



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Entwicklung einer Blended-Learning-Einheit „Bioreaktoren“

Bachelorarbeit

im Studiengang

Biotechnologie

vorgelegt von

Janna Twesten

Matrikelnummer: 2020151

Hamburg

am 27. Mai 2014

Gutachter:

Prof. Dr. Ernst A. Sanders (HAW Hamburg)

M.A. Corinna Peters (HAW Hamburg)

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Janna Twesten, versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen verwendet habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung.....	1
2. Lerninhalte und Lernziele.....	5
2.1 Theorie der Kompetenzstufen.....	5
2.2 Definition des Lerninhaltes und der Lernziele.....	5
3. Lernsituation.....	8
3.1 Zielgruppe.....	8
3.2 Zeitliche und räumliche Verfügbarkeit.....	9
3.3 E-Learning an der HAW Hamburg.....	10
4. Didaktische Methoden.....	12
4.1 Präsentation durch Lehrenden.....	13
4.2 Arbeit mit dem Plenum.....	13
4.3 Gruppenarbeit.....	13
4.4 Präsentation durch Lernende.....	14
4.5 Einzelarbeit ohne Interaktionsmöglichkeit.....	15
4.6 Einzelarbeit mit Interaktionsmöglichkeit.....	15
5. Umsetzung.....	17
5.1 Vor Beginn der Einheit.....	20
5.2 Präsenztermin 1: Vorstellung der Lerneinheit & Einführung in das Thema Bioreaktoren.....	21
5.3 Selbstlernphase 1: Anwendungsthemen.....	24
5.4 Präsenztermin 2: Einteilungskriterien von Bioreaktoren & Bioreaktortypen.....	25
5.5 Selbstlernphase 2: Bioreaktortypen.....	27
5.6 Präsenztermin 3: Vergleich von Bioreaktoren.....	35
5.7 Selbstlernphase 3: Charakterisierungsmerkmale von Bioreaktoren.....	39
5.8 Präsenztermin 4: Zusammenhang der Charakterisierungsmerkmale.....	49
6. Fazit.....	54
7. Literaturverzeichnis.....	56
8. Anhang.....	59

Zusammenfassung

Der Bioreaktor stellt in der produzierenden Biotechnologie das wichtigste Werkzeug des eigentlichen Herstellungsprozesses im Upstream-Processing dar und hat damit in der Ausbildung eines Biotechnologen einen hohen Stellenwert. Er wird deshalb im Rahmen der Lehrveranstaltung Fermentations- und Bioreaktortechnik des Bachelorstudiengangs Biotechnologie der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg thematisiert. Dies erfolgt hinsichtlich seiner Aufgaben und seiner daraus resultierenden vielfältigen Ausführungen im bisher jedoch ungenügend ausgearbeiteten Themenabschnitt Bioreaktortechnik der genannten Lehrveranstaltung. Die Studierenden lernen in dieser Lehrveranstaltung die Fermentationsprozesse in Präsenzphasen in Form einer Präsentation durch den Lehrenden ergänzt durch Zwischenfragen kennen und vertiefen diese im Selbststudium. Dabei stellen die oft nur ungenügend erfolgende Vertiefung der Inhalte in den Selbstlernphasen und der ungenügende Aufbau von langfristigem Wissen ein Bildungsproblem dar.

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wurde eine Blended-Learning-Einheit Bioreaktoren für den Einsatz in der genannten Lehrveranstaltung entwickelt, die den bisherigen Themenabschnitt der Bioreaktortechnik zukünftig ersetzen soll und den Einsatz des Blended-Learning-Konzeptes zur Verbesserung des Bildungsproblems beispielhaft erproben soll.

Dazu wurde eine inhaltliche Ausarbeitung basierend auf den bestehenden Inhalten vorgenommen. Die Anforderungen von enzymatischen Stoffumwandlungen in vielfältigen biotechnologischen Anwendungen und die daraus entstehenden Aufgaben eines Bioreaktors, Einteilungskriterien von Bioreaktoren, die Vielfalt von Bioreaktortypen und der Vergleich dieser auf Basis von Charakterisierungsmerkmalen wurden thematisiert. Zudem erfolgte eine Auswahl geeigneter didaktischer Lernmethoden auf Basis von definierten Lernzielen und die Entwicklung entsprechender Lernmaterialien. Dabei wurde ein Lernangebot aus miteinander verknüpften, abwechselnd stattfindenden Präsenz- und Selbstlernphasen erstellt. Es beruht in den Präsenzphasen auf einer Mischung aus dem Arbeiten des Lehrenden mit dem Plenum und verschiedenen Arten der Gruppenarbeit, um den Studierenden das Arbeiten mit den Inhalten zu ermöglichen, und in den Selbstlernphasen auf der interaktiven Erarbeitung von Inhalten mittels Lernaktivitäten im Onlinelernraum der Lernplattform Elektronische Medien, Information, Lehre der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Inhaltliche Themenaspekte und dazugehörige Lernziele der Blended-Learning-Einheit.....	7
Abbildung 2: Aufbau der Kursseite des Onlinelernraumes FBRT	10
Abbildung 3: Aufbau der Blended-Learning-Einheit	17
Abbildung 4: Übersichtsdiagramm der aus der in einem Bioreaktor stattfindenden enzymkatalysierten, biochemischen Stoffumwandlung entwickelten Fragestellungen hinsichtlich der Thematik eines Bioreaktors als Werkzeug im biotechnologischen Prozess	23
Abbildung 5: schematische Zeichnungen von Submersbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag	32
Abbildung 6: schematische Zeichnungen von Submersbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	32
Abbildung 7: schematische Zeichnungen von Oberflächenreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	33
Abbildung 8: schematische Zeichnungen von Submersbioreaktoren mit Leistungseintrag über ein Rührorgan .	33
Abbildung 9: Leistungscharakteristiken eines unbegasteten Systems	42
Abbildung 10: Leistungscharakteristiken eines begasteten Systems	43
Abbildung 11: Strömungszustände in einem begasteten, gerührten System bei Variation der Drehzahl	43
Abbildung 12: Überflutungscharakteristiken für verschiedene Rührertypen	44
Abbildung 13: Mischzeitcharakteristiken für verschiedene Rührertypen	48
Abbildung 14: Darstellung des Leistungseintrags gegenüber der genutzten Drehzahl für verschiedene Rührorgane und Bioreaktoren.....	50
Abbildung 15: Darstellung des Verhältnisses der in das begaste System zur in das unbegaste System eingetragenen Leistung gegenüber der Drehzahl bei Nutzung unterschiedlicher spezifischer Begasungsraten..	51
Abbildung 16: Darstellung der maximalen spezifischen Begasungsrate gegenüber der Drehzahl	51
Abbildung 17: Darstellung der volumetrischen Stoffübergangszahl gegenüber der Drehzahl bei Nutzung unterschiedlicher spezifischer Begasungsraten	52
Abbildung 18: Darstellung der Wärmeübergangszahl der Innenseite gegenüber der Drehzahl bei Nutzung eines Scheiben- und Propellerrührers	52
Abbildung 19: Darstellung der Mischzeit für eine Mischgüte von 95% gegenüber der Drehzahl bei Nutzung verschiedener Rührorgane	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Taxonomie von Kompetenzstufen nach Bloom et al. (1976) zur Definition von kognitiven Lernzielen .	5
Tabelle 2: Übersicht der über die Lernplattform EMIL zur Verfügung stehenden Arbeitsmaterialien und Lernaktivitäten mit Gliederung in die jeweilige Nutzungsart	11
Tabelle 3: didaktische Methoden in Präsenz- und Selbstlernphase gegliedert nach der Art der Interaktion von Lehrenden und den Lernenden	12
Tabelle 4: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 1 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien	22
Tabelle 5: Ablauf und Lernziele Selbstlernphase 1 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien	25
Tabelle 6: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 2 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien	26
Tabelle 7: Ablauf und Lernziele Selbstlernphase 2 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien	27
Tabelle 8: Übersicht über die bearbeiteten Bioreaktoren	31
Tabelle 9: Übersicht über die bearbeiteten Sonderformen von Bioreaktoren	34
Tabelle 10: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 3 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien	35
Tabelle 11: Übersicht Charakterisierungsmerkmale der Aufgaben eines Bioreaktors.....	36
Tabelle 12: Beeinflussung der Gewichtung der Aufgaben eines Bioreaktors durch dargestellte Kriterien der verschiedenen Faktoren eines biotechnologischen Prozesses.....	37
Tabelle 13: Ablauf und Lernziele Selbstlernphase 3 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien ..	39
Tabelle 14: Werte Faktor C Korrelation zur Berechnung der Wärmeübergangszahl der Innenseite	47
Tabelle 15: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 4 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien	49

Abkürzungsverzeichnis

EMIL	Elektronische Medien, Information, Lehre
E-Learning	Electronic Learning
FBRT	Fermentations- und Bioreaktortechnik
HAW Hamburg	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
WSA	Wärme- und Stoffaustausch

1. Einleitung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Blended-Learning-Einheit Bioreaktoren für den künftigen Einsatz in der Lehrveranstaltung Fermentations- und Bioreaktortechnik (im Folgenden FBRT) im Bachelorstudiengang Biotechnologie der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (im Folgenden HAW Hamburg) entwickelt.

Die Ansichten über Lehr- und Lernprozesse haben sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert. Das Verständnis für die Komplexität des menschlichen Lernvorganges ist gewachsen und der Fokus liegt nicht mehr allein auf dem Lehrenden, sondern vielmehr auf den Lernenden und dem Lernprozess. Es geht nicht mehr allein darum, welche Inhalte der Lehrende präsentiert, sondern auch in welcher Form er diese präsentiert und wie die Lernenden mit diesen umgehen. Die Vorstellung des Lernprozesses als Wissensübertragung ist der Überzeugung, dass Wissen nicht vom Lehrenden auf den Lernenden übertragen werden kann, gewichen. Der Lehrende kann nur Inhalte vermitteln und so den Wissensaufbau anregen und unterstützen. Die Lernenden müssen in einem aktiven Prozess die Inhalte aufnehmen, verarbeiten und in ihrem persönlichen Wissensnetzwerk aus Vorwissen verknüpfen, um Wissen aufzubauen. Für diese Verknüpfung ist das Erkennen von übergreifenden Zusammenhängen, das Einordnen von Inhalten und das Anwenden und Diskutieren der Inhalte wichtig. (Roth, 2004; Edelmann, 1996, Kapitel 1)

Der Lehrende kann durch die Aufbereitung der Lerninhalte zu einem Lernangebot unter Nutzung geeigneter didaktischer Methoden den Wissensaufbau unterstützen. Lernmethoden stellen dabei Hilfsmittel zur Erleichterung des Lernens dar, denn Lernen ist eine angeborene Fähigkeit, die durch Lernmethoden nur intensiviert werden kann. (Kerres, 2013, Seite 321 f.) Die Wahl einer geeigneten Lernmethode sollte auf formulierten Lernzielen beruhen. Oftmals werden nur zu erwartende Lerninhalte definiert, nicht jedoch die Art der Umsetzung der Lerninhalte beim Lernenden, die auf Basis von Kompetenzstufen beschrieben wird und auf die Auswahl einer Lernmethode großen Einfluss hat. (siehe Kapitel 2.1) Mit dem Erreichen einer höheren Kompetenzstufe ist das Leistungsniveau in Bezug auf den jeweiligen Inhalt höher und zudem von einer besseren Verfestigung und Verknüpfung im Wissensnetzwerk auszugehen. (Kerres, 2013, Seite 295 f.)

Mit der beschriebenen Umfokussierung hat sich neben der Präsentation von Inhalten durch den Lehrenden ohne oder nur mit wenig Interaktion mit den Lernenden als die konventionelle Lehrform eine Vielzahl von verschiedenen Lernmethoden entwickelt. Dazu hat auch der zunehmende Einsatz elektronischer Medien in der Lehre beigetragen, der mit dem Begriff E-Learning, der Abkürzung für electronic learning, beschrieben wird. E-Learning selbst stellt dabei keine Lernmethode dar, jedoch die auf Basis von E-Learning entwickelten Lernmethoden, die digitale Medien nutzen. (Kerres, 2013, Seite 6)

In den 90er Jahren ging man davon aus, dass E-Learning-basierte Lernmethoden aufgrund der vorteilhaften Orts- und Zeitunabhängigkeit die Präsenzveranstaltung in naher Zukunft komplett ersetzen würden. Der alleinige Einsatz von E-Learning-Methoden warf jedoch zunehmend das Problem der fehlenden persönlichen Bindung zum Lehrenden und den anderen Lernenden auf, die durch die Kommunikation über Foren oder E-Mails nicht komplett ersetzt werden kann. (Kraft, 2003; Iberer, 2010) Auf Basis dieser Erkenntnisse entwickelte sich der Begriff des Blended Learning, das keine Entscheidung zwischen der Präsenzveranstaltung und dem komplett E-Learning-basiertem Unterricht trifft, sondern beides miteinander verknüpft. Blended Learning beschreibt dabei das Zusammenwirken der Präsenzlehre und der medienunterstützten Selbstlernphasen mit ihren jeweiligen Lernmethoden in einem Lernangebot, in dem sich die Vorteile der einzelnen Lernmethoden durch eine sinnvolle Verknüpfung möglichst optimal ergänzen sollen. Zudem beschreibt es die notwendige Mischung von Methoden, da keine Methode die optimale für alle Lehrsituationen darstellt. In einem guten Lernangebot wird eine Mischung aus verschiedenen Lernmethoden genutzt. (Reinmann-Rothmeier, 2003, Seite 29; Kerres, 2013, Seite 8 ff.)

Die Biotechnologie beschäftigt sich mit dem „[...] Einsatz biologischer Prozesse im Rahmen technischer und industrieller Produktionen.“ (Präve et al., 1994, Seite 1) Sie stellt dabei ein sehr breites Themenfeld dar, da zum einen biotechnologische Produkte in vielen verschiedenen Bereichen unseres Lebens Anwendung finden und zum anderen die Biotechnologie als Wissenschaft eine Querschnittstechnologie aus den verschiedensten naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Bereichen ist. (biotechnologie.de, 2014)

Biotechnologen erhalten eine sehr breit angelegte Ausbildung, um später als Verbindungsglied zwischen den Experten zu arbeiten und benötigen deshalb ein gutes Überblickswissen in den verschiedenen genannten Bereichen, die Fähigkeit die Zusammenhänge zu erfassen,

das Wissen miteinander zu verknüpfen und anzuwenden. Daher ist eine zum einen praxisnahe und anwendungsorientierte und zum anderen fächerübergreifende, also interdisziplinäre Ausbildung für einen Biotechnologen von großer Bedeutung (Bundesagentur für Arbeit, 2012), auf die die HAW Hamburg Wert legt. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2014; Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2011, Seite 3 f.) Studierende des Bachelorstudiengangs Biotechnologie an der HAW Hamburg erhalten nach einem 7-semesterigen Bachelorstudium einen ersten berufsqualifizierenden Abschluss mit dem sie für eine Tätigkeit in den unterschiedlichen Bereichen der Biotechnologie qualifiziert sein sollen. Durch die breit angelegte Ausbildung wird die Funktion als Schnittstelle zudem betont und ermöglicht das Arbeiten in allen Bereichen der Biotechnologie. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2011, Seite 3 f.) Die anwendungsorientierte, praxisnahe und interdisziplinäre Ausbildung wird in erster Linie durch das integrierte Praxissemester, die Möglichkeit eines biotechnologischen Fachprojektes und die Bachelorarbeit, die auch in einem externen einschlägigen Unternehmen oder einer Forschungseinrichtung der Biotechnologie durchgeführt werden kann, realisiert. Auch die Lehrveranstaltungen und hochschulinternen Praktika sollten ihre Inhalte entsprechend dieser Lernziele themenübergreifend aufbereiten, eine möglichst hohe Kompetenzstufe anstreben, die Inhalte mit den Inhalten aus anderen Lehrveranstaltungen verknüpfen und so eine gute Verknüpfung im Wissensnetzwerk fördern. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2011, Seite 5 f.)

Der Bioreaktor stellt in der produzierenden Biotechnologie ein wichtiges Werkzeug des biotechnologischen Prozesses dar. Er ist wichtiger Bestandteil der biotechnologischen Ausbildung und wird in der Lehrveranstaltung FBRT zum einen hinsichtlich der in ihm ablaufenden Vorgänge und zum anderen im Hinblick auf seine Aufgaben, seinen Aufbau und seine Funktion besprochen. Zweiteres wird unter anderem im Themenabschnitt Bioreaktortechnik bearbeitet, der derzeit noch nicht umfassend ausgearbeitet ist und zukünftig durch die Lerneinheit Bioreaktoren ersetzt werden soll.

Bisher wird die Lehrveranstaltung von Professor Dr. Ernst A. Sanders vorwiegend in Form einer Präsentation der Inhalte durch den Lehrenden anhand von vorbereiteten Folien und Tafelarbeit, unterstützt durch ein begleitendes Skript, abgehalten. Diese wird durch Zwischenfragen des Lehrenden an die Lernenden und die Möglichkeit von Rückfragen durch die

Studierenden an den Lehrenden ergänzt, um so Inhalte gegebenenfalls zu diskutieren. Die Studierenden sollen die Inhalte in den Selbstlernphasen eigenständig ohne weitere Hilfestellung vertiefen. Diese Vertiefung der Inhalte wirft unter den Studierenden oftmals Probleme auf. Die Verknüpfung mit Vorwissen und das Verstehen von übergreifenden Zusammenhängen, um langfristiges Wissen aufzubauen und die Inhalte im persönlichen Wissensnetzwerk gut zu verknüpfen, erfolgt meist nicht wie gewünscht. Die Inhalte werden verstanden und können in direkten Beispielen angewendet werden, jedoch nicht im größeren Zusammenhang gesehen, nur schwer eingeordnet und übergreifend angewendet werden.

Eine Vertiefung im Sinne einer Einordnung, guten Verknüpfung und aktiven Anwendung muss in den Präsenzphasen erfolgen. Diese werden oftmals jedoch für die Inhaltsdarstellung genutzt, sodass wenig Zeit dafür bleibt.

Ziel der Bachelorarbeit war es also, den Themenabschnitt Bioreaktortechnik inhaltlich auf Basis der bestehenden Inhalte auszuarbeiten und mit den Inhalten der Lehrveranstaltung Wärme- und Stoffaustausch (im Folgenden WSA) stärker zu verknüpfen. Zudem sollte ein didaktisches Konzept zur Verbesserung der genannten Bildungsprobleme entwickelt werden. Dazu wurde das Blended-Learning-Konzept ausgewählt, das in der Lerneinheit exemplarisch für den ausgewählten Themenabschnitt erprobt werden sollte. In diesem sollten die Präsenz- und Selbstlernphasen stärker miteinander verknüpft werden, um so den Studierenden die Nacharbeitung der Inhalte zu erleichtern. Ebenfalls sollte die Inhaltsdarstellung wenn möglich auf die Selbstlernphasen verlagert werden, um so selbständigeres Arbeiten mit den Inhalten zu ermöglichen und in den Präsenzphasen mehr Zeit für die Vertiefung zu schaffen. Zudem war das Ziel mehr aktivierende Methoden zu verwenden, um den Studierenden die Möglichkeit der aktiven Arbeit mit den Inhalten zu geben. Letztlich sollten entsprechende Arbeitsmaterialien ausgearbeitet werden.

Nachfolgend werden der Lerninhalt und darauf basierend ausgearbeitete Lernziele der Lerneinheit definiert (s. Kapitel 2), die Lernsituation analysiert (s. Kapitel 3) und verschiedene didaktische Methoden vorgestellt (s. Kapitel 4). Darauf basierend wird das entwickelte Lernangebot in Form der Blended-Learning-Einheit Bioreaktoren beschrieben und diskutiert (s. Kapitel 5). Abschließend folgt ein Fazit und ein Ausblick (s. Kapitel 6).

2. Lerninhalte und Lernziele

2.1 Theorie der Kompetenzstufen

Lernziele werden durch Angabe der lernenden Person, der Handlung als Ergebnis des Lernprozesses und dem Gegenstand, auf den sich die Handlung bezieht, definiert (vgl. folgendes Beispiel). (Kerres, 2013, Seite 317)

„Die Studierenden können verschiedene Varianten des Airlifltreaktors beschreiben.“

Dabei beschreibt die Wahl des Verbs die jeweilige Kompetenzstufe, deren Gliederung zum Beispiel in der Taxonomie nach Bloom (1976) vorgenommen wird (vgl. Tabelle 1). Eine eindeutige Unterscheidung der einzelnen Stufen ist in einem konkreten Beispiel oft sehr schwierig. Die Gliederung kann jedoch als Orientierung genutzt werden.

Tabelle 1: Taxonomie von Kompetenzstufen nach Bloom et al. (1976) zur Definition von kognitiven Lernzielen
(in Anlehnung an Kerres, 2013, Seite 312 f.)

Kompetenzstufen	Erklärung
Bewertung	anhand eigener Kriterien systematisch bewerten, problemlösend arbeiten, produzieren
Synthese	aus erlernten Strukturen etwas Neuartiges entwickeln, Elemente zusammenfügen, kritisieren, prüfen
Analyse	eigenes Modell und eigene Kriterien entwickeln, Unterschiede und Hintergründe erkennen
Anwendung	Elerntes in ähnlichen Situationen ausführen
Verstehen	einfachste Ebene des Begreifens, Elerntes sinngemäß abbilden, zusammenfassen, Beispiel finden, Schlussfolgerungen ziehen
Wissen	Elerntes in unveränderter Weise wiedererkennen und wiedergeben

Das Leistungsniveau steigert sich mit jeder Kompetenzstufe, wobei eine höhere Stufe immer die darunter liegenden beinhaltet. Das Erreichen einer höheren Kompetenzstufe fordert eine zeitintensivere und aufwendigere Vermittlung der Inhalte, weshalb sich die Lernmethoden je nach Kompetenzstufe sehr stark unterscheiden. (Kerres, 2013, Seite 313)

2.2 Definition des Lerninhaltes und der Lernziele

Die Lehrveranstaltung FBRT als Bestandteil des vierten Studiensemesters gehört zum zweiten Teil des Studiums, in dem die Studierenden durch fachspezifische Lehrveranstaltungen auf die im ersten Teil des Studiums erlangten natur- und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen aufbauen und Kenntnisse in den verschiedenen Bereichen der Biotechnologie erlangen sollen. Dabei geht es in genannter Lehrveranstaltung um das Verständnis von Fermentationsprozessen. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2011, Seite 3)
Der Inhalt der Lehrveranstaltung gliedert sich bisher in fünf Themenkapitel. Im ersten Kapitel

werden verschiedene biotechnologische Prozessanwendungen und die Einsatzgebiete von biotechnologischen Produkten besprochen. In den beiden folgenden Themenabschnitten werden die im Bioreaktor ablaufenden Prozesse und die Prozessführung hinsichtlich der Enzym- und Bioreaktionstechnik erläutert, wobei der Rührkesselreaktor als Standardbioreaktor für Beschreibungen genutzt wird. Der vierte Themenabschnitt behandelt die Thematik der Bioreaktortechnik hinsichtlich der Anforderungen an einen Bioreaktor, seiner Aufgaben und beispielhaft besprochene Vielfalt der verschiedenen Bioreaktoren, wobei die Themenaspekte relativ losgelöst voneinander und von den übrigen Themenaspekten der Lehrveranstaltung besprochen werden. Anschließend erhalten die Studierenden im fünften Themenabschnitt eine Wiederholung der Wärme- und Stoffaustauschvorgänge in einem Bioreaktor als Inhalt der Lehrveranstaltung WSA. Auch dieser Themenabschnitt wird nicht genügend mit den sonstigen Inhalten der Lehrveranstaltung verknüpft.

Die Blended-Learning-Einheit Bioreaktoren soll zukünftig den vierten Themenabschnitt ersetzen, wobei Inhalte des Themenabschnittes aufgegriffen, erweitert und mit den Themenaspekten vorheriger und des fünften Themenabschnittes und denen anderer Lehrveranstaltungen stärker verknüpft werden.

Die Studierenden kennen den Begriff einer Fermentation bereits aus dem ersten Teil der Lehrveranstaltung. Auf Basis dieses Begriffes soll in der Blended-Learning-Einheit der Fermentationsprozess als enzymkatalysierte biochemische Stoffumwandlung in einem Bioreaktor als abgegrenzten Raum, der die für die Stoffumwandlung notwendigen Bedingungen herstellt (Storhas, 1994, Seite 2 f.), definiert werden. Dieser Zusammenhang soll anschließend aufgegriffen werden, um die weiteren Themenaspekte der Lehrveranstaltung daraus abzuleiten und sie so am Vorwissen zu verankern und zusammenhängend zu bearbeiten. Aus dem Zusammenhang sollen dazu die Anforderungen einer Stoffumwandlung an einen Bioreaktor und damit verschiedene Aufgaben und Einteilungskriterien von Bioreaktoren abgeleitet. Auf Basis dieser Einteilungskriterien kann die Vielzahl von Bioreaktortypen bearbeitet werden. Anschließend kann die Frage nach einem Vergleich der Bioreaktoren hinsichtlich der Erfüllung der Aufgaben eines Bioreaktors erörtert werden. Dazu werden verschiedene Charakterisierungsmerkmale herangezogen, die die Studierenden zum Teil bereits aus der Lehrveranstaltung WSA kennen. Dieses Wissen wird wieder aufgegriffen und die Zusammenhänge der Merkmale unter Variation typischer Parameter eines Fermentationsprozesses analy-

siert. Die beschriebenen Themenaspekte sollen dabei auf Basis der in Abbildung 1 dargestellten Lernziele bearbeitet werden. Bei den Inhalten handelt es sich um relativ schwer anzuwendende Inhalte. Trotzdem sollen die Studierenden ihr eigenes Modell aus den Inhalten entwickeln und damit die Kompetenzstufe der Analyse erreichen, um die neuen Inhalte sehr gut in ihr Wissensnetzwerk einbauen zu können und die Inhalte nicht nur anzunehmen, sondern zu verstehen, zu hinterfragen und sie begründet wiedergeben zu können. Dies beschreibt das vielfach verwendete Verb der begründeten Beschreibung und Benennung.

