA (tissue plasminogen activator) vérfaktorokat és monoklonális antitesteket.

4.4) *A termékek izolálása és tisztítása*

A termékek izolálásánál a mikroorganizmusokat először eltávolítják, centrifugával vagy membrán modullal. A visszamaradt léből a primer és szekunder metabolitokat többnyire adszorpcióval vagy extrakcióval nyerik ki. A membrán adszorpcióval, amelyet a Sartorius vállalattal dolgoztunk ki, nagyon gyors izolálás lehetséges.

Egy másik nagyon hatásos izolálási módszer a reaktív extrakció, amelyet antibiotikumok és aminosavak tisztítására dolgoztunk ki. A metabolitok eredetileg a vizes fázisban vannak. Az organikus fázishoz adunk egy hordozóanyagot, amely egy ionpár komplexet képez a metabolittal a szerves és vizes fázis határán. A komplex az organikus fázisba extrahálódik, de a pH-érték változtatásával visszakerül a vizes fázisba. Ez a extrakciós- reextrakciós folyamat nagyon szelektív.

A fehérjék izolálása és tisztítása többnyire kromatográfiával történik. A membrán adszorpciót, amely sokkal gyorsabb, mint egy kromatográfiás elválasztás, ebben az esetben is lehet alkalmazni. Kidolgoztunk egy eljárást a proteinek izolálására. Ez vízben oldható polimereket és affinitásligandumokat használ és hőmérséklet vagy a pH változásával le lehet választani a proteinkomplexet az oldatból.

4.5) *Környezetvédelem*

A vegyianyagokkal szennyezett talajt mikroorganizmusok keverékével tisztítottuk egy 1 m³-es forgóhengeres reaktorban a HP-Biotechnologie vállalattal együttműködve. Dieselolaj és PAH (poliaromás szénhidrogének) voltak a fő szennyezőanyagok. A szilárd anyag mozgását és keveredését vizsgáltuk a forgóhengeres reaktorban és a lebontott anyagokat *on-line* gázkromatográf-tömegspektrométer kombinációval mértük.

5. **Alap kutatás és ipari együttműködés.**

Számos új ipari eljárást dolgoztunk ki vagy eljárást tökéletesítettünk az iparral együttműködve. Sok esetben hiányoztak alapvető kémiai, biológiai vagy mérnöki ismeretek. Ezért az eljárás kifejlesztése, illetve tökéletesítése előtt szükség volt az alapismeretek megszerzésére, de az alap kutatásokat nem finanszírozta az ipar. Ezért ezeket a témákat részben diplomamunkák keretében, részben doktormunkák keretében dolgoztunk ki, melyeket a DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) BMFT

(Bundesministerium für Forschung und Technologie) vagy az EU (Europäische Union) támogatott. Intézetünkben mindig sok német vagy külföldi ösztöndíjas dolgozott, akik alapkutatást folytattak.

Az ipari projektek nagyon érdekesek és fontosak voltak diákok számára is, mert ezek által megismerték az ipari kutatást és sokszor kaptak egy állást az adott vállalatnál a tanulmányaik befejezése után.

Az ipari kutatások hátránya volt, hogy a titoktartási megállapodás miatt az eredményeket nem vagy csak nagy késéssel tudtuk közzétenni.