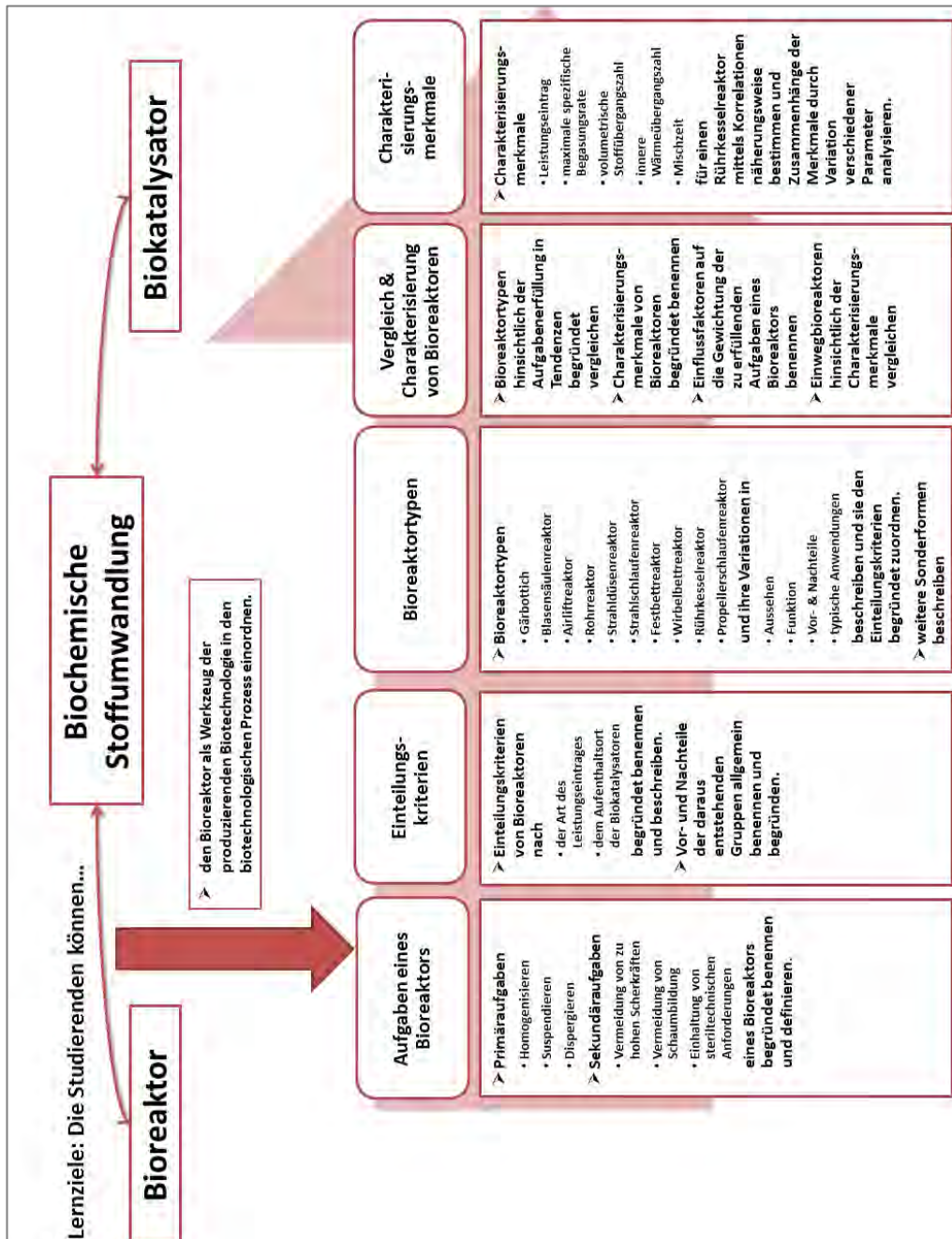


Abbildung 1: Inhaltliche Themenaspekte und dazugehörige Lernziele der Blended-Learning-Einheit

Die Themenaspekte der Einheit mit den hier angegebenen Lernzielen leiten sich aus der in einem Bioreaktor ablaufenden enzymkatalysierten, biochemischen Stoffumwandlung in einem biotechnologischen Prozess ab.

3. Lernsituation

3.1 Zielgruppe

Die Zielgruppe der Lerneinheit setzt sich aus den Teilnehmern der Lehrveranstaltung FBRT mit einer Teilnehmerzahl von 30 bis 40 Studierenden zusammen.

Es gibt keine offiziellen Teilnahmevoraussetzungen für die Lehrveranstaltung. Als Orientierung für die Studierenden sind im Modulhandbuch des Studienganges technische und naturwissenschaftliche Grundlagenkenntnisse und Kenntnisse aus den Bereichen Biochemie und angewandte Mikrobiologie als Voraussetzung angegeben. Zudem sind Kenntnisse aus den Lehrveranstaltungen WSA und Strömungslehre wichtig. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2011, Seite 38 ff.) Zu den genannten Bereichen werden nach Regelstudienplan Lehrveranstaltungen in den ersten drei Semestern absolviert, womit davon auszugehen ist, dass die Studierenden entsprechendes Vorwissen haben, das nach gegebenenfalls kurzer Auffrischung angewendet werden kann.

In den meisten Lehrveranstaltungen des Bachelorstudiums werden die Inhalte überwiegend in einer Präsentation durch den Lehrenden ergänzt durch Zwischenfragen seitens des Lehrenden oder der Lernenden präsentiert. Aktivierende Lernmethoden wie der Gruppenarbeit werden in den Präsenzphasen einer Lehrveranstaltung nur selten gefordert, weshalb neue Lehrmethoden vor Nutzung erklärt und ihr Einsatz begründet werden sollte.

Für die Auswahl von Lernmethoden ist eine Analyse der Lernmotivation, also der Beweggründe der Lernbereitschaft, wichtig. Dabei unterscheidet man in intrinsisch, also auf Basis von Interesse an einem Thema und dem Willen dieses zu befriedigen, entstehende Motivation und extrinsisch, also auf Basis eines zu erreichenden Ziels und den daraus entstehenden Vorteilen, entstehende Motivation. (Schlag, 2013)

Auf Basis der freiwilligen Entscheidung der Teilnehmer für das Biotechnologiestudium und dem damit verbundenen Interesse am Studienfach ist von einer gewissen intrinsischen Motivation auszugehen. Zudem ist die Lehrveranstaltung zwar eine Pflichtveranstaltung, es liegt jedoch keine Anwesenheitspflicht vor, sodass die Studierenden freiwillig an den Präsenzveranstaltungen teilnehmen. Am Ende des Semesters ist eine erfolgreiche Prüfung zum Bestehen notwendig, was bei den Studierenden immer eine extrinsische Motivation erzeugt. Der

Abschluss des Studiums sollte jedoch immer mit einer Berufsqualifikation verbunden sein, für die die Studierenden insoweit selbst verantwortlich sind, dass sie die Inhalte des Studiums so festigen, dass sie diese nicht ausschließlich für das Bestehen einer Prüfung lernen.

Auf Basis einer intrinsischen Motivation ist ein Lernender bereit, wesentlich mehr als notwendig zu tun. Deshalb benötigt er wesentlich weniger motivierende Anreize. Dies führt zu einer stärkeren Verknüpfung neuer Lerninhalte im eigenen Wissensnetzwerk, da diese Lernenden von sich aus mehr über die Inhalte nachdenken und sie versuchen zu verstehen. Eine intrinsische Motivation geht jedoch verloren, wenn die Lernenden keine Möglichkeit haben, ihr Interesse zu bekunden, selbst an Inhalten zu arbeiten, sie anzuwenden und über die Thematik zu diskutieren. Ein Lernender mit einer extrinsischen Motivation hingegen ist bestrebt nur so viel wie nötig zu tun. Er benötigt mehr motivierende Elemente. Ein Lernprozess begründet auf einer extrinsischen Motivation führt vermehrt zu kurzfristigem Lernen für eine Prüfung und einer schlechten Verankerung im Wissensnetzwerk. (Schlag, 2013)

Die Motivation der Teilnehmer setzt sich meist aus beiden Motivationsarten zusammen. Ziel sollte es sein, ein Gleichgewicht zwischen beiden Motivationsarten und damit der Prüfungsvorbereitung und dem Wecken von Interesse am Fach und den Inhalten zu schaffen. Zweites kann durch die Darstellung von praxisnahen und anwendungsorientierten Inhalten und dem Einbeziehen der Studierenden in die Lehrveranstaltung erfolgen. Zudem sollte immer klar sein, warum bestimmte Inhalte besprochen werden und damit wichtig sind. Ein Lehrender kann entsprechende Angebote machen, letztlich sind jedoch die Studierenden selbst für ihren Wissensaufbau zuständig. In eine Lehrveranstaltung sollten nicht mehr Prüfungssituationen als notwendig integriert werden, um die Studierenden nicht abzuschrecken. Aufgaben und Fragen sollten auf freiwilliger Basis zur Selbstkontrolle bearbeitet werden.

3.2 Zeitliche und räumliche Verfügbarkeit

Der für die Studierenden durchschnittliche zeitliche Arbeitsaufwand für eine Lehrveranstaltung wird in Credit Points angegeben. Ein Credit Point entspricht einem Aufwand von 30 Zeitstunden (Kultusministerkonferenz, 2010). Der Lehrveranstaltung FBRT sind 5 Credit Points zugeordnet, die einem Arbeitsaufwand von 150 Zeitstunden entspricht. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2011, Seite 38) Für die Durchführung der Lerneinheit sind 2 Wochen pro Semester vorgesehen, was bei einer Semesterlänge von 16

Wochen einem Arbeitsaufwand der Studierenden von 18,75 Zeitstunden entspricht. Die Lehrveranstaltung beinhaltet einen Präsenzanteil von 4 Semesterwochenstunden, also 3 Zeitstunden pro Woche. Damit ergibt sich ein Arbeitsaufwand von 12,75 Zeitstunden für die Selbstlernphasen. Mit der Berücksichtigung einer nötigen Prüfungsvorbereitung kurz vor der Prüfung wird die Lerneinheit mit einem Arbeitsaufwand von 8 Zeitstunden geplant.

Für die Lehrveranstaltung steht ein Lehrraum mit Platz für maximal 50 Studierende zur Verfügung. In diesem sind eine große Kreidetafel und ein Beamer mit entsprechender Leinwand verfügbar. Weitere Materialien müssen organisiert und mitgebracht werden.

3.3 E-Learning an der HAW Hamburg

Die HAW Hamburg nutzt den hochschulweiten Dienst Elektronische Medien, Information, Lehre (im Folgenden EMIL) in Form der E-Learning- und Kommunikationsplattform Moodle, auf der Onlinelernräume angelegt werden können. Diese Lernräume sollen das webgestützte Lernen als Ergänzung der Präsenzlehre ermöglichen, diese jedoch nicht ersetzen. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2013) Nach Erstellung eines Onlinelernraumes können sich Studierende mit einem Zugangsschlüssel in den Lernraum einschreiben. Der Onlinelernraum bietet dabei vielfältige Möglichkeiten der Kommunikation und Lehre zwischen den eingeschriebenen Studierenden und dem Lehrenden. Der Onlinelernraum enthält die Kursseite, die in mehrere Bereiche eingeteilt ist (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Aufbau der Kursseite des Onlinelernraumes FBRT auf der Lernplattform Moodle der HAW Hamburg

Die Kursseite enthält verschiedene Bereiche mit Aktivitäten zur Kommunikation und zum Lernen.

Mittig können vom Lehrenden in Abschnitte gegliedert verschiedene Lernaktivitäten und Arbeitsmaterialien (vgl. Tabelle 2) erstellt werden. Dieser Bereich wird vom Lehrenden frei gestaltet. Auf der linken Seite der Kursseite sind weitere Blöcke enthalten, die zum Beispiel den Kalender und ein für alle Teilnehmer sichtbares Forum vorsehen, über den die Lehrveranstaltung geplant werden kann. Ebenfalls ist dort der Navigations- und Einstellungsbereich angesiedelt. (Gertsch, 2007, Seite 64 ff.)

Tabelle 2: Übersicht der über die Lernplattform EMIL zur Verfügung stehenden Arbeitsmaterialien und Lernaktivitäten mit Gliederung in die jeweilige Nutzungsart, nach Gertsch (2007)

Arbeitsmaterial	Textfeld	Darstellen von Texten, Abbildungen oder Tabellen auf der Kursseite (oft genutzt zur Gliederung der Kursseite)	Verteilen von statischen Lernmaterialien an die Lernenden
	Textseite	Darstellen von Texten, Abbildungen oder Tabellen auf einer separaten Seite mit Verlinkung auf der Kursseite	
	Dateien	Hochladen von unterschiedlichen Dateientypen mit Verlinkung auf der Kursseite	
	Buch	Darstellen von Texten, Abbildungen, Tabellen oder anderen multimedialen Inhalten auf mehreren Seiten mit Verlinkung auf der Kursseite	
Lernaktivitäten	Abstimmung	Erhalten von Antworten der Teilnehmer auf eine gestellte Frage	Kommunikationsmöglichkeiten
	Befragung	Erhalten von Antworten der Teilnehmer auf mehrere gestellte Fragen (Fragebogen)	
	Forum	Möglichkeit der Kommunikation zwischen den Lernenden und mit dem Lehrenden	
	Chat	Möglichkeit der Kommunikation zwischen einer kleinen Gruppe von Teilnehmern und dem Lehrenden	
	Aufgaben	Beantwortung einer Frage durch die Lernenden mit Möglichkeit eines Feedbacks	Interaktionsmöglichkeit der Lernenden
	Test	Beantwortung mehrerer Fragen durch die Lernenden mit Möglichkeit eines Feedbacks	
	Lektion	Verknüpfung der Darstellung von Inhalten und der Fragenstellung durch miteinander verlinkte Inhalts- und Frageseiten	
	Datenbank	Sammlung von Inhalten verschiedener Art	Erarbeiten & darstellen von Inhalten durch Lernende
	Wiki	Sammlung von Inhalten verschiedener Art, die auf miteinander verlinkten Seiten dargestellt werden	
	Glossar	Darstellen von Definitionen in Form eines Wörterbuches	

Die Studierenden sind mit dem Einsatz der Lernplattform Moodle grundsätzlich vertraut, da sie von vielen Lehrenden der HAW Hamburg genutzt wird. Die Nutzung beschränkt sich jedoch meist auf den Kalender, das Forum und die Bereitstellung von Lehrmaterialien als PDF-Dateien. Es ist somit davon auszugehen, dass die Studierenden die verschiedenen Lernaktivitäten nicht kennen und diese vor Nutzung erläutert werden sollten. Für die Lehrveranstaltung FBRT wird bereits ein Onlinekurs in beschriebener Weise genutzt, in den die Teilnehmer der Lehrveranstaltung eingeschrieben sind.

4. Didaktische Methoden

Eine Gliederung von didaktischen Methoden kann danach erfolgen, wer den aktiven Part in der Methode inne hat. Dabei erfolgt diese in darbietende, erarbeitende und entdeckenlassende Methoden. (Wellstein, 2003, Seite 2 f.)

Bei darbietenden Methoden erfolgt die Vermittlung durch den Lehrenden ohne Interaktion mit den Lernenden in Form einer Präsentation von Fakten und Zusammenhängen, wodurch die Kompetenzstufen Wissen und Verstehen erreicht werden können. Diese Art von Wissen beruht auf dem Auswendiglernen und der einfachsten Ebene des Verstehens und Anwendens. Durch die Bearbeitung von einfachen Beispielen kann ebenfalls die Kompetenzstufe des Anwendens erreicht werden. Dies stellt eine ungenügende Verknüpfung im Wissensnetzwerk dar. (Wellstein, 2003, Seite 2 f.)

Bei erarbeitenden Methoden hingegen können die Lernenden aktiv mitarbeiten, wobei der Lehrende in den Verlauf eingreift und diesen steuert. Diese Art von didaktischer Methode ist oftmals zum Erarbeiten von komplexen Zusammenhängen geeignet, die die Studierenden ohne Unterstützung des Lehrenden so nicht erarbeiten können. (Wellstein, 2003, Seite 2 f.)

Bei entdeckenlassenden Methoden erfolgt die Vermittlung durch eine selbstständige Arbeit der Lernenden, in die der Lehrende nur im geringen Maße eingreifen kann und damit ein sehr selbstständiges Arbeiten vorausgesetzt wird. Die Lernenden werden mit Problemen konfrontiert und sollen sie allein lösen, wobei sehr komplexe Zusammenhänge oftmals nicht zu erarbeiten sind. (Wellstein, 2003, Seite 2 f.) Auf Basis der beiden letztgenannten Methodengruppen können die Kompetenzstufen Analyse und Synthese erreicht werden, da die Studierenden sich aktiv in den Bearbeitungsprozess einbringen können und so auf Basis der Inhalte ihr eigenes Wissen aufbauen können, indem sie mit diesen arbeiten. Mittels didaktischer Methoden der letztgenannten Gruppe kann beim Arbeiten mit fächerübergreifenden Inhalten in Projektarbeiten auch die Kompetenzstufe der Bewertung erreicht werden.

Diese Gliederung kann in Präsenz- und Selbstlernphasen durch verschiedene didaktische Methoden umgesetzt werden (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: didaktische Methoden in Präsenz- und Selbstlernphase gegliedert nach der Art der Interaktion von Lehrenden und den Lernenden (nach Wellstein, 2003, Seite 2 f.)

... Methoden	Präsenzphase	Selbstlernphase
Darbietende	Präsentation durch Lehrenden	Einzelarbeit ohne Interaktionsmöglichkeiten
Erarbeitende	Arbeit mit dem Plenum	Einzelarbeit mit Interaktionsmöglichkeiten
Entdeckenlassende	Gruppenarbeit Präsentation durch Lernende	Gruppenarbeit

4.1 Präsentation durch Lehrenden

Bei der Präsentation durch den Lehrenden werden einem Plenum aus Lernenden Inhalte in Form eines Vortrags durch den Lehrenden dargestellt. In Bezug auf die angesprochene Umfokussierung vom Lehrenden auf den Lernenden wird diese didaktische Methode immer kritischer betrachtet, da die Lernenden keine Möglichkeit der aktiven Einbringung haben. Ein gezielter, gut dosierter und kompakter Einsatz zur thematischen Einführung, Vorstellung von neuen Methoden, Übermittlung von organisatorischen Informationen und Darstellung von komplexen Zusammenhängen ist oftmals jedoch notwendig und sollte somit nicht negativ ausgelegt werden. Vielmehr kommt es auf eine gute Mischung an, in der diese Methode ebenfalls Einsatz findet. (Wellstein, 2003, Seite 4)

4.2 Arbeit mit dem Plenum

Die Arbeit mit dem Plenum stellt eine Erweiterung der didaktischen Methode der Präsentation durch den Lehrenden durch integrierte Fragen und Diskussionen im gesamten Plenum dar und ermöglicht einen fragendentwickelnden Unterricht und ein Unterrichtsgespräch, in das der Lehrende jedoch eingreifen und unterstützen kann. So ist diese Methode auch für komplexe Inhalte, die eine vom Lehrenden losgelöste Bearbeitung nicht erlauben, geeignet, ermöglicht jedoch trotzdem die aktive Mitarbeit der Lernenden. (Wellstein, 2003, Seite 4)

4.3 Gruppenarbeit

Die Gruppenarbeit beschreibt die Zusammenarbeit mehrerer Lernender für einen bestimmten Zeitraum, um Inhalte hinsichtlich gestellter Fragen zu bearbeiten, Aufgaben zu lösen, Inhalte zu erarbeiten oder Ähnliches. Dabei kann der Lehrende im Gegensatz zur Arbeit mit dem Plenum nicht in dem Umfang in das Geschehen eingreifen und unterstützen. Er kann lediglich bei einer im Arbeitsraum während einer Präsenzveranstaltung stattfindenden Gruppenarbeit umhergehen. Diese Methode erfordert deshalb mehr eigenständiges Arbeiten und ist damit zum Erarbeiten komplexer Zusammenhänge weniger geeignet, bietet den Lernenden aber mehr Freiheiten in ihrem Denken und Handeln. Dies kann auch in Selbstlernphasen in Form persönlicher Treffen oder durch Nutzung eines Onlinelernraumes erfolgen. (Waldherr et al., 2009, Seite 19 f.)

World Café

Das World Café ist eine Art der Gruppenarbeit, in der es darum geht, die Teilnehmer miteinander ins Gespräch kommen zu lassen. Dabei kommen in mehreren Phasen der Durchführung immer andere Lernende zusammen, sodass durch die Ideen und Ansätze von anderen die eigene Vorstellung des Wissens erweitert wird. Die Teilnehmer des World Cafés sitzen an verschiedenen Tischen. Auf den Tisch wurde üblicherweise ein großes Papier als Tischdecke gelegt. Die Teilnehmer einer Tischrunde erhalten eine Fragestellung, die sie diskutieren sollen. Dabei sollen sie ihre wichtigsten Ergebnisse auf die Tischdecke schreiben, skizzieren oder anderweitig darstellen. Nach einer bestimmten Zeit wechseln die Teilnehmer ihren Tisch. Dabei bleibt jeweils ein Teilnehmer der ersten Tischrunde an seinem Platz als Gastgeber sitzen. Neue Teilnehmer des World Cafés kommen nun in der folgenden Gesprächsrunde an seinen Tisch. Der Gastgeber informiert die Neuankömmlinge über die bisherigen Ergebnisse. Die neue Runde diskutiert anschließend meist unter einer weiterführenden Fragestellung. Das World Café besteht üblicherweise aus 3 Gesprächsrunden. Die Teilnehmer nehmen durch ihren Wechsel zwischen den Tischen aufgebautes Wissen mit und können dies an anderen Tischen eventuell einbringen. Ebenso nehmen sie an verschiedenen Themendiskussionen teil und erhalten so Informationen aus verschiedenen Themenfeldern. Nach Abschluss dieser Gesprächsrunden werden die Ergebnisse im Plenum meist durch den Gastgeber vorgestellt. (theWorldCafé, 2014)

4.4 Präsentation durch Lernende

Die Präsentation durch Lernende beschreibt eine Form der Informationspräsentation durch einen oder mehrere Lernende, die oftmals das Ergebnis einer Gruppenarbeit darstellt. Dabei können entweder von jeder Gruppe unterschiedliche Inhalte bearbeitet worden sein, die nun allen Lernenden vorgestellt werden oder alle Gruppen haben die gleichen Inhalte bearbeitet und diese werden nun abgeglichen und diskutiert. Diese didaktische Methode hat den Vorteil, dass die Lernenden durch das Vorstellen der Inhalte noch einmal auf einer ganz anderen Ebene mit diesen arbeiten, da sie die Inhalte, die sie den anderen Lernenden beibringen, in einem ganz anderen Maße hinterfragen.

Infomarkt

Der Infomarkt stellt eine Alternative zur üblichen Präsentation durch Lernende in Form eines Vortrags dar. Die Lernenden können dabei den anderen Teilnehmern ebenfalls erarbeitete

Informationen präsentieren, tun dies jedoch nicht in Form eines Vortrags. Durch diese Methode können Ergebnisse mehrerer Gruppen vorgestellt werden, ohne dass diese Vorstellung in einer langen Abfolge von Vorträgen endet, was oftmals in Unkonzentriertheit und Unaufmerksamkeit der Zuhörer endet. Bei der Methode des Infomarkts werden die von verschiedenen Gruppen erarbeiteten Ergebnisse auf Plakaten dargestellt. Diese werden im Raum aufgehängt und die Lernenden können sich die Plakate durchlesen und so die Inhalte erarbeiten. So werden alle Teilnehmer aktiver in das Geschehen eingebunden. Typischerweise ist der Infomarkt in mehrere Phasen gegliedert, sodass immer ein Teil der Gruppe neben ihrem Plakat stehen bleibt und auf gegebenenfalls auftretende Fragen antworten und diese diskutieren kann. (Waldherr et al., 2009, Seite 30 ff.)

4.5 Einzelarbeit ohne Interaktionsmöglichkeit

Die Einzelarbeit ohne Interaktionsmöglichkeit für den Lernenden stellt das Gegenstück zur Präsentation durch den Lehrenden dar, in dem die Inhalte nicht mehr durch den Lehrenden in einer Präsentation vorgestellt werden, sondern in Form von Texten, Abbildungen, Tabellen, Videos oder Tondateien. Die Inhalte können dabei in ausgedruckter Form oder online in einem Onlinelernraum in Form von einer Datei oder eines anderen Arbeitsmaterials zur Verfügung stehen. Auch diese Art der Inhaltsdarstellung ist in einzelnen Phasen sinnvoll, sollte jedoch nicht ausschließlich eingesetzt werden. (Wellstein, 2003, Seite 9)

4.6 Einzelarbeit mit Interaktionsmöglichkeit

Die Einzelarbeit mit Interaktionsmöglichkeit stellt eine Erweiterung der Einzelarbeit ohne Interaktionsmöglichkeit dar, in der die Lernenden die Möglichkeit der Interaktion durch Fragen, die zu beantworten sind oder Aufgaben die zu bearbeiten sind, haben. Dies kann ebenfalls in ausgedruckter Form sein oder Online mit direkter Rückmeldung. Durch die Form der Einzelarbeit wird den Studierenden das Bearbeiten von Inhalten ermöglicht, wobei sie sich aktiv einbringen können. Dies hat gegenüber den Formen im Präsenzunterricht den Vorteil, dass die Studierenden sich auf sich selbst und die Inhalte konzentrieren können. (Wellstein, 2003, Seite 9)

Lektionen

Die Lektion stellt eine Lernaktivität in einem Onlinelernraum auf EMIL dar (vgl. Kapitel 3.3) und eine Möglichkeit einer solchen Einzelarbeit mit Interaktionsmöglichkeit, indem sie die

Möglichkeit bietet, Inhalte auf verschiedenen, miteinander verknüpften Inhaltsseiten übersichtlich unter Nutzung von Texten, Abbildungen, Tabellen und Diagrammen darzustellen. Zudem können Frageseiten mit unterschiedlichen Fragetypen ebenfalls mit diesen Inhaltsseiten verknüpft werden. Somit können Frageseiten zum einen zur Selbstüberprüfung zu verschiedenen Zeitpunkten im Durchgang eingefügt werden und zum anderen eine aktive Mitarbeit durch Frageseiten vor Bereitstellung der Inhalte ermöglicht werden. So können die Lernenden Vorwissen aktivieren und Inhalte aus diesem ableiten. Es stehen dabei Frageseiten des Typs Numerisch, Wahr/Falsch, Zuordnung und Multiple-Choice zur Verfügung, die ohne Rückmeldung des Lehrenden genutzt werden können. Ebenfalls sind Frageseiten vom Typ Freitext und Kurzantwort möglich, die einer Rückmeldung des Lehrenden bedürfen, hier jedoch nicht genutzt werden, um die Unabhängigkeit vom Lehrenden beizubehalten. Durch die Verknüpfung wird zudem eine variable Bewegung des Lernenden durch die Lektion ermöglicht. So können ergänzende Seiten eingefügt werden, die bei Bedarf zum Beispiel als kurze Wiederholung eigentlich bereits bekannter Inhalte genutzt werden. (Gertsch, 2007, Seite 293 ff.)

5. Umsetzung

Die zweiwöchige Lerneinheit besteht aus abwechselnd stattfindenden Präsenz- und Selbstlernphasen mit einem in Kapitel 3.2 ermittelten gesamten Arbeitsaufwand von 14 Zeitstunden. Die 4 Präsenzveranstaltungen finden wie im Vorlesungsverzeichnis vorgesehen zweimal wöchentlich zu je 90 Minuten mit einem Gesamtarbeitsaufwand von 6 Zeitstunden statt und werden durch 3 Selbstlernphasen mit einem gesamten, aber nicht gleichmäßig auf sie verteiltem Arbeitsaufwand von 8 Zeitstunden ergänzt (vgl. Abbildung 3). Dabei werden in den Präsenz- und Selbstlernphasen die in Abbildung 1 dargestellten Themenaspekte und Lernziele in wie in Abbildung 3 gegliedert erarbeitet.

Das erarbeitete Lernangebot stellt dabei eine in sich abgeschlossene Einheit dar. Die Durchführung der Einheit ist nach der Bearbeitung der ersten drei Themenkapitel der Lehrveranstaltung FBRT vorgesehen. Sie ist nur bedingt von den Inhalten des zweiten und dritten Themenkapitels abhängig, sodass sie bei Bedarf auch nach dem ersten einführenden Themenkapitel durchgeführt werden könnte.

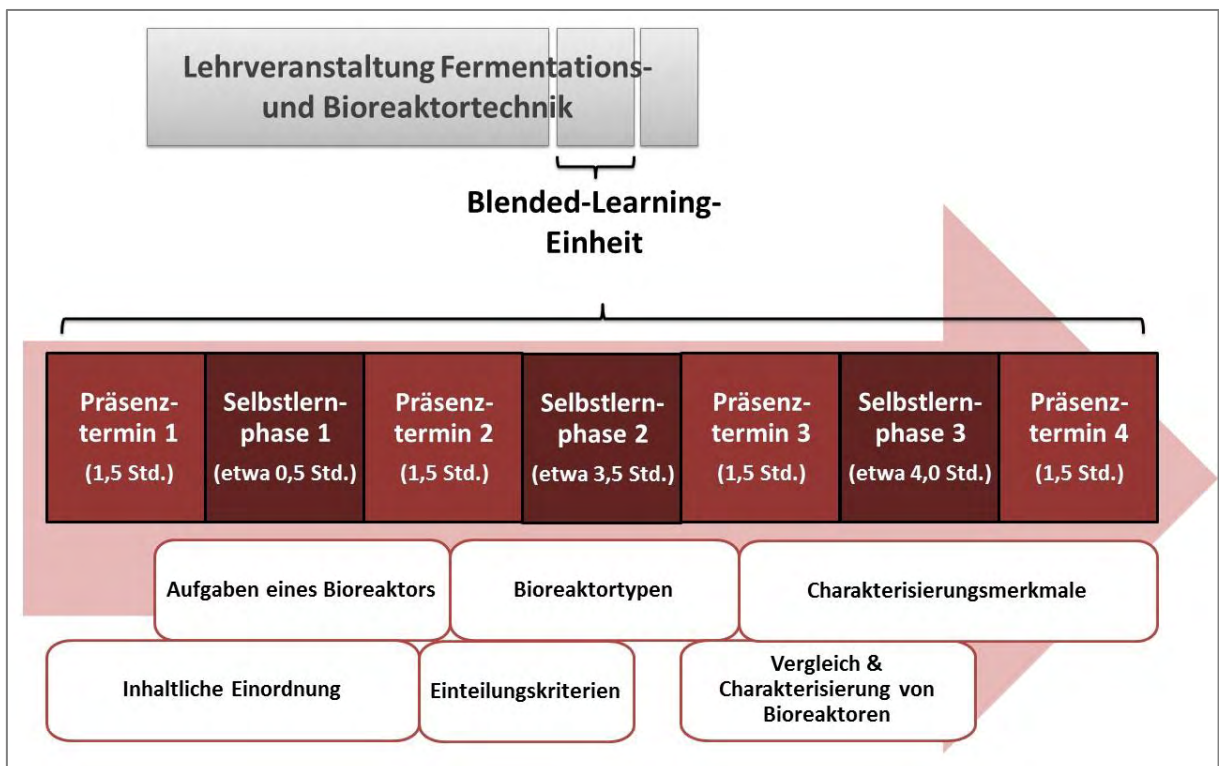


Abbildung 3: Aufbau der Blended-Learning-Einheit

Die Blended-Learning-Einheit als Teil der Lehrveranstaltung FBRT gliedert sich in 4 Präsenztermine und 3 Selbstlernphasen mit angegebenem durchschnittlichem Arbeitsaufwand, in denen die Themenaspekte aus Abbildung 1 in dargestellter Gliederung bearbeitet werden.

Die Erarbeitung der Inhalte wird durch eine Vorstellung des didaktischen und inhaltlichen Konzeptes der Lerneinheit durch den Lehrenden am ersten Präsenztermin (vgl. Tabelle 4) und eine am letzten Präsenztermin erfolgende Evaluation der Einheit (vgl. Tabelle 15) eingefasst. Ersteres erfolgt um den Studierenden eine Orientierung in der Lerneinheit und eine Sicherheit im Vorgehen in den folgenden zwei Wochen zu geben. Zudem wird so die intrinsische Motivation wie in Kapitel 3.1 beschrieben gestärkt. Zweiteres soll dazu dienen, die Durchführung der Lerneinheit hinsichtlich der besprochenen Inhalte und des erprobten Konzeptes unabhängig von der Evaluation der Lehrveranstaltung am Semesterende mit den Studierenden zu reflektieren, um ihnen die Möglichkeit der Einbringung zu geben, die Lehrveranstaltung zu verbessern und den Einsatz des neuen Konzeptes und eine eventuelle Ausweitung auf andere Abschnitte der Lehrveranstaltung zu diskutieren. Das Lernangebot ist für die Studierenden und somit sollten die Studierenden in dessen Verbesserung auch mit einbezogen werden. Die Evaluation ist dabei momentan mittels standardisierter Evaluationsbögen der HAW Hamburg vorgesehen (Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2014 (2)), die von den Studierenden ausgefüllt und von einer externen Person ausgewertet werden. Der Lehrende erhält anschließend die Ergebnisse, die er mit den Studierenden diskutieren kann. Sinnvoller wäre jedoch eine Evaluation mittels eines Classroom Response Systems, mit dem die Studierenden Fragen durch eine Abstimmung während der Präsenzphase beantworten und eine Auswertung direkt mittels einer Power-Point-Präsentation erfolgen könnten. Dies hätte den Vorteil, dass die Ergebnisse direkt mit den Studierenden diskutiert werden könnten und zudem die Fragen auf die Einheit zugeschnitten werden könnten. Eine solche Ausarbeitung steht jedoch noch aus.

Die Durchführung der Blended-Learning-Einheit ist an die Nutzung des Onlinelernraums FBRT auf der Lernplattform Moodle geknüpft, auf dessen Kursseite mehrere Abschnitte für die Einheit erstellt wurden. (vgl. Anhang A) Neben einem Organisationsabschnitt und einem Abschnitt mit Hinweisen zu weiterführender Literatur ist für jede Präsenz- und Selbstlernphase ein eigener Abschnitt vorhanden, um den Studierenden auch außerhalb der Präsenzphasen eine Orientierung in der Einheit und den dazugehörigen Materialien zu ermöglichen. Im Abschnitt einer Präsenzveranstaltung sind nach deren Durchführung genutzte und erarbeitete Materialien zum Download als Dateien (vgl. Tabelle 2) bereit gestellt, damit die Studierenden sich in den Präsenzphasen auf die Inhalte konzentrieren können und diese nicht

mitschreiben müssen (vgl. Anhang C). Im Abschnitt einer Selbstlernphase ist die Aufgabenstellung der Selbstlernphase in Form eines Textfeldes (vgl. Tabelle 2) noch einmal beschrieben und die zu bearbeitenden Aktivitäten bereitgestellt (vgl. Anhang C). In diesem Abschnitt sind ebenfalls Informationen und die Materialien für den Lehrenden enthalten, die für die Studierenden verborgen sind.

Jeder Präsenztermin wird durch eine genutzte Power-Point-Präsentation strukturiert. Dabei beginnt jeder Präsenztermin mit einer Übersicht über den Ablauf und die Lernziele der Präsenzphase, um den Studierenden einen Überblick über die jeweilige Präsenzveranstaltung zu verschaffen, eine Überforderung zu vermeiden und die intrinsische Motivation zu stärken (vgl. Anhang F). Zudem endet jede Phase mit einem Feedback, in dem sich die Studierenden untereinander, der Lehrende den Studierenden aber auch die Studierenden dem Lehrenden eine Rückmeldung zur vergangenen Präsenzveranstaltung geben können, um so die Arbeit der Studierenden untereinander und mit dem Lehrenden zu reflektieren und so die gemeinsame Arbeit wertzuschätzen (vgl. Anhang G). Dieses Feedback findet in Form einer mündlichen Rückmeldung statt. Hier könnten zukünftig Feedbackmethoden wie in Waldherr et al. (2009, Seite 55) aufgezeigt genutzt werden, mit denen eine schnelle und strukturierte Rückmeldung möglich ist. Ebenfalls erfolgt ein Ausblick darauf, was in der folgenden Selbstlernphase und warum es zu tun ist, um auch hier für eine gute Orientierung der Studierenden in der Blended-Learning-Einheit zu sorgen (vgl. Anhang G).

Die Selbstlernphasen werden zur Darstellung neuer Inhalte mittels der Lernaktivität Lektion genutzt, da diese als erarbeitende Methode die Kombination zwischen der Darstellung von Inhalten und der Interaktion der Studierenden ermöglicht. Die Bearbeitung der Lektionen bzw. das richtige Beantworten der Fragen stellt dabei keine Bedingung zur Teilnahme an der nachfolgenden Präsenzveranstaltung dar, um so die Einheit nicht durch eine Prüfungssituation zu prägen und die intrinsische Motivation der Studierenden zu gefährden. Trotzdem wird den Teilnehmern deutlich gemacht, dass die gemeinsame Arbeit in der nachfolgenden Präsenzveranstaltung nicht möglich ist, wenn sie die jeweiligen Lektionen nicht bearbeiten. Vor Beginn der Darstellung von Inhalten werden dabei die jeweiligen Lernziele der Lektion für die Studierenden definiert, um auch hier den Studierenden einen Überblick über die nachfolgenden Inhalte zu verschaffen und ihnen Sicherheit und Orientierung zu geben (vgl. An-

hang K). Die Inhalte einer Selbstlernphase sind dabei in mehrere Lektionen gegliedert, um den Studierenden eine Bearbeitung in mehreren Schritten zu ermöglichen und sie bei der Bearbeitung nicht zu demotivieren.

Neue didaktische Methoden in Präsenz- und Selbstlernphasen werden vor Anwendung hinsichtlich ihrer Funktion und Durchführung in den Präsenzveranstaltungen erläutert, da die Studierenden diese nicht kennen und so einer Überforderung vorzubeugen (vgl. Anhang Q).

Die in Abschnitt 2.2 auf Seite 6 beschriebene inhaltliche Einordnung auf Basis des Zusammenhangs der in einem Bioreaktor statt findenden enzymkatalysierten, biochemischen Stoffumwandlung zur Herleitung der Themenaspekte erfolgt in der ersten Präsenz- und Selbstlernphase und einem Teil der zweiten Präsenzphase. So wird eine gute Verknüpfung mit dem Vorwissen der Studierenden unterstützt. In den folgenden Phasen werden hingegen vergleichsweise viele Inhalte mit einer höheren zeitlichen Belastung in den Selbstlernphasen bearbeitet. Hier könnte ein Ungleichgewicht entstehen, das eventuell im ersten Teil zu einer Unterforderung und im zweiten Teil zu einer Überforderung der Studierenden führt. Zukünftig ist zu überlegen, ob eine entsprechende Umverteilung möglich ist, wozu jedoch eine bedeutende Umstrukturierung der Lerneinheit erfolgen müsste, um die jeweiligen Präsenztermine mit einer Länge von 90 Minuten einzuhalten.

Die Inhaltsdarstellungen in den Präsenz- und Selbstlernphasen sind durch Orientierungsabbildungen ergänzt, die gezielt immer wieder in der Lehrveranstaltung auftauchen. Sie unterstützen die Orientierung in der Lerneinheit der Teilnehmer und lockern die Inhaltsdarstellungen auf (vgl. Anhang L). So fällt die Verarbeitung der Inhalte leichter und die Inhalte werden leichter verknüpft. Zudem sind viele inhaltsdarstellende Abbildungen und Diagramme eingefügt, um die Inhalte möglichst übersichtlich darzustellen (vgl. Anhang N).

5.1 Vor Beginn der Einheit

Vor Beginn der Blended-Learning-Einheit sind die Abschnitte für die Präsenz- und Selbstlernphasen auf der Kursseite für die Studierenden verborgen und werden erst mit Verlauf der Einheit freigeschaltet. Nach Freischaltung wird jeweils eine Benachrichtigung über das Forum gegeben. So wird den Studierenden noch mehr Orientierung und Struktur gegeben und zudem ein Anreiz geschaffen, dass die Studierenden regelmäßig den Onlinelernraum besu-

chen. Der Organisationsabschnitt wird etwa 2 Wochen vor Beginn der Einheit freigeschaltet. In diesem Abschnitt ist eine Terminübersicht (vgl. Anhang B) enthalten, die vor Beginn des Semesters aktualisiert werden sollte.

Ebenfalls sollen sich die Studierenden vor Beginn der Einheit mittels einer in diesem Abschnitt hinterlegten Abstimmung je nach Gesamtgruppengröße in Gruppen von je 3 bis 4 Lernenden einteilen (vgl. Anhang B). Dabei ergeben sich jeweils 2 Gruppen zu 5 verschiedenen angegebenen biotechnologischen Anwendungen, die sich mit diesen, aus vorherigen Lehrveranstaltungen bereits im Ansatz bekannten Themen auseinandersetzen sollen. Die Studierenden sollen dabei ohne weitere Literaturhinweise die Thematik auf Basis von ihnen vorliegenden Unterlagen und selbstständigen Recherchen allgemein wiederholen, da es sich um zumindest im Ansatz bekannte und relativ leicht zu recherchierende Inhalte handelt, und dabei besonders auf die Nutzung eines Bioreaktors achten. Mit diesen Informationen soll in der ersten Präsenzveranstaltung weiter gearbeitet werden. Dies wird etwa zwei Wochen vor Beginn der Einheit im Präsenztermin und über eine Nachricht im allgemeinen Forum der Kursseite bekannt gegeben.

5.2 Präsenztermin 1: Vorstellung der Lerneinheit & Einführung in das Thema Bioreaktoren

Der erste Präsenztermin dient neben der schon in Kapitel 2.2 angeführten Vorstellung der Lerneinheit (vgl. Tabelle 4, Phase 2) der Einführung in die Thematik Bioreaktoren durch eine inhaltliche Einordnung in das Vorwissen der Studierenden (vgl. Tabelle 4, Phase 3-7).

Dabei wird die Biotechnologie als der „Einsatz biologischer Prozesse im Rahmen technischer Verfahren und industrieller Produktionen“ (Präve et al., 1994, Seite 1), also der Nutzung der Erkenntnisse aus den Biowissenschaften, indem diese mit der Verfahrenstechnik zusammengebracht werden und so biotechnologische Produkte hergestellt werden, definiert. Weiterhin wird der biotechnologische Prozess als die technische Nutzung einer Stoffumwandlung durch einen Biokatalysator in Form eines Enzyms (Präve et al., 1994, Seite 6; Storhas, 1994, Seite 2 f.), der sich in die Schritte der Herstellung bzw. Isolierung des Biokatalysators, den eigentlichen Herstellungsprozess und die Aufarbeitung des Produktes gliedert, wobei die ersten beiden das Upstream-Processing und der letzte das Downstream-Processing darstel-

len, beschrieben. Der Bioreaktor stellt dabei das wichtigste Werkzeug des Upstream-Processing dar. (Präve et al., 1994, Seite 7)

Tabelle 4: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 1 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien
(verwendete Abkürzungen: L = Lehrender, S = Studierende, Präsentation durch Lehrenden = PdLeh, Arbeit mit dem Plenum = AmdP, Gruppenarbeit = GA, Infomarkt = IM)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material	
Vorbereitung	L		2 Tage vorher: Freischalten Abschnitt 4.1 (Nachricht im Forum) Mitzubringende Materialien: Präsentation P1 (Power-Point-Datei), Anwendungsmaterialien (Ausdruck), 10 Flipchartbögen, 10 schwarze Eddingstifte, Klebeband Vorher durchzuarbeiten: Präsentation P1, Arbeitsmaterial & Beispiellösungen Anwendungen			
1	Ablauf & Lernziele	L	5 Min.	... erhalten einen Überblick über den Verlauf und Zweck der Präsenzveranstaltung.	PdLeh	Präsentation 1 (Folie 2)
2	Didaktisches & inhaltliches Konzept	L	10 Min.	... erhalten einen Überblick <ul style="list-style-type: none"> über das didaktische & inhaltliche Konzept. über den zeitlichen Ablauf der Einheit. über die Eingliederung in die Lehrveranstaltung. 	PdLeh	Präsentation P1 (Folie 3-11)
3	Inhaltliche Einordnung	L+S	10 Min.	... ordnen den Bioreaktor als Werkzeug in den biotechnologischen Prozess und damit in den Zusammenhang zwischen Stoffumwandlung, Bioreaktor und Biokatalysator ein. ... knüpfen dabei an bestehendes Vorwissen an.	AmdP	Präsentation P1 (Folie 12-18)
4	Vorstellung Aufgabe & Methode Infomarkt	L	5 Min.	... erhalten Einblick in <ul style="list-style-type: none"> den Ablauf und Zweck der folgenden Aufgabe. die Methode Infomarkt. 	PdLeh	Präsentation P1 (Folie 19-20)
5	Bearbeitung Anwendungsthemen	S	15 Min.	... beantworten Fragen zu <ul style="list-style-type: none"> der Art der vorliegenden Biokatalysatoren und deren Aufenthaltsort im jeweiligen Bioreaktor dem Ziel der Stoffumwandlung der Aufgaben des Bioreaktors und der Art des Leistungseintrags in den jeweiligen Bioreaktor in Anwendung der konventionellen Biotechnologie. ... knüpfen bei der Bearbeitung an ihr Vorwissen zu den biotechnologischen Anwendungsthemen an.	GA	Arbeitsmaterialien Anwendungen, Flipchartbögen, Eddingstifte
6	Vorstellen Ergebnisse	S	20 Min.	... kennen verschiedene Anwendungsthemen der konventionellen Biotechnologie und können diese hinsichtlich der in Phase 4 gestellten Fragen bewerten und einordnen.	IM	Flipchartbögen, Klebeband
7	Diskussion Ergebnisse	L+S	15 Min.		AmdP	Präsentation P1 (Folie 21)
8	Feedback	L+S	5 Min.	... reflektieren die vergangene Präsenzveranstaltung (Feedback untereinander und durch den Lehrenden)	AmdP	Präsentation P1 (Folie 22)
9	Ausblick	L	5 Min.	... erhalten einen Überblick über den weiteren Ablauf und den Zweck der folgenden Selbstlernphase.	PdLeh	Präsentation P1 (Folie 23)
Nachbereitung	L		Hochladen Fotos Flipchartbögen (PDF), Freischalten Präsentation P1 (PDF) Freischalten Abschnitt 4.2 (Nachricht im Forum)			

Aus dem Zusammenhang der in einem Bioreaktor ablaufenden, von einem Biokatalysator katalysierten, biochemischen Stoffumwandlung werden verschiedene Fragestellungen erarbeitet (vgl. Abbildung 4).

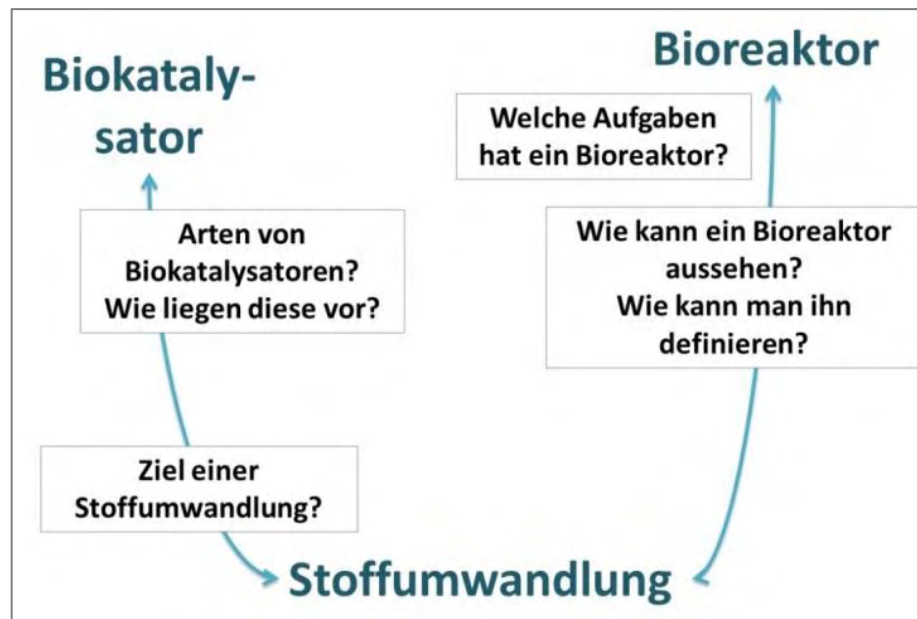


Abbildung 4: Übersichtsdiagramm der aus der in einem Bioreaktor stattfindenden enzymkatalysierten, biochemischen Stoffumwandlung entwickelten Fragestellungen hinsichtlich der Thematik eines Bioreaktors als Werkzeug im biotechnologischen Prozess

Dies erfolgt in einer Arbeit mit dem Plenum (vgl. Tabelle 4, Phase 3), um gemeinsam eine Grundlage durch Definitionen zu schaffen und das beschriebene Übersichtsdiagramm daraus zu entwickeln, mit dem anschließend weiter gearbeitet werden soll. Die Studierenden werden dabei jedoch in die Entwicklung mit einbezogen, sodass eine Verknüpfung zwischen Vorwissen und neuer Thematik unterstützt wird.

Die Fragestellungen lassen sich hinsichtlich der Vielfalt von biotechnologischen Anwendungen der konventionellen und modernen Biotechnologie sehr unterschiedlich beantworten und werden deshalb nachfolgend in den schon vorab eingeteilten Gruppen anhand von verschiedenen Anwendungsthemen in Gruppenarbeit hinsichtlich der Fragestellungen auf Basis erstellter Arbeitsmaterialien analysiert (vgl. Tabelle 4, Phase 5 & 6). Die Studierenden sollen dabei ihr vorhandenes Wissen aus anderen Lehrveranstaltungen zu verschiedenen biotechnologischen Anwendungsthemen, das sie im Vorwege der Lerneinheit aufgefrischt haben, aufgreifen und in der Präsenzveranstaltung im Hinblick auf die Thematik der Bioreaktoren bearbeiten (vgl. Anhang D und E). So erfolgt eine noch bessere Einordnung in ihr vorhandenes Wissen durch eine Verknüpfung von konkreten Anwendungen mit der aktuellen Thematik. Die Ergebnisse werden auf einem Flipchartbogen zusammengefasst und anschließend in einem Infomarkt (vgl. Abschnitt 4.4) den anderen Gruppen präsentiert, um so eine lange Abfolge von Präsentationen zu vermeiden, in denen immer nur einzelne Personen aus den

jeweiligen Gruppen Inhalte präsentieren. Stattdessen wird den Studierenden im Infomarkt Raum zum Erkunden der erarbeiteten Inhalte der anderen Gruppen gegeben. Dabei sehen sich alle Teilnehmer die ausgestellten Plakate gleichzeitig an, da die dargestellten Inhalte in Bezug auf die übergreifenden Fragen selbsterklärend sein sollten und zudem eine Zeiterparnis erfolgt. Auftretende Fragen und Anregungen werden anschließend diskutiert (vgl. Tabelle 4, Phase 7).

Dabei werden ausschließlich verschiedene Anwendungen der konventionellen Biotechnologie, also der Biotechnologie ohne Einsatz der Molekularbiologie (Präve et al., 1994), wie die Herstellung von Bier, Käse und Biogas bearbeitet, da der Informationszugang im Bereich der modernen Biotechnologie, also der Biotechnologie, in der die Molekularbiologie als Hilfsmittel eingesetzt wird (Präve et al., 1994), hinsichtlich der zu bearbeitenden Aspekte sehr schwierig ist.

Die moderne Biotechnologie und besonders der Bereich der pharmazeutischen und medizinischen Biotechnologie, (biotechnologie.de, 2013) prägt heute jedoch die Biotechnologiebranche so stark, dass auch eine Bearbeitung von Anwendungsthemen der modernen Biotechnologie eigentlich notwendig wäre, um eine geeignete Analyse der Anforderungen zu ermöglichen. Hier könnte zukünftig noch einmal die Auswahl der Anwendungsthemen und der Informationszugang geprüft werden.

Um sicher zu stellen, dass die Studierenden die Fragestellungen auf Basis der vorherigen Wiederholung bearbeiten können, wären momentan noch nicht ausgearbeitete Literaturhinweise zur Bearbeitung eventuell hilfreich. Dazu eignen sich für die Thematiken der Biogasproduktion und biologischen Abwasserreinigung zum Beispiel die Kapitel 27 und 28 aus Antranikian (2006) oder die Seiten 152 f. aus Renneberg (2007) und für die Thematiken der Käseherstellung die Seite 14 aus Renneberg (2007).

5.3 Selbstlernphase 1: Anwendungsthemen

Die erste Selbstlernphase dient der allgemeingültigen Beantwortung der Fragestellungen anhand der bearbeiteten Anwendungsbeispiele durch die Studierenden in Einzelarbeit (vgl. Tabelle 5). Die Studierenden erhalten so die Möglichkeit sich mit den erarbeiteten Inhalten noch einmal auseinander zu setzen und für sich allgemeingültige Antworten zu finden, um diese in der folgenden Präsenzveranstaltung mit den anderen Teilnehmern zu diskutieren.

Die erarbeiteten speziellen Antworten auf die Fragestellungen sollen an dieser Stelle allgemein beantwortet werden, um so die Inhalte zu fokussieren und die Zusammenhänge zu erfassen. Durch diese Zweigliederung in eine spezielle Ausarbeitung und einer anschließenden Fokussierung erfolgt eine gute Vertiefung der Inhalte. Zudem erhalten die Studierenden durch die eigenen Überlegungen in dieser Selbstlernphase die Möglichkeit, ihre eigenen Ideen zu erarbeiten.

Tabelle 5: Ablauf und Lernziele Selbstlernphase 1 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien
(S = Studierende, EAml = Eigenarbeit mit Interaktion)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material
1	S	30. Min	... beantworten die Fragen zu <ul style="list-style-type: none"> • der Art der vorliegenden Biokatalysatoren und deren Aufenthaltsort im jeweiligen Bioreaktor • dem Ziel der Stoffumwandlung • der Aufgaben des Bioreaktors und der Art des Leistungseintrags in den jeweiligen Bioreaktor in biotechnologischen Prozessen allgemeingültig.	EAml	Fotos Flipchartbögen

5.4 Präsenztermin 2: Einteilungskriterien von Bioreaktoren & Bioreaktortypen

Der zweite Präsenztermin dient der Entwicklung von Einteilungskriterien für Bioreaktoren aus der Bearbeitung des Übersichtsdiagramms und der darauf basierenden Bearbeitung verschiedener Bioreaktortypen

Dazu werden die im vergangenen Präsenztermin bearbeiteten Fragestellungen auf Basis der Überlegungen aus der vorherigen Selbstlernphase im Plenum diskutiert und allgemeingültig beantwortet (vgl. Anhang H), damit die Studierenden den biotechnologischen Prozess hinsichtlich seiner Ziele, der Arten von Biokatalysatoren und der Aufgaben eines Bioreaktors charakterisieren können. Auf Basis dieser Erarbeitung werden dann Einteilungskriterien von Bioreaktoren hinsichtlich der Art des Leistungseintrags und dem Aufenthaltsort des Biokatalysators im Bioreaktor entwickelt. (vgl. Tabelle 6 Phase 2 und Anhang H) Die beiden genannten Einteilungskriterien stellen nach einer umfangreichen Literaturrecherche die gängigen Einteilungskriterien von Bioreaktoren dar und werden deshalb hier als die Haupteinteilungskriterien genutzt (Schügerl, 1991, Seite 12 ff.; Präve et al., 1994, Seite 272 ff.; Storhas, 1994, Seite 87 ff.).

Durch die gemeinsame Erarbeitung in einer Arbeit des Lehrenden mit dem Plenum wird die Einordnung der Einteilungskriterien in den erarbeiteten Zusammenhang unterstützt und so die Kompetenzstufe der Analyse erreicht.

Tabelle 6: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 2 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien
(L = Lehrender, S = Studierende, Präsentation durch Lehrenden = PdLeh, Arbeit mit dem Plenum = AmdP, Gruppenarbeit = GA)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material	
Vorbereitung	L		2 Tage vorher: Freischalten Abschnitt 4.3 (Nachricht im Forum) Mitzubringende Materialien: Präsentation P2, Ausdrucke Arbeitsmaterial Bioreaktortypen Vorher durcharbeiten: Präsentation P2, Arbeitsmaterial Bioreaktortypen			
1	Ablauf & Lernziele	L	5 Min.	... erhalten einen Überblick über den Verlauf und Zweck der Präsenzveranstaltung.	PdLeh	Präsentation P2 (Folie 2)
2	Sammeln Ergebnisse	L+S	20 Min.	... kennen die Unterscheidung ... <ul style="list-style-type: none"> • von freien Enzymen und Enzymen in Zellen (Mikroorganismen oder höhere Zellen) als Biokatalysator im biotechnologischen Prozess. • zwischen auf Oberflächen (immobilisiert oder als Biofilm) oder suspendiert vorliegenden Biokatalysatoren im Bioreaktor. • von Zielen einer Stoffumwandlung in ... <ul style="list-style-type: none"> • höhere Zellen oder Mikroorganismen vermehren. • andere Produkte aus einer Stoffumwandlung zu gewinnen. • Edukte einer Stoffumwandlung abzubauen. • in Primär- und Sekundäraufgaben eines Bioreaktors und können jeweils spezifische Aufgaben nennen und beschreiben. • in pneumatisch, hydraulisch und über ein Rührorgan erfolgenden Leistungseintrag in einen Bioreaktor. • kennen auf dieser Basis die Einteilung von Bioreaktoren nach der Art des Leistungseintrags und dem Aufenthaltsort der Biokatalysatoren im Bioreaktor. 	AmdP	Präsentation P2 (Folie 3-4)
3	Vorstellung Aufgabe	L	5 Min.	... erhalten einen Einblick in den Ablauf und Zweck der folgenden Aufgabe.	PdLeh	Präsentation P2 (Folie 5-6)
4	Bearbeiten der Bioreaktortypen	S	20 Min.	... beantworten in ersten Ansätzen auf Basis von Vorwissen und in Phase 2 dieses Präsenztermins erarbeiteten Wissens Fragen zum Aufbau, der Funktion und den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Bioreaktortypen (keine Variationen und Sonderformen). ... knüpfen bei der Bearbeitung an Vorwissen an.	GA	Arbeitsmaterial Bioreaktortypen
5	Sammeln & Diskutieren Ergebnisse	L+S	30 Min.	... kennen erste Aspekte zum Aufbau, der Funktion und den Vor- und Nachteilen der Bioreaktortypen (keine Variationen und Sonderformen).	AmdP	Präsentation P2 (Folie 7-10)
6	Feedback	L + S	5 Min	... reflektieren die vergangene Präsenzveranstaltung (Feedback untereinander und durch den Lehrenden)	AmdP	Präsentation P2 (Folie 11)
7	Ausblick	L	5 Min	... erhalten einen Überblick über den weiteren Ablauf und den Zweck der folgenden Selbstlernphase	PdLeh	Präsentation P2 (Folie 12)
Nachbereitung	L			Freischalten fertiges Übersichtsdiagramm Freischalten Abschnitt 4.4 (Nachricht im Forum)		

Darauf aufbauend werden schematische Skizzen von Submers- und Oberflächenbioreaktoren mit einem pneumatischen, hydraulischen oder über ein Rührorgan erfolgenden Leistungseintrag in Gruppenarbeit von den Studierenden hinsichtlich der Einordnung in die Einteilungskriterien, des Aufbaus, der Funktion und der Vor- und Nachteile basierend auf bestehendem Vorwissen und dem in Laufe der Präsenzveranstaltung angeeigneten Wissen analysiert (vgl. Tabelle 6 Phase 4 und Anhang I und J), um auch hier den Studierenden die Möglichkeit zu geben, Ideen hinsichtlich der genannten Aspekte zu sammeln und so mit den Inhalten aktiv zu arbeiten, bevor die Bioreaktortypen in der folgenden Selbstlernphase noch einmal strukturiert präsentiert werden und weitere Variationen und Sonderformen vorgestellt werden. So erfolgt eine aktive Arbeit mit den Inhalten. Jede Gruppe bearbeitet dabei 2 bis 3 ähnliche Bioreaktortypen. Aufgrund der Gesamtgruppengröße bearbeiten jeweils mehrere Gruppen die gleichen Bioreaktortypen, wobei dies dazu führt, dass wahrscheinlich vielfältigere Ideen zusammengetragen werden, wenn mehrere unabhängig voneinander arbeitende Gruppen Ideen zu bestimmten Bioreaktortypen sammeln. Die Ergebnisse werden anschließend im Plenum ohne inhaltliches Zutragen des Lehrenden zusammengetragen und diskutiert (vgl. Tabelle 6 Phase 5).

5.5 Selbstlernphase 2: Bioreaktortypen

Die zweite Selbstlernphase dient der Vertiefung und Erweiterung der Inhalte der zweiten Präsenzveranstaltung (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Ablauf und Lernziele Selbstlernphase 2 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien

(Abkürzungen: S = Studierende, EAml = Eigenarbeit mit Interaktion)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material	
1	Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors	S	60 Min.	... können einen Bioreaktor allgemein definieren. ... kennen die Aufgaben eines Bioreaktors und können diese näher beschreiben. ... können einen Biokatalysator definieren. ... können die Ziele einer Fermentation definieren. ... kennen verschiedene Bioreaktoreinteilungskriterien. ... kennen die Vor- und Nachteile dieser Gruppen.	EAml	Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors
2	Lektionen Bioreaktortypen	S	150 Min.	... kennen die Bioreaktortypen und ihre Variationen hinsichtlich Aufbau, Funktion, Vor- und Nachteile und typischen Anwendungen. ... kennen Bioreaktorsonderformen.	EAml	Lektion Bioreaktortypen Teil 1 & Teil 2

So können die Studierenden die in der vorherigen Präsenzphase im Plenum erarbeiteten Inhalte noch einmal strukturiert wiederholen und ihr aufgebautes Wissen zu den Bioreaktoreinteilungskriterien und verschiedenen Bioreaktortypen verfestigen und erweitern. Durch

die Kombination aus aktivem Arbeiten mit den Inhalten in Form der gemeinsamen Herleitung und dem Vertiefen der Inhalte in der Selbstlernphase durch eine Einzelarbeit mit Interaktionsmöglichkeit, in der die Inhalte noch einmal sehr strukturiert dargestellt werden, kann die Kompetenzstufe der Analyse erreicht werden.

Dazu werden die Inhalte des erarbeiteten Übersichtsdiagramms (vgl. Anhang H) in Form der Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien dargestellt und gezielt ergänzt. Die Lektion ist zudem durch eingefügte Frageseiten ergänzt (vgl. Anhang M), um die Selbstlernphase nicht zu einer kompletten Wiederholung werden zu lassen und die Studierenden zum aktiven Mitarbeiten anzuregen.

Das Ziel einer Fermentation kann der Biokatalysator selbst oder die Zellen in denen er vorliegt sein, wobei die Stoffumwandlung den Aufbau von Biomasse als Ziel hat. Zudem kann das Ziel ein anderes intrazellulär oder extrazellulär vorliegendes Produkt aus dieser Stoffumwandlung sein. Es kann auch das Ziel der Fermentation sein, Stoffe, die als Edukte in der Stoffumwandlung genutzt werden, im Medium zu reduzieren. (Präve et al., 1994, Seite 6 ff.)

Der Biokatalysator kann dabei als freies Enzym oder in Zellen, also in Mikroorganismen oder höheren Zellen (Storhas, 1994, Seite 2), vorliegen. Diese können wiederum suspendiert in der Reaktionslösung oder auf einer Oberfläche vorliegen, wobei dies durch Immobilisierung erfolgen kann oder durch ein natürliches Wachstum der Zellen in einem Biofilm. (Präve et al., 1994, Seite 6)

Aus dieser Gliederung wird das erste verwendete Einteilungskriterium für Bioreaktoren in Submersbioreaktoren oder Oberflächenbioreaktoren abgeleitet. In Submersbioreaktoren sind die Aufgaben des Homogenisierens und Suspendierens wesentlich besser zu erfüllen, weshalb diese Art von Bioreaktoren heute überwiegend eingesetzt wird. Der Oberflächenbioreaktor wird hingegen für Spezialanwendungen eingesetzt, in denen entweder besondere Maßnahmen zur Produkttrennung notwendig sind oder besonders scherempfindliche Organismen kultiviert werden und damit eine geringere Scherempfindlichkeit von Vorteil ist. (Storhas, 1994, Seite 115 f.)

Eine von Biokatalysatoren katalysierte, biochemische Stoffumwandlung benötigt sehr spezielle Umgebungsbedingungen, um ablaufen zu können. Zudem werden durch die technische Nutzung ebenfalls Bedingungen an den Prozess gestellt. Diese werden durch den Bioreaktor als abgegrenzten Raum hergestellt, um einen möglichst optimalen Prozess zu ermöglichen

(Storhas, 1994, Seite 1). Dies erfolgt über die Mess- und Regelungstechnik, die die passenden Bedingungen einstellt. Diese müssen jedoch im Reaktionsraum homogen vorliegen, sodass in einem Bioreaktor meist eine Durchmischung des Reaktorinhaltes, also eine homogene Verteilung von Masseteilchen in einem vorgegebenen Volumen, wichtig ist. Diese Aufgabe wird unter dem Begriff der Primäraufgaben zusammengefasst. (Storhas, 1994, Seite 15) Man unterscheidet dabei das Homogenisieren, das Vermischen von zwei ineinander löslichen Flüssigkeiten zum Zweck des Konzentrations- oder Temperatenausgleichs, das Suspensieren, das gleichmäßige Verteilen von Feststoffen, und das Dispergieren, das gleichmäßige Verteilen von nicht- bzw. schwerlöslichen Flüssigkeiten oder Gasen in Flüssigkeiten. (Kraume, 2012, Seite 557) Die Primäraufgaben eines Bioreaktors können allein durch einen Leistungseintrag in den Bioreaktor erfüllt werden. (Storhas, 1994, Seite 86)

Ebenfalls muss ein Bioreaktor jedoch auch für die notwendige Steril- und Sicherheitstechnik sorgen, zu hohe Scherraten, die bei empfindlichen Organismen zu Schädigungen führen könnten, und eine zu starke Schaumbildung durch oberflächenaktive Substanzen, die zur Flotation von Zellen und damit dem Entzug der Zellen aus der Reaktion und einer Verstopfung der Abgasfilter führen könnte, vermeiden. Diese zusätzlichen Aufgaben fallen unter die Bezeichnung der Sekundäraufgaben. Sie sind nicht weniger wichtig, als die Primäraufgaben, sind jedoch weniger gut bestimmbar. Zudem sind Sie nicht allein über den Leistungseintrag zu erfüllen. (Storhas, 1994, Seite 60 ff.)

Trotzdem bietet der Leistungseintrag in einen Bioreaktor ein Einteilungskriterium für Bioreaktortypen in Bioreaktoren mit einem pneumatisch, durch die Expansionsarbeit von Gas im Reaktionsraum, erfolgenden Leistungseintrag, oder hydraulischem, also durch das Eintreten eines Flüssigkeitsstrahls in den Reaktionsraum, oder durch die Bewegung eines Rührorgans erfolgenden Leistungseintrag (Storhas, 1994, Seite 15 ff.), das das zweite wichtige Einteilungskriterium darstellt und wie dargestellt hergeleitet wird.

Ein pneumatischer Leistungseintrag in aeroben Prozessen über eine Begasung des Reaktormediums oder in anaeroben Prozessen über die Selbstbegasung durch entstehendes Gas, das in Form von Gasblasen aufsteigt, stellt die einfachste Art des Leistungseintrags dar. Ohne die Notwendigkeit von mechanisch bewegten Teilen im Reaktionsraum hat diese den in der einfachen Bauweise begründeten Vorteil eines preiswerten und wenig störanfälligen Biore-

aktors, der jedoch schnell an seine Grenze hinsichtlich der einzutragenden Leistungsmenge kommt. (Storhas, 1994, Seite 91 ff.)

Ein hydraulischer Leistungseintrag erweitert das Einsatzspektrum, fordert jedoch den Einbau einer Pumpe und einer Düse, die die Störanfälligkeit und das Risiko der Steriltechnik erhöht. Durch das Eintreten des Strahls werden zudem starke örtliche Energiedichten und damit mechanische Belastungen erzeugt, die bei empfindlichen Biokatalysatoren zu Problemen, jedoch auch zu hohen Turbulenzen und damit zu gutem Wärme- und Stofftransport führen. (Storhas, 1994, Seite 95 ff.; Chmiel, 2011, Seite 212) Über eine Zweistoffdüse kann bei einem hydraulischen Leistungseintrag ebenfalls Gas im Reaktionsmedium dispergiert werden.

Der Leistungseintrag über ein Rührorgan erweitert nochmals das Einsatzspektrum, macht jedoch den Einbau von beweglichen Bauteilen in den Reaktionsraum notwendig. Neben dem Leistungseintrag über ein Rührorgan erfolgt in einem aeroben Prozess immer eine Begasung und damit auch ein pneumatischer Leistungseintrag, der jedoch vernachlässigbar ist. (Storhas, 1994, Seite 99 ff.)

Neben diesen bereits am vorherigen Präsenztermin angesprochenen Einteilungskriterien werden noch zwei weitere Einteilungskriterien angesprochen, die ebenfalls eine Einteilungsmöglichkeit bieten. Bioreaktoren können ebenfalls nach ihrer Bauweise hinsichtlich zusätzlicher Einbauten zur Strömungsführung, mit denen die Herstellung einer kontrollierten Strömungsführung erfolgt (Chmiel, 2011, Schügerl, 1991). Dies beschreibt die Einteilung von Bioreaktoren in Schlaufenreaktoren und Reaktoren ohne Einbauten zur Strömungsführung. Die Strömungsführung kann dabei auf Basis der drei Arten des Leistungseintrags erfolgen, zeigt jedoch immer den Vorteil auf, dass durch eine erzeugte kontrollierte Strömung im Reaktionsraum jedes Medienvolumen in einem bestimmten Intervall jedes Reaktionsraumvolumen passiert und so gleiche Bedingungen im Reaktionsraum vorliegen. Eine Einteilung kann zudem nach dem Vorhandensein eines Begasungsorgans erfolgen. In viele Bioreaktoren kann bei Bedarf ein Begasungsorgan eingefügt werden. Einige sind jedoch für aerobe Prozesse aufgrund einer schlechten Sauerstoffversorgung nicht geeignet.

Als Überleitung zu den ebenfalls in dieser Selbstlernphase zu bearbeitenden Lektionen Bioreaktortypen Teil 1 und Teil 2 wird die Tatsache besprochen, dass die Vielfalt an Einteilungskriterien auf eine große Vielfalt von Bioreaktoren hindeutet, die in dieser Form auch vorliegt. In der Lektion wird darauf hingewiesen, dass auf Basis dieser Vielfalt jedoch nicht auf den

auch vielfältigen Einsatz der Bioreaktorformen geschlossen werden darf, denn etwa 95% der in der biotechnologischen Branche eingesetzten Bioreaktoren sind Rührkesselbioreaktoren (Chmiel, 2011, Seite 199), die unter den Bioreaktoren die am besten erforschten Bioreaktoren sind. Dieser Bioreaktortyp wird auch als Standardbioreaktor bezeichnet. Alle anderen Bioreaktortypen machen nur 5% des Einsatzes aus und werden eher in den Randbereichen der biotechnologischen Anwendungen eingesetzt. Unter diesem Aspekt kommt die Frage nach der Sinnhaftigkeit der Darstellung der vielen Alternativen auf, die nur geringen Anteil in der Nutzung ausmachen und nur in Spezialanwendungen eingesetzt werden. Der hohe Nutzungsanteil des Rührkesselreaktors beruht dabei nicht unbedingt auf dem immer idealen Einsatz des Reaktors sondern auf dem hohen Erfahrungspotenzial mit diesem Reaktor. Aus diesem Grund sollte eine Darstellung der übrigen Bioreaktoren erfolgen, um den zukünftigen Biotechnologen zumindest einen Einblick in die sonstigen Möglichkeiten zu ermöglichen. (Storhas, 1994, Seite 352 f.)

Nachfolgend werden in den beiden Lektionen Bioreaktortypen Teil 1 und Teil 2 die bereits in der vergangenen Präsenzphase bearbeiteten Bioreaktortypen (vgl. Tabelle 8) inklusive ihrer Variationen noch einmal strukturiert hinsichtlich ihres Aufbaus, ihrer Funktion, der Vor- und Nachteile und typischer Anwendungen (vgl. Anhang O) auf Basis der entsprechenden Darstellungen aus den Lehrwerken Storhas (1994), Schügerl (1991), Chmiel (2011) und Präve et al. (1994) vorgestellt, wobei letzteres zum Teil schwierig zu benennen ist, da in der Literatur selten konkrete Anwendungen genannt sind (vgl. Tabelle 7, Phase 2).

Tabelle 8: Übersicht über die bearbeiteten Bioreaktoren

(gegliedert nach der Art des Leistungseintrags und dem Aufenthaltsort der Biokatalysatoren)

... Leistungseintrag	Pneumatischer	Hydraulischer	Über ein Rührorgan erfolgreicher
Submersbioreaktor	Gärbottich Blasensäulenreaktor Airliftreaktor	Rohrreaktor Strahldüsenreaktor Strahlschlaufenreaktor	Rührkesselreaktor Propellerschlaufenreaktor
Oberflächenbioreaktor	-	Festbettreaktor Wirbelbettreaktor	-

Diese stellen nach einer ausführlichen Literaturrecherche in den genannten Lehrwerken auf Basis der genannten Einteilungskriterien die gängig aufgeführten Bioreaktortypen dar. Zu beachten ist die nicht immer konsistente Darstellung in verschiedenen Lehrwerken, da es auch unter diesen Bioreaktortypen eine Vielzahl von Varianten gibt. Die Lektionen sind durch Frageseiten ergänzt (vgl. Anhang P), die die Inhaltsdarstellung auflockern und die Studieren-

den zur aktiven Erarbeitung auf Basis der in der vergangenen Präsenzveranstaltung gesammelten Ideen anregen sollen. Bei der Vorstellung der Bioreaktoren werden die Einteilungskriterien nach zusätzlichen Einbauten zur Strömungsführung und Begasung aufgegriffen.

Die Submersbioreaktoren mit einem pneumatischen Leistungseintrag unterscheiden sich in den Gärbottich ohne weitere Einbauten zur Begasung oder Strömungsführung mit einem pneumatischen Leistungseintrag durch in der Reaktion entstehendes und in Gasblasen aufsteigendes Gas, den Blasensäulenreaktor mit einem Begasungsorgan und den Airliftreaktor, der zudem noch Einbauten zur kontrollierten Strömungsführung basierend auf entstehenden Dichteunterschieden zwischen begaster Flüssigkeit im Riser und nichtbegaster Flüssigkeit im Downcomer des Reaktors enthält (vgl. Abbildung 5). (Storhas, 1994, Seite 88 ff.)

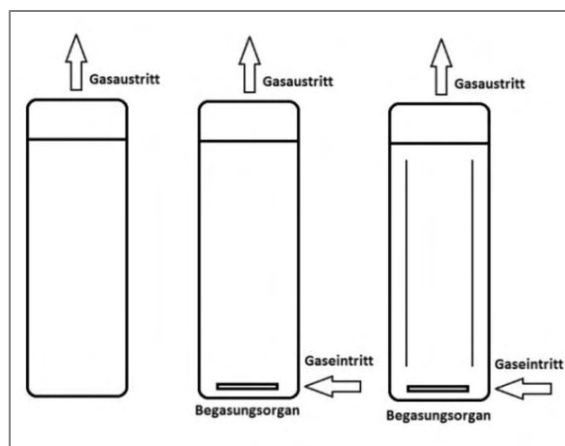


Abbildung 5: schematische Zeichnungen von Submersbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag
links Gärbottich, Mitte Blasensäulenreaktor, rechts Airliftreaktor, nach Storhas, 1994

Bei den Bioreaktoren mit einem hydraulischen Leistungseintrag erfolgt eine ähnliche Unterscheidung in den Strahldüsenreaktor mit einem Begasungsorgan und den Strahlschlaufenreaktor mit einem Begasungsorgan und Einbauten zur Strömungsführung. Zudem wird an dieser Stelle noch der Rohrreaktor vorgestellt (vgl. Abbildung 6). (Storhas, 1994, Seite 95 ff.)

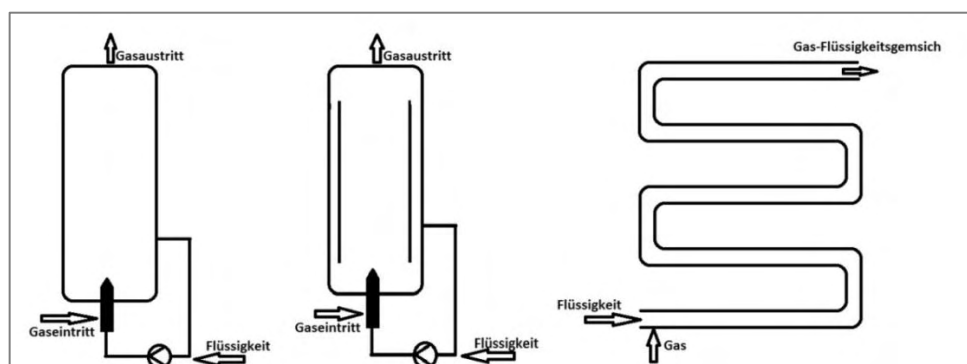


Abbildung 6: schematische Zeichnungen von Submersbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag
links Strahldüsenreaktor, Mitte Strahlschlaufenreaktor, rechts Rohrreaktor, nach Chmiel, 2011 und Storhas, 1994

Der Festbett- und Wirbelbettreaktor stellen die wichtigsten Vertreter der Oberflächenreaktoren dar. Die mit Biokatalysatoren bestückten Partikel werden dabei von einem Flüssigkeitsstrahl angeströmt und es kommt je nach Anströmgeschwindigkeit zu einem Fest- oder Wirbelbett (vgl. Abbildung 7). (Storhas, 1994, Seite 115 ff.; Chmiel, 2011, Seite 214 ff.)

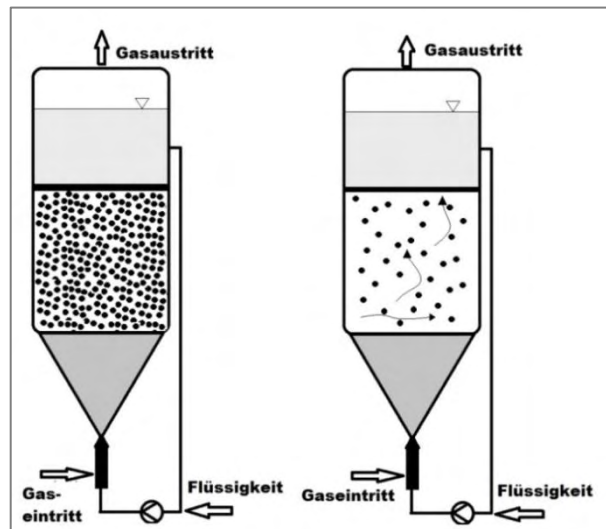


Abbildung 7: schematische Zeichnungen von Oberflächenreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag
links Festbettreaktor, rechts Wirbelbettreaktor, nach Chmiel, 2011

Bei den Bioreaktoren mit einem Leistungseintrag über ein Rührorgan werden der Rührkesselreaktor als Reaktor mit der Möglichkeit eines Begasungsorgans, aber ohne zusätzliche Einbauten als Standardbioreaktor der Biotechnologie bearbeitet und der Propellerschlaufenreaktor, der zusätzlich Einbauten zur Strömungsführung enthält und durch die Nutzung eines fördernden Propellerrührers eine zirkulierende Strömung erreicht (vgl. Abbildung 8). (Storhas, 1994, Seite 99 ff., Chmiel, 2011, Seite 199 ff. und 210)

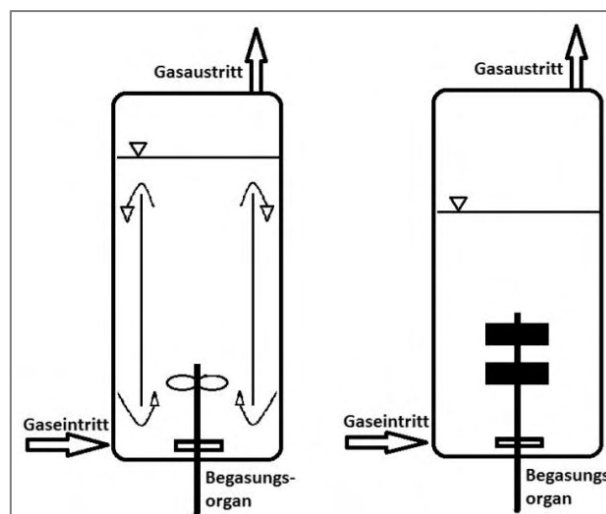


Abbildung 8: schematische Zeichnungen von Submersbioreaktoren mit Leistungseintrag über ein Rührorgan
links Rührkesselreaktor, rechts Propellerschlaufenreaktor, nach Chmiel, 2011 und Storhas, 1994

Neben diesen Bioreaktortypen werden weitere als Sonderformen (vgl. Tabelle 9) bezeichnete Bioreaktoren gesondert von den beiden verwendeten Einteilungskriterien bearbeitet, da sie in diese schwer einzuteilen sind (vgl. Tabelle 7, Phase 2). Diese stellen eine Auswahl aus einer Vielzahl von weiteren Bioreaktoren dar (Chmiel, 2011; Storhas, 1994; Schügerl, 1991), mit der die Studierenden einen möglichst guten Überblick über die große Vielfalt erhalten sollen. Dabei ist jedoch anzumerken, dass eine Auswahl sehr schwer fällt und immer nur ein Ausschnitt aus bestehenden Reaktoren vorliegen kann. Zudem muss angemerkt werden, dass die Auswahl dieser Bioreaktoren nur auf Basis einer Literaturrecherche in Lehrwerken erfolgt.

Tabelle 9: Übersicht über die bearbeiteten Sonderformen von Bioreaktoren

mit Biokatalysatoren, die in einem Biofilm wachsen	<ul style="list-style-type: none"> • Statische Oberflächenkultur • Gärtassenreaktor • Schaufelrad- und Schwimmwalzenreaktor
Mit einer eingebauten Membran	<ul style="list-style-type: none"> • Dialysemembran (im oder außerhalb des Reaktors) • Hohlfasermembranmodul
Kleinvolumige Bioreaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Schüttelkolben
Bioreaktoren für besondere Prozesse	<ul style="list-style-type: none"> • Photobioreaktoren • Bioreaktoren für die Kultivierung von Säugetierzellen
Einwegbioreaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Gerührte Einwegbioreaktoren • Wave-Einwegbioreaktoren • Orbital-Einwegbioreaktoren

Dazu zählen auch die in den vergangenen Jahren immer stärker aufkommenden und primär in der pharmazeutischen und medizinischen Kultivierung von humanen und tierischen Zellen eingesetzten Einwegbioreaktoren in verschiedenen Ausführungen, die den großen Vorteil der wegfallenden aufwendigen Reinigung und Dokumentation der Reinigung haben, was sowohl zeitliche als auch kostentechnische Vorteile mit sich bringt. Diese werden aufgrund ihrer steigenden Wichtigkeit in der Biotechnologie in der nachfolgenden Präsenzveranstaltung nochmals thematisiert. (Eibl et al., 2009; s&h Ingenieurgesellschaft mbH, 2008; Dechema, 2012)

Am Ende der Lektion Bioreaktortypen Teil 2 wird die Frage nach dem Vergleich dieser vielen Bioreaktortypen aufgeworfen. Dabei stellt sich die Frage, welcher Bioreaktor für welchen Bioprozess geeignet ist und wie eine solche Entscheidung getroffen werden könnte. Diese Fragestellung soll die Studierenden zum Nachdenken anregen und sie so auf die Inhalte der folgenden Präsenzveranstaltung einstimmen.

5.6 Präsenztermin 3: Vergleich von Bioreaktoren

Im dritten Präsenztermin wird der am Ende der vorherigen Selbstlernphase aufgestellten Frage nach dem Vergleich von Bioreaktoren nachgegangen. (vgl. Tabelle 10, Phase 2 und 3)

Tabelle 10: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 3 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien

(Abkürzungen: L = Lehrender, S = Studierende, Präsentation durch Lehrenden = PdLeh, Arbeit mit dem Plenum = AmdP)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material	
Vorbereitung	L		2 Tage vorher: Freischalten Abschnitt 4.5 (Nachricht im Forum) Mitzubringende Materialien: Präsentation P3 (Power-Point-Datei) Vorher durcharbeiten: Präsentation P3 und Beispiellösung Tabelle			
1	Ablauf & Lernziele	L	5 Min.	... erhalten einen Überblick über den Verlauf und Zweck der Präsenzveranstaltung.	PdLeh	Präsentation P3 (Folie 2)
2	Vergleich und Charakterisierung Bioreaktortypen	L+S	45 Min.	... kennen die Charakterisierungsmerkmale <ul style="list-style-type: none"> • Leistungseintrag (unbegastet/begastet System) • maximale Begasungsrate • volumetrische Stoffübergangszahl • Wärmedurchgangskoeffizient Innenseite • Mischzeit (Mischgüte) ... wissen, in wie weit Bioreaktoren mit diesen verglichen werden können. ... kennen Vor- und Nachteile der Bioreaktortypen hinsichtlich Erfüllung Aufgaben eines Bioreaktors.	AmdP	Präsentation P3 (Folie 3-12)
3	Vergleich Einwegbioreaktor	L+S	20 Min.	... kennen die Vor- und Nachteile von Einwegbioreaktoren. ... wissen, in wie weit die Einwegbioreaktoren untereinander und mit herkömmlichen Bioreaktoren verglichen werden können.	AmdP	Präsentation P3 (Folie 13-19)
4	Feedback	L + S	5 Min.	... reflektieren die vergangene Präsenzveranstaltung. (Feedback untereinander und durch den Lehrenden)	AmdP	Präsentation P3 (Folie 20)
5	Ausblick	L	5 Min.	... erhalten einen Überblick über den weiteren Ablauf und den Zweck der folgenden Selbstlernphase	PdLeh	Präsentation P3 (Folie 21)
6	Vorstellen Methode World Café & Ausblick	L	10 Min.	... erhalten einen Überblick über den kommenden Präsenztermin und den Ablauf und die Funktion der Methode. ... erhalten Informationen zum Ablauf der Selbstlernphase 3 & verstehen den Sinn der dortigen Aufgaben.	PdLeh	Präsentation P3 (Folie 22-27)
Nachbereitung	L		Hochladen der Präsentation P3 für die Studierenden Freischalten Abschnitt 4.6 (Nachricht im Forum)			

Ein Bioreaktor als abgegrenzter Raum stellt die für die Stoffumwandlung nötigen Bedingungen her, indem die für den Prozess notwendigen Aufgaben erfüllt werden. Bioreaktoren können damit am besten auf Basis dieser Aufgabenerfüllung verglichen werden. Den bereits zusammengestellten Primär- und Sekundäraufgaben eines Bioreaktors werden dazu in einer Arbeit mit dem Plenum Charakterisierungsmerkmale zugeordnet (vgl. Tabelle 11), über die die Bioreaktoren verglichen werden können (vgl. Tabelle 10, Phase 2). Diese Charakterisierungsmerkmale wurden auf Basis einer Literaturrecherche in Chmiel (2011), Storhas (1994) und EKATO (2000) zusammengestellt. Den Studierenden sind die Merkmale zum Teil aus

Lehrveranstaltung WSA bekannt. Die übrigen Merkmale werden an dieser Stelle durch den Lehrenden vorgestellt bzw. mit dem Lehrenden erarbeitet.

Tabelle 11: Übersicht Charakterisierungsmerkmale der Aufgaben eines Bioreaktors

Chmiel (2011, Seite 199 ff.), Storhas (1994, Seite 15 ff.), EKATO (2000, Seite 25 ff.)

Aufgabe	Charakterisierungsmerkmal
Homogenisieren, Wärmeübergang	Mischzeit (Mischgüte), Wärmedurchgangszahl, Leistungseintrag
Suspendieren	notwendige Anströmgeschwindigkeit, Leistungseintrag
Dispergieren (Gas)	volumetrische Stoffübergangszahl, Leistungseintrag, maximale Begasungsrate (Überflutung)
Vermeiden von hohen Scherraten	lokaler Energieeintrag (Energiedissipation)
Vermeiden von Schaumbildung	Vorhandensein von oberflächenaktiven Substanzen
Steriltechnik	Steriltests

Die Merkmale der Primäraufgaben eines Bioreaktors stellen dabei experimentell bestimm-
bare Merkmale unter Angabe eines konkreten Zahlenwertes dar, wohingegen die Merkmale
der Sekundäraufgaben keine experimentell bestimmbareren Merkmale unter Angabe eines
konkreten Zahlenwertes sind, wodurch die Vergleichbarkeit auch schwierig ist (Storhas,
1994, Seite 60). Anhand dieser Merkmale können die besprochenen Bioreaktortypen zudem
nicht allgemein verglichen werden, da sich die Merkmale in Bezug auf einen Bioreaktortyp
durch Variation der Reaktorgeometrie, des genutzten Begasungsorgans oder der genutzten
Düse, des genutzten Wärmeaustauschorgans und des eingesetzten Mediums, des Füllgrades
und der Versuchsparameter wie der Drehzahl und der Begasungsrate verändern und damit
sich die Charakterisierungsmerkmale je nach konkretem Bioreaktor in einem konkreten Pro-
zess stark unterscheiden. Ein genereller Vergleich von Bioreaktortypen ist somit nicht mög-
lich. (Chmiel, 2011, Seite 199 ff.; Storhas, 1994, Seite 15 ff.; EKATO, 2000, Seite 25 ff.)
Auch dieser Zusammenhang wird in einer Arbeit des Lehrenden mit dem Plenum erarbeitet.
Es können lediglich konkrete Bioreaktoren unterschiedlichen Typs für einen konkreten Pro-
zess mit festgelegten Prozessparametern hinsichtlich der Charakterisierungsmerkmale der
Primäraufgaben und nur eingeschränkt der Sekundäraufgaben verglichen werden. (Chmiel,
2011, Seite 199 ff.)

Sollen Bioreaktortypen im Allgemeinen verglichen werden, kann dies nur unter Angabe von
Tendenzen zur Erfüllung der einzelnen Aufgaben eines Bioreaktors erfolgen, was zur Vertie-
fung der in der Selbstlernphase bearbeiteten Bioreaktortypen in einer Arbeit mit dem Ple-
num auf Basis der besprochenen Vor- und Nachteile der Bioreaktortypen erfolgt. Dazu wird
die Erfüllung der verschiedenen Aufgaben eines Bioreaktors durch die Angabe von Tenden-

zen mit einem gut (+), mittel (0) oder schlecht (-) beurteilt. Die Zuordnung kann dabei nicht immer eindeutig erfolgen und ist an einigen Stellen ohne weitere Erfahrungen auch schwierig zu begründen. Sie soll den Studierenden ein Gefühl für die verschiedenen Bioreaktoren geben und die vielen besprochenen Vor- und Nachteile möglichst kompakt zusammenfassen. Die dafür genutzte Tabelle (vgl. Anhang R) wurde auf Basis des in Storhas (1994, Seite 335 ff.) erfolgenden Vergleichs angegeben. Dieser ist jedoch kritisch zu betrachten, da keine weiteren Angaben zu den dort aufgeführten Bioreaktoren und keine Grundlagen und Begründungen für die Aussagen angegeben sind.

Weiterhin wird die Frage diskutiert, wie bei einem konkreten Prozess und mehreren konkret vorliegenden Bioreaktoren und den berechneten Charakterisierungsmerkmalen der passende Bioreaktor gewählt wird, da jeder biotechnologische Prozess seine ganz eigenen Anforderungen hat und damit eine unterschiedliche Gewichtung der Aufgaben und damit der Charakterisierungsmerkmale vorliegt. Die Gewichtung der Aufgaben wird dabei in erster Linie durch das Medium, die Reaktion, den verwendeten Biokatalysator, die Kapazität und die Wirtschaftlichkeit beeinflusst. Jedes dieser Kriterien beinhaltet eine Reihe von Kriterien, die die entsprechende Gewichtung beeinflussen. (vgl. Tabelle 12) (Storhas, 1994, Seite 328)

Dazu werden entsprechende Merkmale in einer Arbeit mit dem Plenum zusammengestellt, die die Gewichtung der einzelnen Charakterisierungsmerkmale beeinflussen.

Tabelle 12: Beeinflussung der Gewichtung der Aufgaben eines Bioreaktors durch dargestellte Kriterien der verschiedenen Faktoren eines biotechnologischen Prozesses (nach Storhas, 1994, Seite 328 ff.)

Medium	Viskosität, Newtonsches Verhalten, Suspendierfähigkeit, Feststoffgehalt, Art des Feststoffes, Homogenisierfähigkeit, Neigung zur Schaumbildung
Reaktion	Reaktionsführung, steriltechnische Anforderungen, frei werdende Wärmemenge, Reaktionsgeschwindigkeit
Biokatalysator	Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen, mechanischer Belastung, Druck, Konzentrationsschwankungen von Sauerstoff und Nährstoffen, Sauerstoffbedarf, Anaerobanforderungen bei anaeroben Prozessen
Kapazität	Reaktorgröße
Wirtschaftlichkeit	Preisgestaltung, Betriebskosten

Das Zusammenwirken all dieser Faktoren auf die Gewichtung der Aufgaben eines Bioreaktors und die entsprechende Auswahl eines Bioreaktors ist so komplex, dass es keine einfache und standardisierte Prozedur gibt. Deshalb ist ein zu bearbeitendes konkretes Beispiel zum Vergleich von Bioreaktoren an dieser Stelle auch sehr schwierig. Dazu müsste ein konkreter Prozess ausgearbeitet werden, für den Werte der Charakterisierungsmerkmale angegeben werden und für den dann verschiedene Bioreaktoren mit konkreten Parametern zur Auswahl

stehen. Die Auswahl dazu, welche Werte für einen Prozess nötig sind, kann jedoch auch dann nicht erfolgen. Zudem ist immer fraglich, ob alle Anforderungen eines Bioreaktors auch in der Angabe dieser Charakterisierungsmerkmale untergebracht werden können.

Die beschriebene Bearbeitung erfolgt in einer Arbeit mit dem Plenum, um die komplexen Zusammenhänge gemeinsam mit dem Lehrenden zu erarbeiten. Durch die starke Einbindung der Studierenden erfolgt jedoch eine gute Vertiefung der Inhalte und ein hohes Verständnis der Problematik mit dem Erreichen der Kompetenzstufe der Analyse, obwohl die Inhalte nicht an einem konkreten Beispiel angewendet werden können. Dies ist zudem aufgrund des schwierigen Informationszugangs für die Verwendung von Bioreaktoren in konkreten Biotechnologischen Prozessen nicht möglich. Es erfolgt eine starke Verknüpfung im Wissensnetzwerk mit den an dieser Stelle wieder aufgegriffenen Aufgaben eines Bioreaktors und den schon in der Lehrveranstaltung Wärme- und Stoffaustausch zum Teil besprochenen Charakterisierungsmerkmalen.

In der zweiten Hälfte der Präsenzphase wird die Frage nach dem Vergleich von Einwegbioreaktoren auf Grund der steigenden Bedeutung dieser Bioreaktoren in der Biotechnologie bearbeitet. Dazu werden die in einer Arbeit mit dem Plenum nochmals die Vor- und Nachteile von Einwegbioreaktoren zusammengetragen, wobei die Problematik einer für mikrobielle Anwendungen oftmals nicht ausreichender Leistungseintrag und Sauerstoffeintrag hervorgehoben wird (vgl. Eibl et al., 2009). Ein allgemeiner Vergleich der Einwegbioreaktoren untereinander und mit herkömmlichen Bioreaktoren ist aber auch hier sehr schwierig. Nur in konkreten Prozessen mit konkreten Bioreaktoren, die gegenübergestellt werden, können diese miteinander verglichen werden.

Die Thematik der Einwegbioreaktoren ist an dieser Stelle noch nicht befriedigend ausgearbeitet. Hier sollte zukünftig eine weitere Ausarbeitung hinsichtlich einer ausführlichen Diskussion der Vor- und Nachteile erfolgen. Dies könnte auf Basis einer freien Recherche der Studierenden erfolgen. Die Ausarbeitung war aus zeitlichen Gründen an dieser Stelle nicht mehr möglich.

5.7 Selbstlernphase 3: Charakterisierungsmerkmale von Bioreaktoren

Die dritte Selbstlernphase wird zur Bearbeitung der Charakterisierungsmerkmale der Primäraufgaben (vgl. Tabelle 13) genutzt, die in der vergangenen Präsenzveranstaltung zusammengestellt wurden (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 13: Ablauf und Lernziele Selbstlernphase 3 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien
(S = Studierende, EAml = Eigenarbeit mit Interaktionsmöglichkeit)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material	
1	Rührorgane	S	50 Min.	... kennen den Aufbau, die Funktion und die wichtigsten Eigenschaften verschiedener Rührorgane ... haben ein Verständnis für Strömungsformen & können diese den Rührorganen zuordnen.	EAml	Lektion Rührorgane
2	Berechnung Leistungseintrag	S	60 Min.	... haben ein Verständnis für den Begriff Leistungseintrag. ... kennen die experimentelle und mittels Korrelation erfolgende Bestimmung. ... berechnen den Leistungseintrag mittels Korrelation.	EAml	Lektion Berechnung Leistungseintrag
3	Berechnung maximale Begasungsrate	S	30 Min.	... haben ein Verständnis für den Begriff Überflutung. ... kennen verschiedene Begasungszustände. ... berechnen maximale Begasungsrate mittels Korrelation.	EAml	Lektion Berechnung maximale Begasungsrate
4	Berechnung volumetrische Stoffübergangszahl	S	40 Min.	... haben ein Verständnis für den Begriff Begasung. ... kennen die Stoffübergangsmodellvorstellung der Zweifilmtheorie. ... berechnen die volumetrische Stoffübergangszahl mittels Korrelation.	EAml	Lektion Berechnung volumetrische Stoffübergangszahl
5	Berechnung Wärmeübergangszahl der Innenseite	S	40 Min.	... haben ein Verständnis für den Begriff Wärmeübergangs. ... kennen die Modellvorstellung des Wärmedurchgangs durch eine Wand. ... kennen die Möglichkeiten der Optimierung des Wärmeübergangs. ... berechnen die innere Wärmeübergangszahl mittels Korrelation.	EAml	Lektion Berechnung Wärmeübergangszahl der Innenseite
6	Berechnung Mischzeit	S	20 Min.	... haben ein Verständnis für den Begriff Mischzeit. ... kennen die experimentelle und mittels Korrelation erfolgende Bestimmung. ... berechnen die Mischzeit mittels Korrelation. ... rechnen die Mischzeit einer Mischgüte in die Mischzeit einer anderen Mischgüte um.	EAml	Lektion Berechnung Mischzeit

Diese können unter Angabe eines konkreten Zahlenwertes bestimmt werden und können damit weiter analysiert werden.

Dazu wird

- der Leistungseintrag in ein unbegastetes / begastetes System
- die maximale Begasungsrate
- die volumetrische Stoffübergangszahl
- die Wärmeübergangszahl der Innenseite
- die Mischzeit (unter Angabe der Mischgüte)

für einen Rührkesselreaktor bearbeitet, da dieser den Standardbioreaktor der Biotechnologie darstellt. Die Bearbeitung der Merkmale hinsichtlich Bioreaktoren mit einem pneumati-

schen und hydraulischen Leistungseintrag würde an dieser Stelle den zeitlichen Rahmen der Lerneinheit überschreiten.

Dies dient der Vorbereitung der folgenden Präsenzveranstaltung, in der die Studierenden mit den Charakterisierungsmerkmalen weiter arbeiten sollen, um ihr Verhalten hinsichtlich der Variation verschiedener Parameter zu analysieren. Die Studierenden kennen oftmals die Merkmale, wissen jedoch nicht, wie sie sich bei Variation verschiedener Prozessparameter verhalten.

Die Charakterisierungsmerkmale können jeweils experimentelle bestimmt werden oder näherungsweise über Korrelationen und Charakteristiken. Dies ist den Studierenden aus der Lehrveranstaltung WSA für einige der Merkmale bereits bekannt, wobei dort die Berechnung über eine Korrelation nur bedingt erläutert wurde. An das vorhandene Wissen wird in dieser Phase angeknüpft. Die experimentelle Bestimmung kann im Rahmen dieser Einheit nicht weiter ausgeführt werden, jedoch wenn noch nicht bekannt, kurz angesprochen werden. Die näherungsweise Bestimmung wird intensiv bearbeitet.

Dabei liegen oftmals eine Vielzahl von verschiedenen Korrelationen wie zum Beispiel für die Bestimmung der maximalen Stoffübergangszahl in Storhas (1994, Seite 27) zusammengestellt vor. Zudem basieren die Korrelationen und Charakteristiken immer auf konkreten Bedingungen, die jedoch oftmals nur ungenügend angegeben sind (vgl. Chmiel, 2011, Seite 181). Die jeweiligen Bedingungen stimmen für die im Rahmen dieser Einheit vorgenommenen Rechnungen mit den genutzten Bedingungen nicht immer überein. Es sollen jedoch nur näherungsweise Bestimmungen vorgenommen werden und generelle Zusammenhänge erfasst werden, sodass auf diesen Zustand hingewiesen wird, er jedoch nicht weiter von Bedeutung ist. Hier wäre zukünftig eventuell eine Verbesserung nötig. Dies ist aufgrund der beschriebenen schwer zugänglichen Informationen aber sehr schwierig.

Aufgrund dieser Vielfalt der Korrelationen und Charakteristiken erfolgt die Bearbeitung in Form von Lektionen, da ein eigenständiges Erarbeiten durch eine Literaturrecherche nicht möglich wäre. Zudem üben die Studierenden auf integrierten Frageseiten die näherungsweise Berechnung der Merkmale an einem konkreten Beispiel ein. Dabei werden sie Schritt für Schritt angeleitet (vgl. Anhang U).

Dabei lernen die Studierenden die Bestimmung des Leistungseintrags in einen Rührkesselreaktor kennen. Dieser ist nicht mit der benötigten elektrischen Leistung des Motors $P_{elektrisch}$, die sich aus der in den Reaktor eingetragenen Leistung $P_{Rührer}$, Leistungsverlusten $P_{Verlust}$ und der Anfahrtsleistung $P_{Anfahrt}$ zusammensetzt zu verwechseln (vgl. Formel 1).

$$P_{elektrisch} = P_{Rührer} + P_{Verlust} + P_{Anfahrt} \quad [W] \quad (1)$$

Die eingetragene und elektrische Leistung können dabei durch den Wirkungsgrad η des Rührwerkes ins Verhältnis gesetzt werden (vgl. Formel 2).

$$\eta = \frac{P_{Rührer}}{P_{elektrisch}} \quad (2)$$

Da sich der Wirkungsgrad und die elektrische Leistung je nach eingesetztem Rührorgan und Rührgut unterscheiden, kann die eingetragene Leistung nur experimentell über das bei einer bestimmten Drehzahl N gemessene Drehmoment des Rührorgans $M_{Rührer}$ im Rührsystem bestimmt werden (vgl. Formel 3), das die auf die Rührblätter wirkenden Widerstandskräfte beschreibt, die zusammen mit der Umfangsgeschwindigkeit die eingetragene Leistung ergeben. (Zlokarnik, 1999, Seite 73)

$$P_{Rührer} = M_{Rührer} \cdot 2\pi \cdot N \quad [W] \quad (3)$$

Auf Basis dieses Zusammenhanges wurde eine Korrelation für die eingetragene Leistung mit der Newtonzahl Ne , einer dimensionslosen Kennzahl, der Dichte des Rührgutes ρ und dem Durchmesser des Rührorgans d_{St} entwickelt (vgl. Formel 4).

$$P_{Rührer} = Ne \cdot \rho \cdot N^3 \cdot d_{St}^3 \quad [W] \quad (4)$$

Die Newtonzahl ist dabei vom Rührorgan, der Rührgeometrie, Reynoldszahl, Begasungsrate und Froudezahl, einer weiteren die Trombenbildung in einem System beschreibenden dimensionslosen Kennzahl, abhängig. (Zlokarnik, 1999, Seite 73 ff.; Storhas, 1994, Seite 18 ff.)

Im unbegasteten Rührsystem entfällt die Abhängigkeit von der Begasungsrate und der Froudezahl, wodurch die Newtonzahl zum Beispiel in einer Leistungscharakteristik für ein bestimmtes Rührorgan unter bestimmten Rührgeometrien auf Basis experimenteller Bestimmungen gegenüber der Reynoldszahl aufgetragen (vgl. Abbildung 9) und die eingetragene Leistung so näherungsweise berechnet werden kann. (Zlokarnik, 1999, Seite 73 ff.)

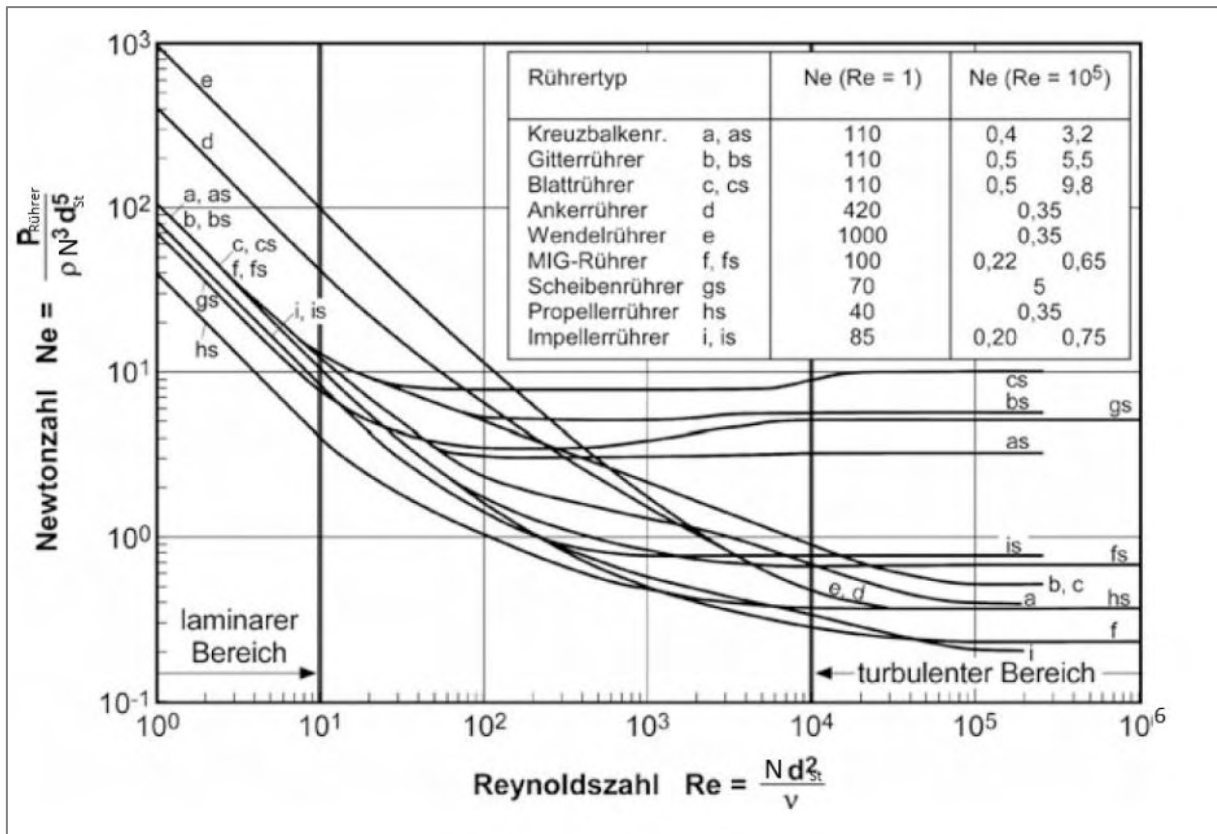


Abbildung 9: Leistungscharakteristiken eines unbegasteten Systems

Darstellung der Newtonzahl gegenüber der Reynoldszahl bei verschiedenen Rührertypen mit $s =$ Stromstörer
Zlokarnik (1999), Seite 77

Dabei berechnet sich die Reynoldszahl aus der Drehzahl des Rührers N , dem Rührerdurchmesser d_{St} und der kinematischen Viskosität des Rührgutes ν (vgl. Formel 5).

$$Re = \frac{N d_{St}^2}{\nu} \quad (5)$$

In einem begasteten System wird der Leistungseintrag durch Ablagerungen von Gasblasen am Rührorgan und eine Verringerung der Mediumdichte, die jedoch meist vernachlässigt wird, herabgesetzt. Zur Bestimmung des Leistungseintrags kann zum Beispiel das Verhältnis der begasteten Newtonzahl Ne zur unbegasteten Newtonzahl Ne_0 gegenüber der Begasungskennzahl Q (vgl. Formel 5) auf Basis von experimentellen Bestimmungen aufgetragen werden (vgl. Abbildung 10). (Zlokarnik, 1999, Seite 79 ff.; Chmiel, 2011, Seite 181 f.)

Dabei berechnet sich die Begasungskennzahl Q aus der Begasungsrate F_G , der Drehzahl des Rührers N und dem Rührerdurchmesser d_{St} (vgl. Formel 6).

$$Q = \frac{F_G}{N \cdot d_{St}^3} \quad (6)$$

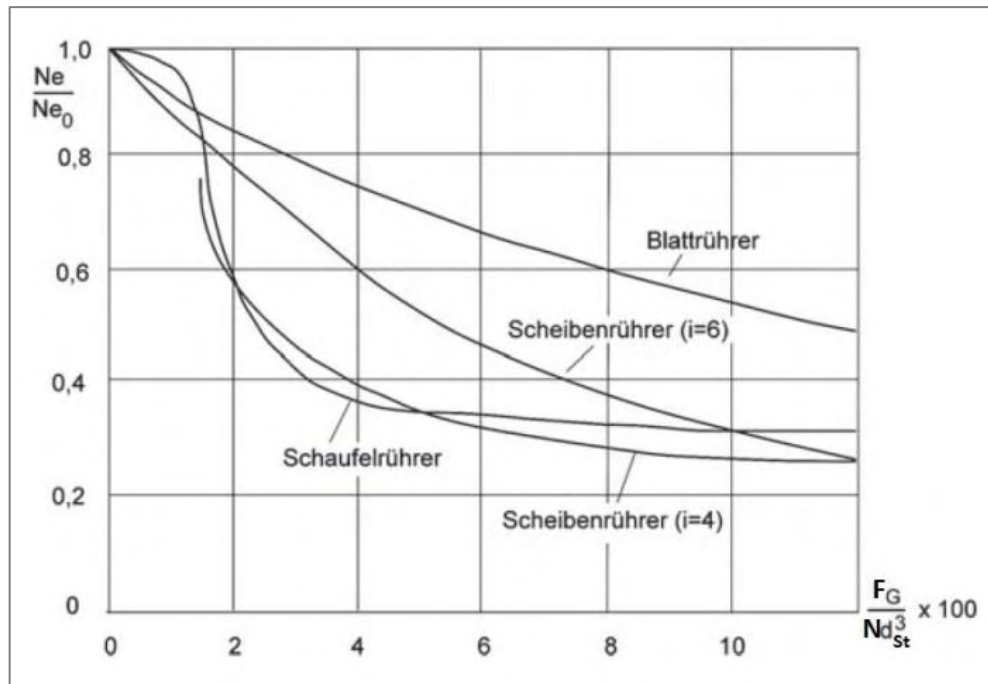


Abbildung 10: Leistungseigenschaften eines begasteten Systems

Darstellung des Verhältnisses von begasteter zu unbegasteter Newtonzahl gegenüber der Begasungskennzahl Q für verschiedene Rührertypen mit Ne_0 als die Newtonzahl im unbegasteten Zustand und Ne als die Newtonzahl im begasteten Zustand Chmiel (2011), Seite 182

Zudem lernen die Studierenden die verschiedenen Strömungszustände eines Rührorgans bei einer konstanten Begasungsrate mit Variation der Drehzahl kennen (vgl. Abbildung 11). Mit abnehmender Drehzahl sammeln sich Gasblasen hinter den Rührblättern des Rührorgans an. Bei Unterschreitung einer kritischen Drehzahl kommt es zu einer Überflutung des Rührorgans, da sich die Gaskissen zu einem großen Gaskissen verbinden, in dem sich das Rührorgan bewegt und die Gasblasen undispergiert aufsteigen.

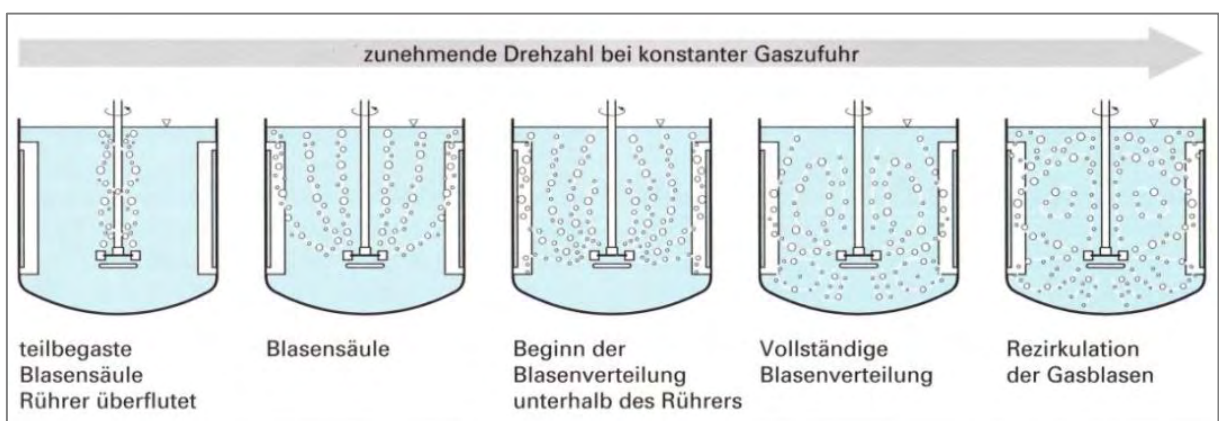


Abbildung 11: Strömungszustände in einem begasteten, gerührten System bei Variation der Drehzahl
EKATO (2000), Seite 35

Zum Beispiel kann die maximale Begasungsrate bei einer bestimmten Drehzahl N über die maximale Begasungskennzahl Q_{max} , die in einer Charakteristik gegenüber der Froudezahl Fr

(vgl. Formel 7) aufgetragen ist, bestimmt werden (vgl. Abbildung 12). (EKATO, 2000, Seite 34 f.; Chmiel, 2011, Seite 204 f.) Diese berechnet sich aus der Drehzahl des Rührorgans N , dem Rührerdurchmesser d_{St} und der Erdbeschleunigung g .

$$Fr = \frac{N^2 \cdot d_{St}}{g} \quad (7)$$

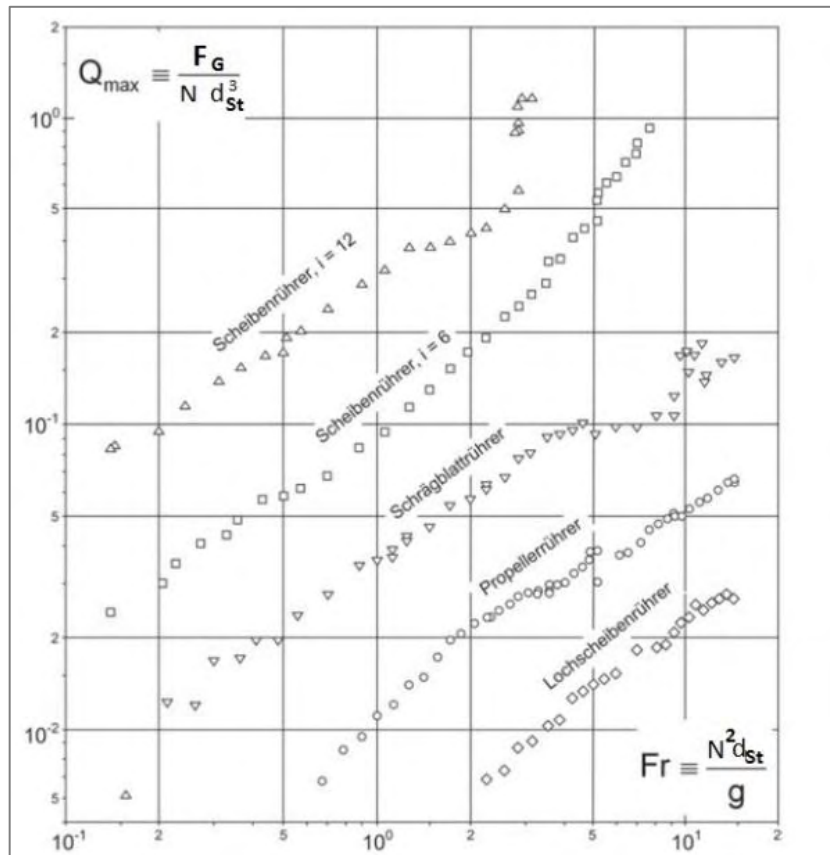


Abbildung 12: Überflutungscharakteristiken für verschiedene Rührertypen

Darstellung der maximalen Begasungskennzahl gegenüber der Froudezahl für verschiedene Rührertypen für verschiedene Rührertypen, Stoffsystem Luft/Wasser, $d_{Reaktor}/d_{St} = 5$, $h_{gesamt}/d_{Reaktor} = 1$, $i =$ Blattzahl des Scheibenrührers
Chmiel (2011), Seite 205

Die Studierenden kennen bereits die Bedeutung von aeroben Kultivierungen in Submersbioreaktoren und die Problematik der Sauerstoffversorgung aufgrund der geringen Löslichkeit von Sauerstoff in flüssigen Medien. Zudem kennen sie aus der Lehrveranstaltung Wärme- und Stoffaustausch die Modellvorstellung der Zweifilmtheorie, die die dabei erfolgenden komplexen physikalischen Vorgänge näherungsweise beschreibt, um so Berechnungen für den eingetragenen Sauerstoffmassenstrom durchführen zu können. Diese beschreibt den Widerstand des Stoffübergangs von der gasförmigen in die flüssige Phase durch zu beiden der Phasengrenze existierende laminare Schichten, in denen der Stoffübergang allein durch Diffusion erfolgen kann, beschreibt. Der übrige flüssige und gasförmige Raum wird als ideal

durchmischt angesehen. Der Widerstand auf der Flüssigseite ist mehrere Zehnerpotenzen größer als der auf der Gasseite, wodurch Zweiter vernachlässigt werden kann und der geschwindigkeitsbestimmende Schritt des Stoffübergangs auf der Flüssigseite ist. Dieser wird durch den Diffusionskoeffizienten D_L beschrieben, der dividiert mit der Grenzschichtdicke δ_L den Stoffübergangskoeffizient k_L ergibt (vgl. Formel 8).

$$k_L = \frac{D_L}{\delta_L} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (8)$$

Der eingetragene Sauerstoffmassenstrom \dot{m} kann über die Sauerstoffaustauschfläche A und die durch den Verbrauch gelösten Sauerstoffs durch die Organismen entstehende Konzentrationsdifferenz Δc bestimmt werden (vgl. Formel 9).

$$\dot{m} = k_L \cdot A \cdot \Delta c \quad \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (9)$$

Durch die Angabe eines volumenbezogenen Massenstroms mit dem Flüssigkeitsvolumen des Reaktors V_L ergibt sich die volumetrische Stoffübergangszahl $k_L a$ als Charakterisierungsmerkmal, das sich aus den beiden Unbekannten der Gleichung, der Sauerstoffaustauschfläche und des Stofftransportkoeffizienten, zusammensetzt. Diese sind von den stofflichen und prozessspezifischen Parametern abhängig (vgl. Formel 10). (Storhas, 1994, Seite 41 ff.; Chmiel, 2011, Seite 184 ff.)

$$\frac{\dot{m}}{V_L} = k_L \cdot \frac{A}{V_L} \cdot \Delta c = k_L a \cdot \Delta c \quad \left[\frac{kg}{m^3 s} \right] \quad (10)$$

Für die Bestimmung der volumetrischen Stoffübergangszahl gibt es verschiedene experimentelle Methoden, auf Basis derer Ergebnisse zum Beispiel die folgenden Korrelationen (vgl. Formel 11, 12 und 13) entwickelt wurde, mit der die volumetrische Stoffübergangszahl über eingetragene Leistung $P_{Rührer}$, das Flüssigkeitsvolumen des Reaktors V_L und die Rohrrohrgeschwindigkeit u_G , die das Verhältnis der Begasungsrate F_G und des Reaktorquerschnitts $A_{Reaktor}$ darstellt, unter gegebenen Bedingungen näherungsweise bestimmbar ist und die die Studierenden im Rahmen dieser Selbstlernphase kennen lernen. (Storhas, 1994, Seite 50)

für koaleszenzfördernde Medien mit $V_L \leq 2,6 \text{ m}^3$, $500 \text{ W/m}^3 \leq P_{Rührer}/V_L \leq 10.000 \text{ W/m}^3$:

$$k_L a = 0,026 \left(\frac{P_{Rührer}}{V_L} \right)^{0,4} \cdot u_G^{0,5} \quad (11)$$

für koaleszenzhemmende Medien mit $0,002 \text{ m}^3 \leq V_L \leq 4,4 \text{ m}^3$,
 $500 \text{ W/m}^3 \leq P_{\text{Rührer}}/V_L \leq 10.000 \text{ W/m}^3$:

$$k_L a = 0,026 \left(\frac{P_{\text{Rührer}}}{V_L} \right)^{0,7} \cdot u_G^{0,2} \quad (12)$$

$$\text{mit } u_G = \frac{F_G}{A_{\text{Reaktor}}} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (13)$$

jeweils mit $k_L a$ in s^{-1} , P/V_L in W m^{-3}

Ebenfalls wiederholen die Studierenden ihr Wissen über die Temperaturregelung in einem Bioreaktor mittels des Mess- und Regelungssystems meist über einen Doppelmantel am Rührbehälter, der bei Bedarf gegebenenfalls durch Rohrschlangen im Behälter ergänzt wird. Der ab- bzw. zugeführte Wärmestrom \dot{Q} ergibt sich dabei aus den Berechnungen des Wärmedurchgangs durch eine Wand. Dieser berechnet sich aus der Wärmedurchgangszahl k , der Wärmeaustauschfläche A und der Temperaturdifferenz zwischen dem Reaktionsraum T_{innen} und der Temperierflüssigkeit im Doppelmantel $T_{\text{außen}}$ (vgl. Formel 14).

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot (T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}}) \quad [W] \quad (14)$$

Der Wärmedurchgang und damit die -durchgangszahl k setzen sich auf Basis der Vorstellung, dass auf beiden Seiten der Wand eine laminare und damit nur über Diffusion passierbare charakteristische Grenzschicht vorliegt und die sonstigen Flüssigkeitsphasen beidseitig der Wand optimal durchmischt sind, aus einem Wärmeübergang vom Reaktionsmedium auf die innere Reaktoroberfläche, beschrieben durch die innere Wärmeübergangszahl α_{innen} , einer Wärmeleitung durch die Behälterwand, beschrieben durch die Behälterwanddicke s und die Wärmeleitfähigkeit λ_{Wand} der Behälterwand und dem Wärmeübergang von der äußeren Oberfläche auf das Temperiermedium, beschrieben durch die äußere Wärmeübergangszahl $\alpha_{\text{außen}}$, zusammen (vgl. Formel 15). (Storhas, 1994, 58 ff.; Chmiel, 2011, Seite 191 f.)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{innen}}} + \frac{s}{\lambda_{\text{Wand}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{außen}}}} \quad \left[\frac{W}{\text{m}^2 K} \right] \quad (15)$$

Die Wärmeübergangszahl der Innenseite α_{innen} kann durch Variation des Rührorgans oder der übrigen Rührparameter beeinflusst werden. Sie kann auf Basis von experimentellen Bestimmungen entwickelten Korrelationen abgeschätzt werden, was die Studierenden im Rahmen dieser Selbstlernphase lernen. Dabei wird die innere Wärmeübergangszahl durch

die Leitfähigkeit des Mediums λ_{Medium} und die Dicke der charakteristischen Grenzschicht δ auf der Innenseite der Behälterwand beschrieben (vgl. Formel 16).

$$\alpha = \frac{\lambda_{Medium}}{\delta} \quad (16)$$

Mit Hilfe der Nusseltzahl, einer dimensionslosen Kennzahl, die das Verhältnis des Reaktordurchmessers $d_{Reaktor}$ und der Dicke der charakteristischen Grenzschicht δ angibt, kann die innere Wärmeübergangszahl α_{innen} wie folgt angegeben werden (vgl. Formel 17).

$$Nu = \frac{d_{Reaktor}}{\delta} = \frac{\alpha_{innen} \cdot d_{Reaktor}}{\lambda_{Medium}} \quad (17)$$

Die Nusseltzahl kann dann zum Beispiel über Korrelationen mit Hilfe der Prandtlzahl Pr , zu berechnen über die dynamische Viskosität des Mediums $\eta_{Medium, Kern}$, die spezifische Wärmekapazität des Mediums $c_{p, Medium}$ und die Wärmeleitfähigkeit des Medium λ_{Medium} nach Formel 19, und der Reynoldszahl (vgl. Formel 5), zwei weiteren dimensionslosen Kennzahlen, und dem Korrekturfaktor C (vgl. Tabelle 14) unter angegebenen Bedingungen bestimmt werden (vgl. Formel 18). (EKATO, 2000, Seite 38 f.)

für $300 \leq Re \leq 7,5 \cdot 10^5$, $2,2 \leq Pr \leq 2.500$; $d_{St}/d_{Reaktor} = 0,5$; $h_{Füllgrad}/d_{Reaktor} = 1$

$$Nu = C \cdot Re^{2/3} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\eta_{Kern}}{\eta_{Wand}} \right)^{0,14} \quad (18)$$

$$\text{mit } Pr = \frac{\eta_{Medium, Kern} \cdot c_{p, Medium}}{\lambda_{Medium}} \quad (19)$$

Tabelle 14: Werte Faktor C Korrelation zur Berechnung der Wärmeübergangszahl der Innenseite
mit h_{gesamt} = Gesamthöhe des Reaktors, d_{St} = Rührerdurchmesser, $d_{Reaktor}$ = Durchmesser des Reaktors
und N_{St} = Anzahl der Rührorgane, aus Sanders, 2014 (nach EKATO, 1980, Seite 25)

Rührorgan	$d_{St}/d_{Reaktor}$	$h_{gesamt}/d_{Reaktor}$	N_{St}	Bodenabstand	C
Propellerrührer	0,15 bis 0,4	-	1	0,5 d_{St}	0,46
INTERMIG-Rührer	0,4 bis 0,7	-	2	0,22 $d_{Reaktor}$	0,54
Scheiberrührer	0,2 bis 0,4	0,2	1	d_{St}	0,5

Letztlich lernen die Studierenden noch das Merkmal der Mischzeit zur Charakterisierung der Homogenisierung kennen. Sie beschreibt die Zeit, die bis zum Erreichen einer bestimmten Mischgüte in einem Rührsystem benötigt wird. Eine Mischzeit muss deshalb immer in Kombination mit der zu erreichenden Mischgüte angegeben werden. Sie kann experimentell mittels verschiedener Sonden-, Schlieren- und chemischen Methoden bestimmt werden (EKATO, 2000, Seite 59 ff.). Zudem kann die Mischzeit ϑ auch näherungsweise zum Beispiel über die Mischzeitkennzahl $N\vartheta$ und auf Basis experimenteller Bestimmungen erstellter Cha-

rakteristiken, in denen die Mischzeitkennzahl gegen die Reynoldszahl aufgetragen wird, bestimmt werden, was die Studierenden im Rahmen dieser Selbstlernphase einüben. (vgl. Abbildung 13). (EKATO, 2000, Seite 25; Storhas, 1994, Seite 33; Kraume, 2012)

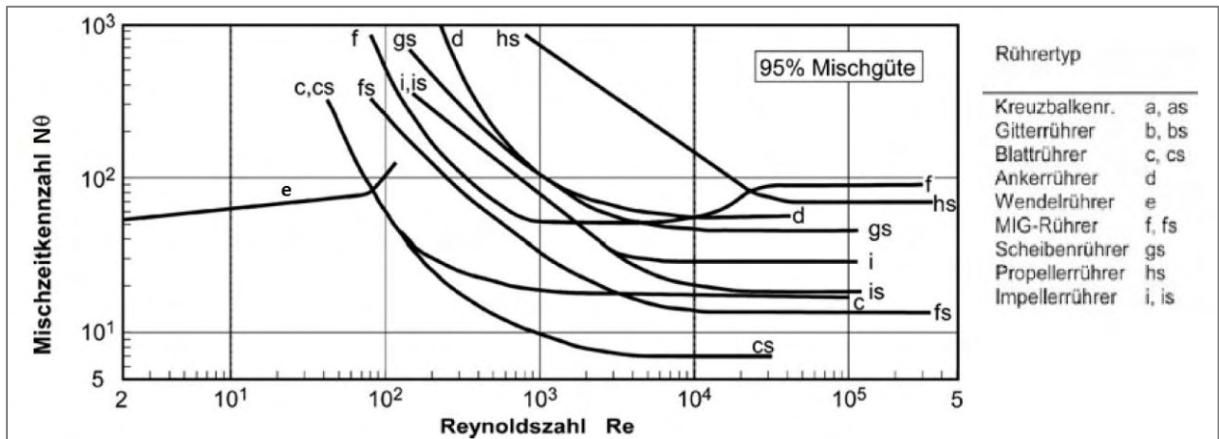


Abbildung 13: Mischzeitcharakteristiken für verschiedene Rührertypen

Darstellung der Mischzeitkennzahl gegenüber der Reynoldszahl für verschiedene Rührertypen, mit s = Strombrecher, Kraume (2012)

Durch die Nutzung verschiedener Rührorgane bei den Berechnungen werden diese ebenfalls in einer Lektion vorgestellt. Zur Durchmischung des Reaktorinhaltes eines Rührkesselreaktors kommen, auf Basis der spezifischen Prozessanforderungen ausgewählt, verschiedene Rührorgane zum Einsatz, da jedes Rührorgan durch seine spezifischen Merkmale hinsichtlich bevorzugtem Strömungsbereich, Viskositätsbereich, Umfangsgeschwindigkeit, Position im Kessel und Primärströmung für bestimmte Rühraufgaben mehr oder weniger geeignet ist. Dabei werden Rührorgane in erster Linie nach ihrer Primärströmung in Rührorgane axialer, radialer oder tangentialer Primärströmung unterschieden. Dazu sind in der DIN 28131 Standardrührorgane festgelegt, neben denen immer mehr entwickelte Sonderformen vorliegen. (EKATO, 2000; Wilke, 1988) Im Rahmen dieser Selbstlernphase werden diese Rührorgane hinsichtlich ihres Aufbaus, ihrer Rührwirkung und den dabei bevorzugten Rühraufgaben dargestellt und auf die genannten Merkmale eingegangen (vgl. Anhang T). Dabei wird besonders auf die Zuordnung zur jeweiligen Strömungsform Wert gelegt und diese auch in Frageseiten gefestigt (vgl. Anhang S). Einige der dabei dargestellten Rührorgane werden in den Berechnungen der vierten Präsenzveranstaltung genutzt.

5.8 Präsenztermin 4: Zusammenhang der Charakterisierungsmerkmale

Der vierte Präsenztermin dient der Vertiefung der Charakterisierungsmerkmale (vgl. Tabelle 15). Die Studierenden sollen das Verhalten der verschiedenen Merkmale bei Variation verschiedener Prozessparameter wie der Drehzahl, der Begasungsrate, des Rührorgans oder der Größe des Reaktors, die typischerweise in einem biotechnologischen Prozess variieren, auf Basis der in der Selbstlernphase 3 bearbeiteten Korrelationen analysieren, um so den Zusammenhang der einzelnen Charakterisierungsmerkmale zu verstehen (vgl. Anhang V). (vgl. Tabelle 15) Somit wird im Vergleich zur vorangegangenen Selbstlernphase nicht nur die Kompetenzstufe des Anwendens erreicht, sondern auch die der Synthese. Dabei werden die Charakterisierungsmerkmale weiterhin aus zeitlichen Gründen nur hinsichtlich Rührkesselreaktoren und für newtonsche Flüssigkeiten besprochen.

Tabelle 15: Ablauf und Lernziele Präsenztermin 4 unter Angabe von genutzten Methoden und Materialien

(Abkürzungen: L = Lehrender, S = Studierende, Präsentation durch Lehrenden = PdLeh, World Café = WC, Präsentation durch Lernenden = PdLer, Arbeit mit dem Plenum = AmdP)

Phase	Wer?	Zeit	Lernziel (Die Studierenden ...)	Methode	Material	
Vorbereitung	L		Freischalten des Abschnittes 4.7 (2 Tage vorher) Ausdrucken der Arbeitsanweisungen für Tisch 1 bis 5 in DIN A3-Format, aufgeklebt auf 5 Brownpaperbögen, ca. 15 Eddings, Logarithmenpapier, kariertes Papier Vorher durcharbeiten: Präsentation P4, Arbeitsanweisungen Tisch 1 bis 5 Direkt vor der Veranstaltung: 5 Gruppentische zusammenstellen und die Arbeitsmaterialien auf jedem der Tische verteilen			
1	Ablauf & Lernziele	L	5 Min.	... erhalten einen Überblick über den Verlauf und Zweck der Präsenzveranstaltung.	PdLeh	Präsentation P4 (Folie 2)
2	Vorstellung Aufgabe		5 Min.	... erhalten Einblick in den Ablauf der folgenden Aufgabe.	PdLeh	Präsentation (Folie 3)
3	Aufgabenbearbeitung	S	45 Min.	... berechnen und analysieren die Zusammenhänge der Charakterisierungsmerkmale bei Variation verschiedener Parameter.	WC (3 Blöcke)	Arbeitsanweisungen & Lösungen Tisch 1 bis 5
4	Vorstellen & diskutieren Ergebnisse	S	20 Min.		PdLer & AmdP	Präsentation P4 (Folie 4)
5	Feedback	L+S	5 Min.	... geben sich untereinander & erhalten vom Lehrenden Feedback, um die Arbeit zu reflektieren.	AmdP	Präsentation P4 (Folie 5)
6	Evaluation	L+S	10 Min.	... äußern ihre Meinung zum Ablauf & Inhalte der Blended-Learning-Einheit.	AmdP	Präsentation P4 (Folie 6)
Nachbereitung	L			Brownpaperbögen fotografieren & zum Download unter Abschnitt 4.7 im Onlinelernraum bereit stellen, Auswertung der Evaluation		

Die Bearbeitung erfolgt mittels der Methode World Café (vgl. Kapitel 4.3), um den Studierenden eine aktive Arbeit mit den Inhalten zu ermöglichen. Zudem sind durch den Tischwechsel zum einen die Beschäftigung mit mehreren Themen und zum anderen der Austausch und die Anregung durch die Ideen der anderen Kommilitonen möglich. Die Bearbeitung erfolgt dabei in mehreren Runden. Dabei werden jedoch nicht wie üblich Fragestellungen

gen diskutiert, sondern überwiegend Berechnungen durchgeführt. Zudem werden die Ideen nicht nur auf ein Brownpaper geschrieben, sondern die Ergebnisse in vorhandene Tabellen eingetragen. Jeder Tisch erhält dazu das jeweilige vorbereitete Arbeitsmaterial auf ein Brownpaper geklebt. (vgl. Anhang V) Dabei ist es nicht optimal, dass der zeitliche Aufwand zwischen den einzelnen Phasen nicht immer ganz gleich ist und zudem nicht in jeder Runde diskutierbare Ergebnisse heraus kommen, sondern häufig nur Berechnungen durchgeführt werden. Zudem könnte die Gruppengröße von 30 bis 40 Personen an 5 Tischen zu groß sein. Hier sind eventuell Optimierungen nötig.

Es werden die Parameter des im Praktikum Fermentations- und Bioreaktortechnik durchgeführten Kultivierungsversuches und des dabei verwendeten Bioreaktors als Grundlage für Berechnungen genutzt. So werden die praktischen Arbeiten aus dem Praktikum mit den Inhalten dieser Einheit verknüpft, um den Studierenden eine bessere Vorstellung von den verwendeten Größen zu geben. Zukünftig wäre eine noch stärkere Verknüpfung mit den Inhalten des Praktikums sinnvoll, indem auch die anderen Charakterisierungsmerkmale neben der volumetrischen Stoffübergangszahl experimentell im Praktikum bestimmt würden. Zudem wäre es sinnvoll an dieser Stelle die Thematik des Scale-Up einzufügen, um die Charakterisierungsmerkmale in diesem Zusammenhang nochmals aufzugreifen. Dies war jedoch ebenfalls aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich und passte zudem in den zeitlichen Rahmen von 2 Wochen mit der derzeitigen Planung nicht mehr.

Die Studierenden lernen dabei den Leistungseintrag in ein unbegastetes System hinsichtlich Variation der Rührerdrehzahl und des Rührorgans kennen.

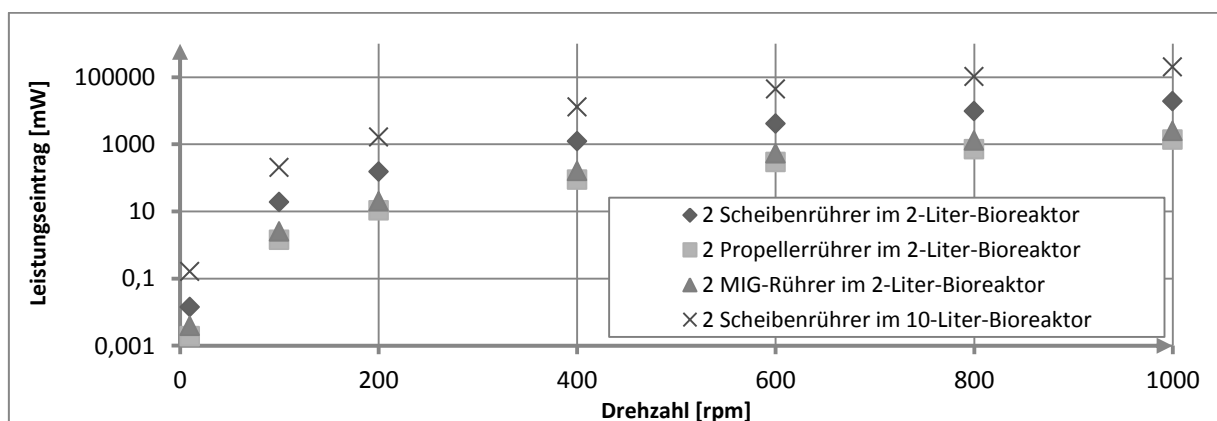


Abbildung 14: Darstellung des Leistungseintrags gegenüber der genutzten Drehzahl für verschiedene Rührorgane und Bioreaktoren

Mediumstemperatur 30°C, 2-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B2 mit einem Rührerdurchmesser von 0,053m, 10-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B10 mit einem Rührerdurchmesser von 0,085m

Der Leistungseintrag vergrößert sich besonders im kleinen Drehzahlbereich mit einer Erhöhung der Drehzahl. Die Variation des Rührorgans bewirkt nur eine vergleichsweise geringe Veränderung. Auch die Vergrößerung des Reaktorvolumens und damit des Rührerdurchmessers hat im bestimmten Bereich nur eine geringe erhöhende Wirkung (vgl. Abbildung 14).

Zudem analysieren sie das Verhältnis der in das begaste System eingetragenen Leistung und der in das unbegaste System eingetragenen Leistung für unterschiedliche Begasungsraten und Drehzahlen (vgl. Abbildung 15), wobei sich eine deutliche Abnahme des Leistungseintrags bei Erhöhung der Begasungsrate und Mäßigung der Drehzahl zeigt.

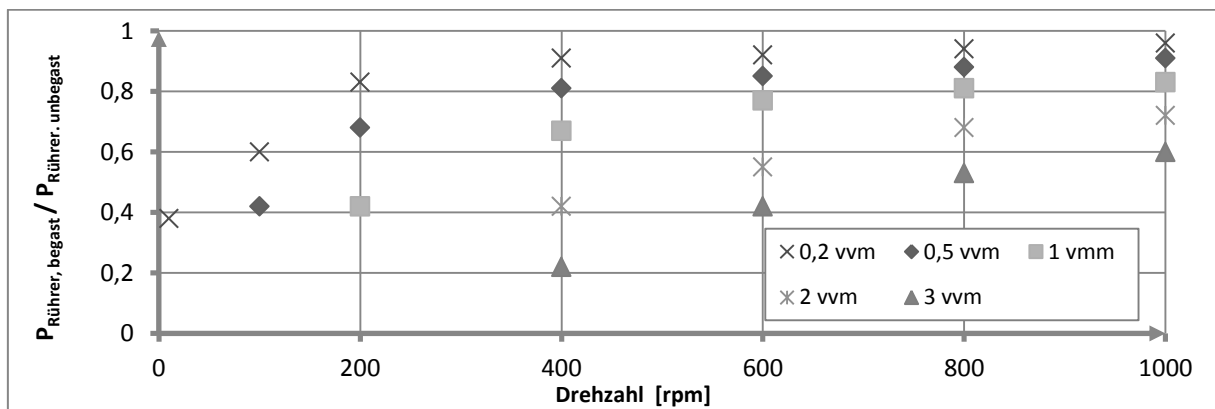


Abbildung 15: Darstellung des Verhältnisses der in das begaste System zur in das unbegaste System eingetragenen Leistung gegenüber der Drehzahl bei Nutzung unterschiedlicher spezifischer Begasungsraten
 Mediumstemperatur 30°C, 2-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B2 mit einem Rührerdurchmesser von 0,053m, Scheibenrührer

Dies ist in der Bildung von Gaskissen im Bereich der Rührerblätter mit Erhöhung der Begasungsrate und Mäßigung der Drehzahl begründet. Ab einer bestimmten Begasungsrate bildet sich ein großes, das Rührorgan umhüllendes Gaskissen aus und es kommt zur Überflutung. Diese maximale spezifische Begasungsrate steigt mit zunehmender Drehzahl, da die Gasblasen bei höherer Drehzahl besser von den Rührerblättern weggeschleudert werden können (vgl. Abbildung 16).

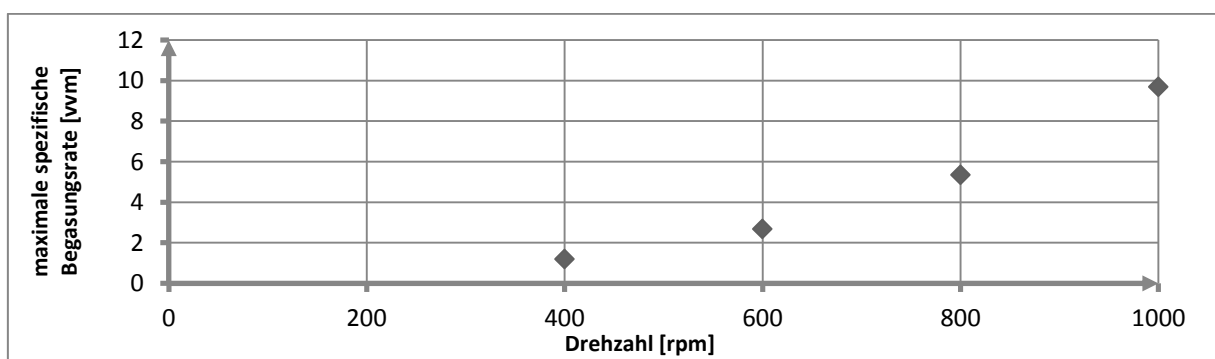


Abbildung 16: Darstellung der maximalen spezifischen Begasungsrate gegenüber der Drehzahl
 Mediumstemperatur 30°C, 2-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B2 mit einem Rührerdurchmesser von 0,053m, Scheibenrührer

Ebenfalls lernen die Studierenden die Abhängigkeit der volumetrischen Stoffübergangszahl von der Drehzahl und der Begasungsrate kennen. (vgl. Abbildung 17) Dabei zeigt sich, dass eine starke Abhängigkeit der Stoffübergangszahl von der Drehzahl, hingegen kaum eine von der Begasungsrate besteht, weshalb man gewöhnlich die Gelöstsauerstoffkonzentration meist durch Veränderung der Rührerdrehzahl regelt (Hass et al., 2011, Seite 27).

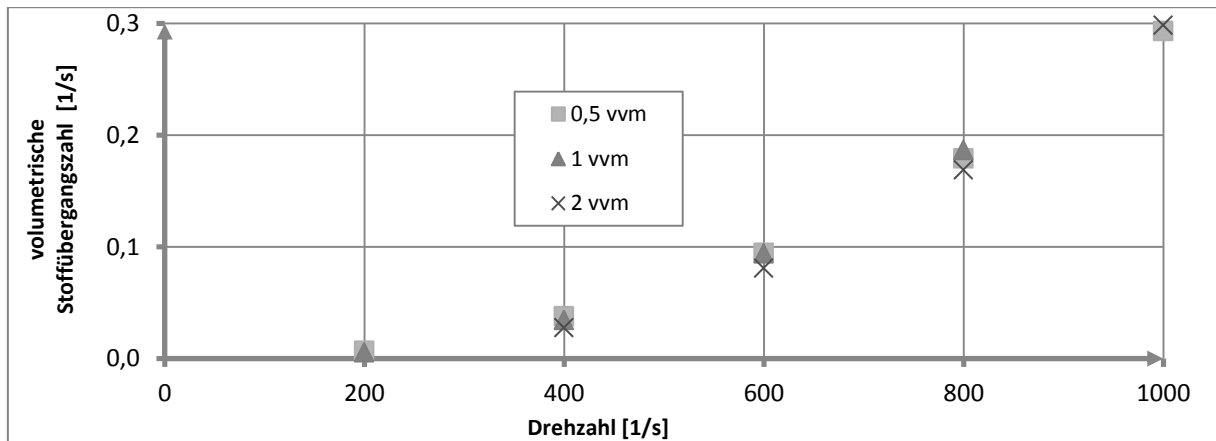


Abbildung 17: Darstellung der volumetrischen Stoffübergangszahl gegenüber der Drehzahl bei Nutzung unterschiedlicher spezifischer Begasungsraten

Mediumstemperatur 30°C, 2-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B2 mit einem Rührerdurchmesser von 0,053m, Scheibenrührer

Zudem hat die Regelung über die Gelöstsauerstoffkonzentration den Vorteil, dass die Gefahr der Überflutung durch Erhöhung der Drehzahl statt Erhöhung der Begasungsrate deutlich verringert wird und damit auch die Dispergierung des Gases im Medium verbessert wird.

Die Studierenden analysieren ebenfalls die Abhängigkeit der inneren Wärmeübergangszahl von der Drehzahl und Rührorganauswahl. (vgl. Abbildung 18)

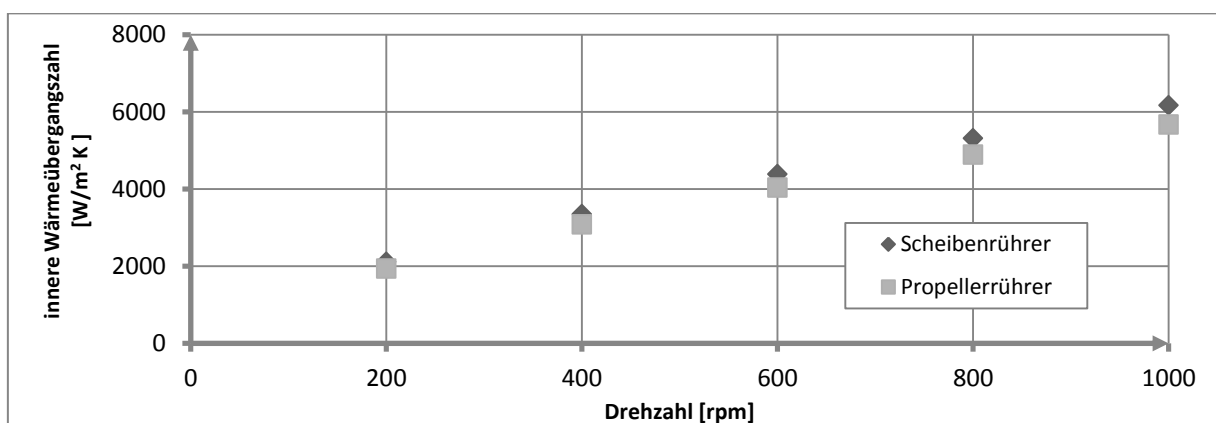


Abbildung 18: Darstellung der Wärmeübergangszahl der Innenseite gegenüber der Drehzahl bei Nutzung eines Scheiben- und Propellerrührers

Mediumstemperatur 30°C, 2-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B2 mit einem Rührerdurchmesser von 0,053m

Dabei zeigen sich eine wesentliche Erhöhung dieser bei Erhöhung der Drehzahl und damit ein verbesserter Wärmeübergang. Die Variation des Rührorgans zwischen Scheiben- und

Propellerrührer ergeben keine wesentlichen Unterschiede. Bei Drehzahlerhöhung ist zu bedenken, dass durch eine erhöhte Drehzahl mehr Leistung eingetragen und damit mehr Wärme frei wird. Bei Betrachtung des für unseren Kultivierungsversuch relativ geringen Leistungseintrags ist dies gegenüber der Wärmefreisetzung durch die Mikroorganismen zu vernachlässigen. Bei größeren Bioreaktoren sollte jedoch darauf geachtet werden (vgl. Abbildung 18). (Hass et al., 2011, Seite 25)

Letztlich lernen die Studierenden noch die Abhängigkeit der Mischzeit von der Drehzahl und Auswahl des Rührorgans kennen, wo sich eine starke Abhängigkeit vom verwendeten Rührorgan zeigt, besonders wenn man mit der Drehzahl in den Bereich gelangt, in dem die Mischzeitkennzahl stark zunimmt. (vgl. Abbildung 19) Liegt man im Bereich der konstanten Mischzeitkennzahl eines Rührorgans, so ist die Mischzeit wenig von der Drehzahl abhängig.

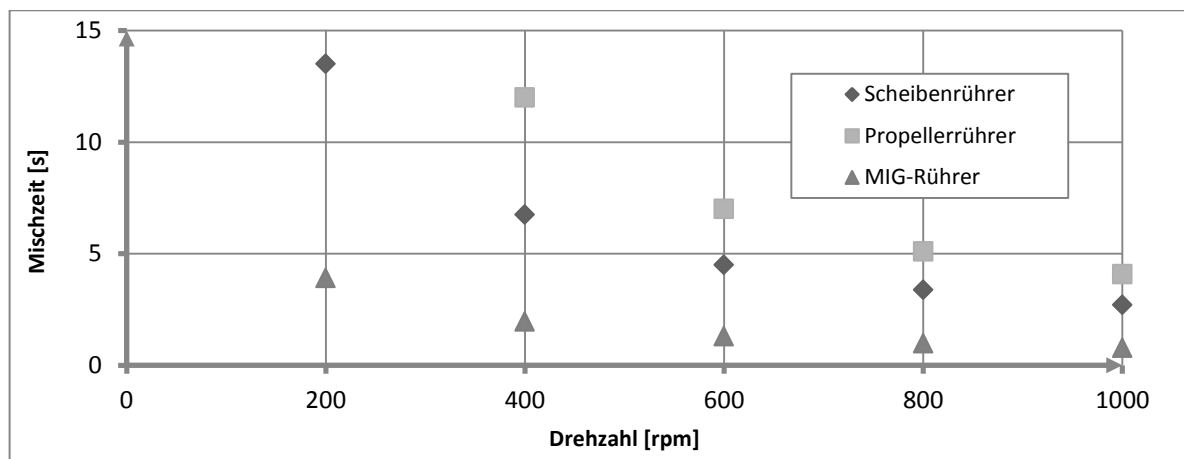


Abbildung 19: Darstellung der Mischzeit für eine Mischgüte von 95% gegenüber der Drehzahl bei Nutzung verschiedener Rührorgane

Mediumtemperatur 30°C, 2-Liter-Bioreaktor BIOSTAT B2 mit einem Rührerdurchmesser von 0,053m

6. Fazit

Ziel dieser Arbeit war es eine Blended-Learning-Einheit Bioreaktoren für den Einsatz in der Lehrveranstaltung FBRT hinsichtlich der inhaltlichen Ausarbeitung, der Auswahl geeigneter didaktischer Methoden und der Ausarbeitung entsprechender Lernmaterialien zu entwickeln. So sollte das bisher inhaltlich ungenügend ausgearbeitete Themenkapitel der Bioreaktortechnik zukünftig ersetzt und exemplarisch der Einsatz des Blended-Learning-Konzeptes in der Lehrveranstaltung erprobt werden. Letzteres sollte das Bildungsproblem der ungenügenden Vertiefung der Studierenden durch eine stärkere Verknüpfung der Präsenz- und Selbstlernphasen mit dem Einsatz von E-Learning, mehr aktivierende Methoden für eine verstärkte aktive Arbeit der Studierenden mit den Inhalten und eine stärkere Verknüpfung zu bereits vorhandenem Wissen verbessern.

Dazu wurde das im vorherigen Kapitel vorgestellte zweiwöchige Lernangebot mit im Wechsel statt findenden Präsenz- und Selbstlernphasen entwickelt, das die genannten Aspekte unter den in Abbildung 1 definierten Lernzielen aufgreift. Die Präsenzphasen werden mit einer Mischung aus Phasen der Präsentation durch den Lehrenden mit Interaktionsmöglichkeiten durch die Lernenden und Phasen verschiedener Arten von Gruppenarbeit zur aktiven Erarbeitung und Anwendung von Inhalten genutzt. Die Selbstlernphasen werden unter Nutzung des Onlinelernraums der Lehrveranstaltung auf der Lernplattform EMIL der HAW Hamburg für die Bearbeitung von einfachen und neuen Inhalten oder bereits bekannten Inhalten in Form von Lektionen, Lernaktivitäten mit Interaktionsmöglichkeiten der Studierenden durch zu beantwortende Fragestellungen und variable Verknüpfungspfade zwischen Inhaltsseiten genutzt. Zudem ist das Lernangebot durch die klare Kommunikation von Lernzielen und die Darstellung von übergreifenden Zusammenhängen und somit der Einordnung in vorhandenes Wissen geprägt. Dabei wird besonders in den ersten beiden Präsenzphasen und der Selbstlernphase sehr viel Zeit auf die inhaltliche Einordnung verwendet. Der Bioreaktor wird dabei in den biotechnologischen Prozess eingeordnet und daraus die weiteren in Abbildung 1 aufgeführten inhaltlichen Aspekte der Thematik zu den Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors, der Vielfalt an bestehenden Bioreaktortypen, dem Vergleich von Bioreaktoren auf Basis von Charakterisierungsmerkmalen und der genaueren Analyse dieser Merkmale im Laufe der Einheit erarbeitet. Sie ergeben sich dabei jeweils aus der

vorherigen inhaltlichen Erarbeitung, wodurch sich ein roter Faden durch die Inhalte des Lernangebotes zieht und die Studierenden die jeweiligen Inhalte in den übergreifenden Zusammenhang sehr leicht einordnen können. Zudem sind die Inhalte mit denen aus den ersten Kapiteln der Lehrveranstaltung FBRT durch die Einführung über den Fermentationsprozess und denen aus anderen Lehrveranstaltungen über die zu bearbeitenden Anwendungsthemen und das Wiederaufgreifen der Charakterisierungsmerkmale verknüpft.

Das Lernangebot kann in dieser Form zukünftig eingesetzt werden, da es vollständig ausgearbeitet ist. Es enthält jedoch noch einige bereits in Kapitel 5 schon angesprochene sowohl inhaltliche als auch didaktische Schwachstellen. In einer ersten Durchführung sollten diese genauer analysiert und anschließend eventuell optimiert werden.

Zukünftig ist über eine Ausweitung des Konzeptes auf weitere Teile der Lehrveranstaltung nachzudenken. Dabei ist jedoch anzumerken, dass eine derartige Ausarbeitung einen sehr großen Zeitaufwand fordert. Bereits die Erarbeitung von entsprechenden Inhalten und die Auswahl von geeigneten didaktischen Methoden sind sehr aufwendig. Besonders aber die Ausarbeitung von entsprechenden Arbeitsmaterialien für die Selbstlernphasen auf EMIL zum Beispiel in Form von Lektionen oder für die Präsenzphasen für verschiedene Arten der Gruppenarbeit ist sehr aufwendig, weshalb auch im Rahmen dieser Bachelorarbeit eine erste Durchführung zeitlich nicht mehr erfolgen konnte. Zudem sollte eine weitere Ausweitung auf eben einer solchen ersten Durchführung in Kombination mit einer intensiven Analyse mit den Studierenden und entsprechenden Optimierung der Blended-Learning-Einheit basieren. So können der Einsatz der didaktischen Methoden und die Verbesserung des Bildungsproblems zuvor intensiv erörtert werden und die damit verbundenen Ergebnisse in eine Ausweitung mit eingebunden werden. Die Auswahl der Inhalte und der didaktischen Methoden wurde im Rahmen dieser Arbeit intensiv durchdacht, aber erst der Einsatz in der Lehrveranstaltung kann den Erfolg der Einheit hinsichtlich der inhaltlichen Ausarbeitung und der Auswahl didaktischer Methoden zur Verbesserung des Bildungsproblems zeigen.

7. Literaturverzeichnis

Antranikian, Garabed (2006): *Angewandte Mikrobiologie*, Springer, Berlin

Bednorz P., Schuster, M. (2002): *Einführung in die Lernpsychologie*, 3. Auflage, Ernst Reinhardt, Opladen

biotechnologie.de (2013): *Die deutsche Biotechnologie-Branche 2013, Daten & Fakten*, URL: <http://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/PDF/de/umfrage/2013-umfrage,property=pdf,bereich=bio,sprache=de,rwb=true.pdf>, abgerufen am 15.04.2014

biotechnologie.de (2014): *Basiswissen. Was ist Biotechnologie?*, URL: <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/basiswissen.html>, abgerufen am 25.04.2014

Bloom, B. S.; Engelhart, M. D. (1976): *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*, 5. Auflage, Beltz, Weinheim

Bundesagentur für Arbeit (2012): *Ingenieur/in – Biotechnologie. Berufenet Berufsinformationen einfach finden*, URL: <http://berufenet.arbeitsagentur.de/berufe/docroot/r2/blobs/pdf/archiv/58581.pdf>, abgerufen am 20.05.2014

Chmiel, H. (2011): *Bioprozesstechnik*, 3. Auflage, Spektrum, Heidelberg

Dechema (2012): *Statuspapier des temporären Arbeitskreises "Single-Use-Technologien in der biopharmazeutischen Produktion"*, URL http://www.dechema.de/biotech_media/StatPap_SingleUse2011-p-662.pdf, abgerufen am 15.03.2014

Edelmann, Walter (1996): *Lernpsychologie*, 5. Auflage, Beltz, Weinheim

Eibl, R.; Eibl, D.; Scheper, T. (2009): *Disposable Bioreactors. Advanced in Biochemical Engineering / Biotechnology*, Springer, Heidelberg

EKATO (1980): *Rührtechnik Forschung und Entwicklung*

EKATO (2000): *Handbuch der Rührtechnik*, 2. Auflage, Schopfheim

Gertsch, F. (2007): *Das Moodle 1.8 Praxisbuch. Online-Lernumgebungen einrichten, anbieten und verwalten*, Addison-Wesley, München

Hass, Volker C.; Pörtner, Ralf (2011): *Praxis der Bioprozesstechnik mit virtuellem Praktikum*, 2. Auflage, Spektrum, Heidelberg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (2011): *Modulhandbuch B. Sc. Biotechnologie (Prüfungsordnung für Studienanfänger im 1. Semester ab WS 2010/11)*, URL: http://www.haw-hamburg.de/fileadmin/user_upload/FakLS/04Studiengang/BA_Biotechnologie/Modulhandbuch_BSc_BT_ab_WS_1011.pdf, abgerufen am 09.04.2014

- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (2013): *E-Learning und Medien*, URL: <http://www.haw-hamburg.de/fakultaeten-und-departments/ti/ti/elearning-medien.html>, abgerufen am 04.04.2014.
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (2014): *Eine Hochschule für die Metropole*, URL: <http://www.haw-hamburg.de/unsere-hochschule.html>, abgerufen am 25.04.2014
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (2014)(2): *Evaluationsverfahren und Qualitätsmanagementinstrumente*, URL: <http://www.haw-hamburg.de/fakultaeten-und-departments/ls/unsere-fakultaet/qualitaetsmanagement/evaluationsverfahren-und-qm-instrumente.html>, abgerufen am 18.05.2014
- Iberer, U. (2010): *Vom E-Learning zum Blended Learning: Aktuelle Entwicklung und didaktische Chancen virtueller Lehr- und Lernformen*, Theo-Web. Zeitschrift für Religionspädagogik, 9(1): 15-27
- Kerres, Michael (2013): *Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote*, 4. Auflage, Oldenbourg, München
- Kraft, Susanne (2003): *Blended Learning – ein Weg zur Integration von E-Learning und Präsenzlernen*, Report, 2003(2): Seite 43-52
- Kraume (2012): *Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik*, Springer, Berlin
- Kultusministerkonferenz (2010): *Ländergemeinsame Strukturvorgaben für die Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengänge*, URL: http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2003/2003_10_10-Laendergemeinsame-Strukturvorgaben.pdf, abgerufen am 20.05.2014
- Präve, P. (1986): *Jahrbuch der Biotechnologie Band 2 1986/1987*, Carl Hanser Verlag
- Präve, P.; Faust, U.; Sittig, W.; Sukatsch, D. A. (1994): *Handbuch der Biotechnologie*, 4. Auflage, R. Oldenbourg, München
- Reinmann-Rothmeier, G. (2003): *Didaktische Innovation durch Blended-Learning. Leitlinien anhand eines Beispiels aus der Hochschule*, 1. Auflage, Hans Huber, Bern
- Renneberg, R. (2007): *Biotechnologie für Einsteiger*, 2. Auflage, Spektrum, München
- Roth, Gerhard (2004): *Warum sind Lehren und Lernen so schwierig?*, Zeitschrift für Pädagogik 50(4), Seite 496-506
- Sanders, Ernst A. (2014): *Wärme- und Stoffaustausch Skript. 3. Wärmeaustausch*
- Schlag, Bernhard (2013): *Lern- und Leistungsmotivation*, 4. Auflage, Kapitel 4, Springer, Wiesbaden
- Schügerl, K. (1991): *Bioreaktortechnik Band 2, Bioreaktoren und ihre Charakterisierung*, Otto Salle, Frankfurt am Main
- Storhas, W. (1994): *Bioreaktoren und periphere Einrichtungen*, Vieweg, Braunschweig

s&h Ingenieurgesellschaft mbH (2008): *Studie zur Anwendung von "disposable-bag" (Einweg-) Bio-reaktoren zur Produktion therapeutischer oder diagnostischer Agentien mit Zellkulturen*, URL: http://www.lyocontract.de/fileadmin/files/Studie_zur_Anwendung_von_Einwegbioreaktoren.pdf, abgerufen am 17.03.2014

theWorldCafé (2014): *World Café Method*, URL: <http://www.theworldcafe.com/method.html>, abgerufen am 12.04.2014

Waldherr, W., Walter, C. (2009): *didaktisch und praktisch Ideen und Methoden für die Hochschullehre*, Schäffer-Poeschel, Stuttgart

Wellenstein, W. (2003): *Didaktik und Methodik. Ein Didaktikkurs für Tutorinnen und Tutoren des IPMZ*, URL: http://www.reden.ch/f7info/infolisten/Didaktik_u_Methodik_IPMZ.pdf, abgerufen am 15.05.2014

Wilke, H.-P. (1988): *Rührtechnik. Verfahrenstechnische und apparative Grundlagen*, Hüthig, Heidelberg

Zlokarnik, M. (1999): *Rührtechnik. Theorie und Praxis*, Spektrum, Heidelberg

8. Anhang

Abkürzungen: Onlinelernraum = OLR, Selbstlernphase = SLP, Präsenzphase = PP

	zu verwendende Materialien	Ausschnitt	Anhang
OLR	Kursseite des Onlinelernraums (aus Sicht des Studierenden)	Abschnitt 4. bis 4.7	A
	Abschnittseite des Onlinelernraumes (aus Sicht des Studierenden)	Abschnitt 4.	B
		Abschnitt 4.1 & 4.4	C
PP 1	Präsentation P1	-	-
	Arbeitsmaterialien Bierherstellung	gesamt	D
	Arbeitsmaterialien Biogasherstellung	-	-
	Arbeitsmaterialien biologische Abwasserreinigung	-	-
	Arbeitsmaterialien Essigsäureherstellung	-	-
	Arbeitsmaterialien Käseherstellung	-	-
	Beispiellösung Bierherstellung	gesamt	E
	Beispiellösung Biogasherstellung	-	-
	Beispiellösung Biogasherstellung	-	-
	Beispiellösung biologische Abwasserreinigung	-	-
	Beispiellösung Bierherstellung	-	-
	Beispiellösung Käseherstellung	-	-
SLP 1	./.	-	-
PP 2	Präsentation P2	Folie 2	F
	Fertiges Übersichtsdiagramm	Folie 11 & 12	G
	Arbeitsmaterial Gruppe 1 Submerbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag	gesamt	H
	Arbeitsmaterial Gruppe 5 Submerbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 9 Submerbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag	-	-
	Beispiellösung Gruppe 1,5 und 9 Submerbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag	gesamt	J
	Arbeitsmaterial Gruppe 2 Submerbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 6 Submerbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 10 Submerbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Beispiellösung Gruppe 2,6 und 10 Submerbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 3 Oberflächenbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 7 Oberflächenbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 11 Oberflächenbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Beispiellösung Gruppe 3,7 und 11 Oberflächenbioreaktoren mit hydraulischem Leistungseintrag	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 4 Submersbioreaktoren mit Leistungseintrag über Rührorgan	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 8 Submersbioreaktoren mit Leistungseintrag über Rührorgan	-	-
	Arbeitsmaterial Gruppe 12 Submersbioreaktoren mit Leistungseintrag über Rührorgan	-	-
Beispiellösung Gruppe 4,8 und 12 Submersbioreaktoren mit Leistungseintrag über Rührorgan	-	-	
SLP 2	Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors	Seite 1	K
		Seite 5	L
		Seite 15	M
	Lektion Bioreaktortypen Teil 1	Seite 7 (Ausschnitt)	N
		Seite 13	O
Lektion Bioreaktortypen Teil 2	Seite 22	P	
PP 3	Präsentation P3	-	-
	Beispiellösung Tabelle	gesamt	R
SLP 3	Lektion Rührorgane	Seite 10	S
	Lektion Berechnung Leistungseintrag	Seite 13	T
	Lektion Berechnung maximale Begasungsrate	-	-
	Lektion Berechnung volumetrische Stoffübergangszahl	Seite 4-7	U
	Lektion Berechnung Wärmeübergangskoeffizient der Innenseite	-	-
	Lektion Berechnung Mischzeit	-	-
PP 4	Präsentation P4	-	-
	Arbeitsanweisung Tisch 1	-	-
	Arbeitsanweisung Tisch 2	-	-
	Arbeitsanweisung Tisch 3	gesamt	V
	Arbeitsanweisung Tisch 4	-	-
	Arbeitsanweisung Tisch 5	-	-
	Lösung Tisch 1	-	-
	Lösung Tisch 2	-	-
	Lösung Tisch 3	-	-
	Lösung Tisch 4	-	-
Lösung Tisch 5	-	-	

A. Kursseite des Onlinelernraumes

Ausschnitt Abschnitt 4. bis 4.7

4. Bioreaktortechnik als Blended-Learning-Einheit

Wenn Sie auf diesen Abschnitt klicken, erhalten Sie schon jetzt Informationen zum Ablauf der Blended-Learning-Einheit und können sich in Arbeitsgruppen einteilen!



4.1 Präsenztermin 1: Vorstellung der Lerneinheit und Einführung in das Thema Bioreaktoren

Sie erhalten eine didaktische und inhaltliche Einführung in die Blended-Learning-Einheit. Zudem ordnen Sie mit Hilfe bekannter Anwendungen den Bioreaktor in den biotechnologischen Prozess ein. Dazu beschäftigen Sie sich in Kleingruppen mit verschiedenen Anwendungsthemen und stellen diese in einem "Infomarkt" dar.



4.2 Selbstlernphase 1: Bioreaktoren in unterschiedlichen Prozessen

Wie ist der Bioreaktor in den biotechnologischen Prozess einzuordnen?



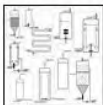
4.3 Präsenztermin 2: Einteilungskriterien von Bioreaktoren & Bioreaktorbasistypen

Sie lernen, wie verschiedene Bioreaktortypen eingeteilt werden können und welche Bioreaktorbasistypen sich daraus ergeben.



4.4 Selbstlernphase 2: Bioreaktortypen

In dieser Selbstlernphase beschäftigen Sie sich mit verschiedenen Bioreaktortypen und ihren Einteilungskriterien. Dazu bearbeiten Sie die in diesem Abschnitt enthaltenen Lektionen.



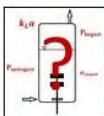
4.5 Präsenztermin 3: Vergleich von Bioreaktoren

Sie lernen, wie man Bioreaktoren vergleichen kann und welche Charakterisierungsmerkmale dabei helfen.



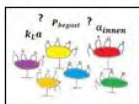
4.6 Selbstlernphase 3: Charakterisierungsmerkmale von Bioreaktoren

Sie wiederholen und ergänzen Ihr Wissen zur Berechnung der Charakterisierungsmerkmale.



4.7 Präsenzveranstaltung 4: Zusammenhang der Charakterisierungsmerkmale

Sie erarbeiten sich an "Caféhaustischen" des World Cafés wichtige Zusammenhänge der Charakterisierungsmerkmale.



4.8 Literaturempfehlungen

Wenn Sie sich genauer mit den in der Blended-Learning-Einheit bearbeiteten Themen auseinander setzen wollen, gibt es hier einige Literaturempfehlungen.



B. Abschnittsseite des Onlinelernraumes

Abschnitt 4.

Wenn Sie auf diesen Abschnitt klicken, erhalten Sie schon jetzt Informationen zum Ablauf der Blended-Learning-Einheit und können sich in Arbeitsgruppen einteilen!



Das Kapitel Bioreaktortechnik wird in diesem Semester als zweiwöchige Blended-Learning-Einheit gestaltet. Dabei finden die Präsenzveranstaltungen wie gewohnt statt, jedoch in einer etwas anderen Form. Sie sollen in diesen Stunden **sehr viel aktiver als sonst** mitarbeiten! Zwischen den Präsenzveranstaltungen finden Selbstlernphasen statt, in denen Sie mit Unterstützung von EMIL arbeiten sollen.

Wochentag	Datum	Zeit	Veranstaltung
??	??.05.2014	? . Viertel	Präsenztermin: Vorstellung der Lerneinheit und Einführung in das Thema Bioreaktoren (4.1)
Bearbeitung bis zum nächsten Präsenztermin			Selbstlernphase: Bioreaktoren in unterschiedlichen Prozessen (4.2)
??	??.05.2014	? . Viertel	Präsenztermin: Einteilungskriterien von Bioreaktoren & Bioreaktorbasistypen (4.3)
Bearbeitung bis zum nächsten Präsenztermin			Selbstlernphase: Bioreaktortypen (4.4)
??	??.05.2014	? . Viertel	Präsenztermin: Vergleich von Bioreaktoren (4.5)
Bearbeitung bis zum nächsten Präsenztermin			Selbstlernphase: Charakterisierungsmerkmale von Bioreaktoren (4.6)
??	??.05.2014	? . Viertel	Präsenztermin: Zusammenhang der Charakterisierungsmerkmale (4.7)

? Gruppeneinteilung

Bitte teilen Sie sich mit Hilfe dieser Abstimmung in Gruppen ein! Klicken Sie dazu auf die Abstimmung!

Neben den Themen stehen jeweils biotechnologische Anwendungsthemen. Informieren Sie sich vor Beginn der Blended-Learning-Einheit über die Themen und haben Sie dabei ein besonderes Augenmerk auf die Abläufe in einem Bioreaktor.

Manchmal gibt es dazu mehrere Varianten, versuchen Sie diese zu unterscheiden!

C. Abschnittsseite des Onlinelernraumes

Abschnitt 4.1

4.1 Präsenztermin 1: Vorstellung der Lerneinheit und Einführung in das Thema Bioreaktoren

Sie erhalten eine didaktische und inhaltliche Einführung in die Blended-Learning-Einheit. Zudem ordnen Sie mit Hilfe bekannter Anwendungen den Bioreaktor in den biotechnologischen Prozess ein. Dazu beschäftigen Sie sich in Kleingruppen mit verschiedenen Anwendungsthemen und stellen diese in einem "Infomarkt" dar.



Downloadbereich

Im Anschluss an den Präsenztermin finden Sie hier die genutzten und erarbeiteten Materialien.



Präsentation P1 1007,6KB

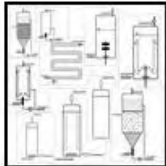


Fotos der Flipchartbögen

Abschnitt 4.4

4.4 Selbstlernphase 2: Bioreaktortypen

In dieser Selbstlernphase beschäftigen Sie sich mit verschiedenen Bioreaktortypen und ihren Einteilungskriterien. Dazu bearbeiten Sie die in diesem Abschnitt enthaltenen Lektionen.



Was ist zu tun?

Sie bearbeiten die folgenden Lektionen (in gegebener Reihenfolge). Auf Basis dieser Lektionen werden Sie in der nächsten Präsenzveranstaltung weiter arbeiten!



Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors



Bioreaktortypen Teil 1



Bioreaktortypen Teil 2

D. Arbeitsmaterial Bierherstellung

Arbeitsmaterial Bierherstellung

Sie haben sich für das Thema der Bierherstellung entschieden und bereits im Vorfeld dieser Präsenzphase darüber informiert. Auf Basis dieser Recherche sollen Sie nun die folgenden Fragen beantworten und ihre Ergebnisse auf einem Flipchartbogen knapp, übersichtlich und selbsterklärend darstellen.

Frage 1:

Wie verläuft der Prozess des Bierbrauens? Stellen Sie den Ablauf knapp in Form eines Diagrammes oder einer Grafik dar.

Frage 2:

Welcher dieser Prozessschritte stellt eine enzymatische Stoffumwandlung dar und was ist das Ziel dieses Schrittes?

Frage 3:

Was ist der Biokatalysator in diesem Prozessschritt und wie liegt der Biokatalysator (das Enzym) vor? Denken Sie dabei an ihren durchgeführten Kultivierungs- und Immobilisierungsversuch. Wie lagen dort die Biokatalysatoren vor? So könnte eine Unterscheidung aussehen.

Frage 4:

Wie sieht der Bioreaktor in diesem Prozessschritt aus und welche Aufgaben hat er?

Frage 5:

Um in einem Bioreaktor für eine Durchmischung zu sorgen, wird Leistung eingetragen. Diese kann pneumatisch, hydraulisch oder über ein Rührorgan eingetragen werden. Diskutieren Sie die Begriffe und überlegen Sie, welcher Leistungseintrag in ihrem Prozess vorliegt.

Es können auch mehrere Schritte sein!

E. Beispiellösung Bierherstellung

Arbeitsmaterial Bierherstellung

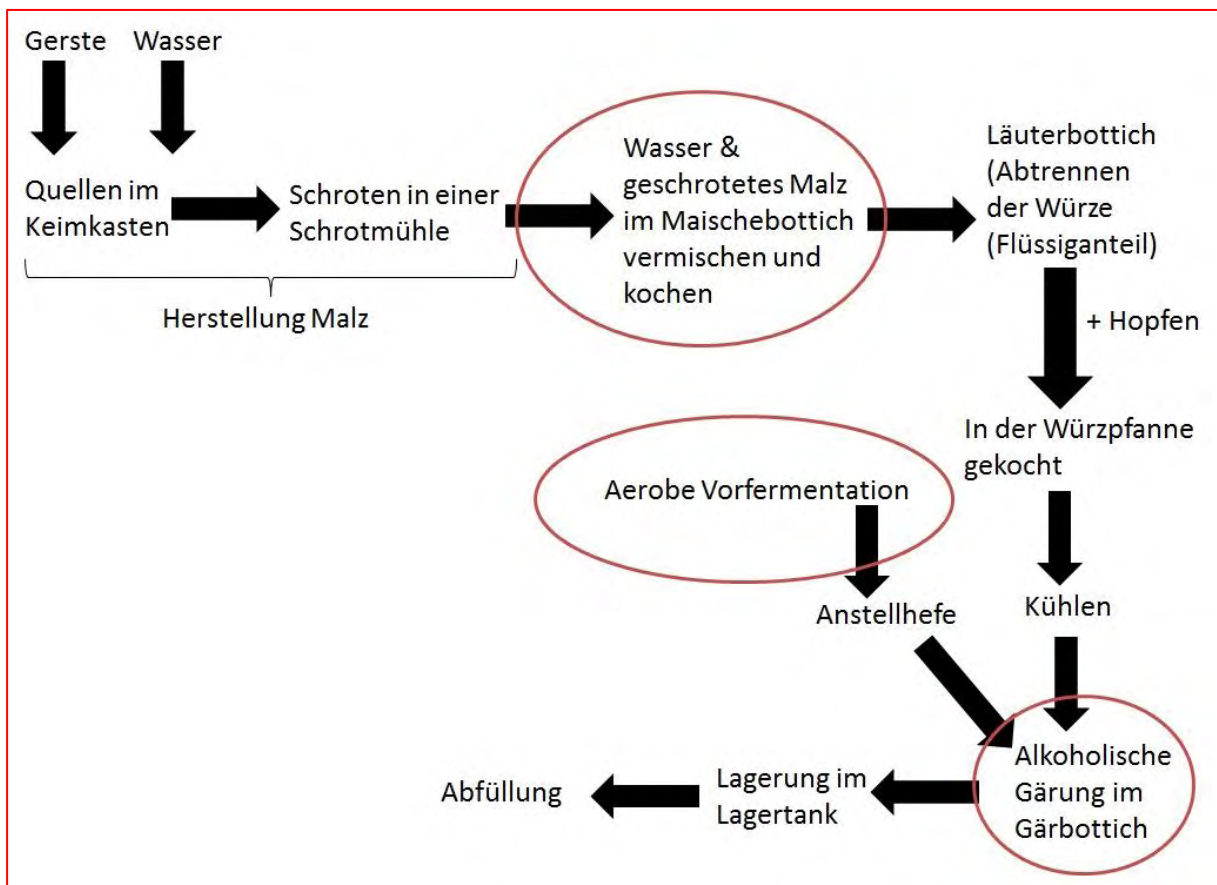
mit Beispiellösung

Arbeitsmaterialien Bierherstellung

Sie haben sich für das Thema der Bierherstellung entschieden und bereits im Vorfeld dieser Präsenzphase darüber informiert. Auf Basis dieser Recherche sollen Sie nun die folgenden Fragen beantworten und ihre Ergebnisse auf einem Flipchartbogen knapp, übersichtlich und selbsterklärend darstellen.

Frage 1:

Wie verläuft der Prozess des Bierbrauens? Stellen Sie den Ablauf knapp in Form eines Diagrammes oder einer Grafik dar.



Quelle: nach Renneberg, R. (2007): *Biotechnologie für Einsteiger*, 2. Auflage, Spektrum, München

Frage 2:

Welcher dieser Prozessschritte stellt eine enzymatische Stoffumwandlung dar und was ist das Ziel dieses Schrittes?

- (1) Abbau der Stärke im Malz zu Zucker
- (2) Aerobe Vorfermentation der Hefe
- (3) Alkoholische Gärung der Hefen

Frage 3:

Was ist der Biokatalysator in diesem Prozessschritt und wie liegt der Biokatalysator (das Enzym) vor? Denken Sie dabei an ihren durchgeführten Kultivierungs- und Immobilisierungsversuch. Wie lagen dort die Biokatalysatoren vor? So könnte eine Unterscheidung aussehen.

- (1) Enzym Amylase aus dem Malz, frei in Suspension vorliegend
- (2) aerobe Atmung, Enzyme der aeroben Atmung in den Hefen, suspendiert
- (3) anaerober Prozess, Enzyme der alkoholischen Gärung in den Hefen, suspendiert

Frage 4:

Wie sieht der Bioreaktor in diesem Prozessschritt aus und welche Aufgaben hat er?

- (1) Behälter (ausreichende Temperierung, um die Stärke im Malz in Lösung zu bringen, aber nicht zu starke Erhitzung, um das Enzym nicht zu zerstören)
- (2) Geschlossener Behälter ähnlich unseren Bioreaktoren (ausreichende Belüftung (aerober Prozess), gute Durchmischung, Temperaturregulierung)
- (3) Geschlossener Behälter (keine Belüftung, Abdichtung gegen die Umwelt (anaerober Prozess), Absaugmöglichkeit für das Kohlendioxid oder hohe Druckbeständigkeit, Durchmischung ausschließlich durch das entstehende Gas)

Frage 5:

Um in einem Bioreaktor für eine Durchmischung zu sorgen, wird Leistung eingetragen. Diese kann pneumatisch, hydraulisch oder über ein Rührorgan eingetragen werden. Diskutieren Sie die Begriffe und überlegen Sie, welcher Leistungseintrag in ihrem Prozess vorliegt.

- (1) Wahrscheinlich durchmischt mit Rührorgan oder Ähnlichem
- (2) Vorfermentation von Hefe findet üblicherweise unter Rühren statt (über Rührorgan), könnte aber auch pneumatisch oder hydraulisch sein
- (3) Hier erfolgt die Durchmischung ausschließlich durch das aufsteigende Gas

Es können auch mehrere Schritte sein!

Quellen:

- Renneberg, Reinhard (2007): *Biotechnologie für Einsteiger*, 2. Auflage, Spektrum Verlag
 - Die deutschen Brauer (2014): *Der Brauprozess. Wie unser Bier entsteht?*, URL <http://www.brauer-bund.de/index.php?id=14&ageverify=16&PHPSESSID=a503ff1a5c3b3646980379f281a2512d>, abgerufen am 16.04.2014
 - Scherer (2011): Vorlesungsskript Angewandte Mikrobiologie
-

F. Präsentation P2

Folie 2

Inhalte und Lernziele

Präsenztermin 2

- möglichst allgemeingültige Beantwortung der Fragen im Übersichtsdiagramm & Erarbeiten von Einteilungskriterien von Bioreaktoren
 - Sie kennen die Unterschiede von biotechnologischen Prozessen hinsichtlich des Bioreaktors & können Einteilungskriterien von Bioreaktoren benennen und erläutern.
- Bearbeitung von verschiedenen Bioreaktortypen in Gruppenarbeit & zusammentragen und diskutieren der Ergebnisse
 - Sie kennen verschiedene Bioreaktoren hinsichtlich Aufbau, Funktion und Vor- und Nachteilen.

G. Präsentation P2

Folie 11

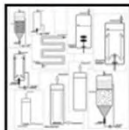
Feedback

- Wie hat Ihnen die Präsenzveranstaltung gefallen? Was fanden Sie gut / schlecht?
- Wie hat die Arbeit in den Gruppen geklappt? War die Gruppenarbeit hilfreich?
- Haben Sie die anfangs erläuterten Lernziele der Präsenzveranstaltung erreicht?

Folie 12

Ausblick – Selbstlernphase 2

In dieser Selbstlernphase beschäftigen Sie sich mit verschiedenen Bioreaktortypen und ihren Einteilungskriterien. Dazu bearbeiten Sie die in diesem Abschnitt enthaltenen Lektionen.

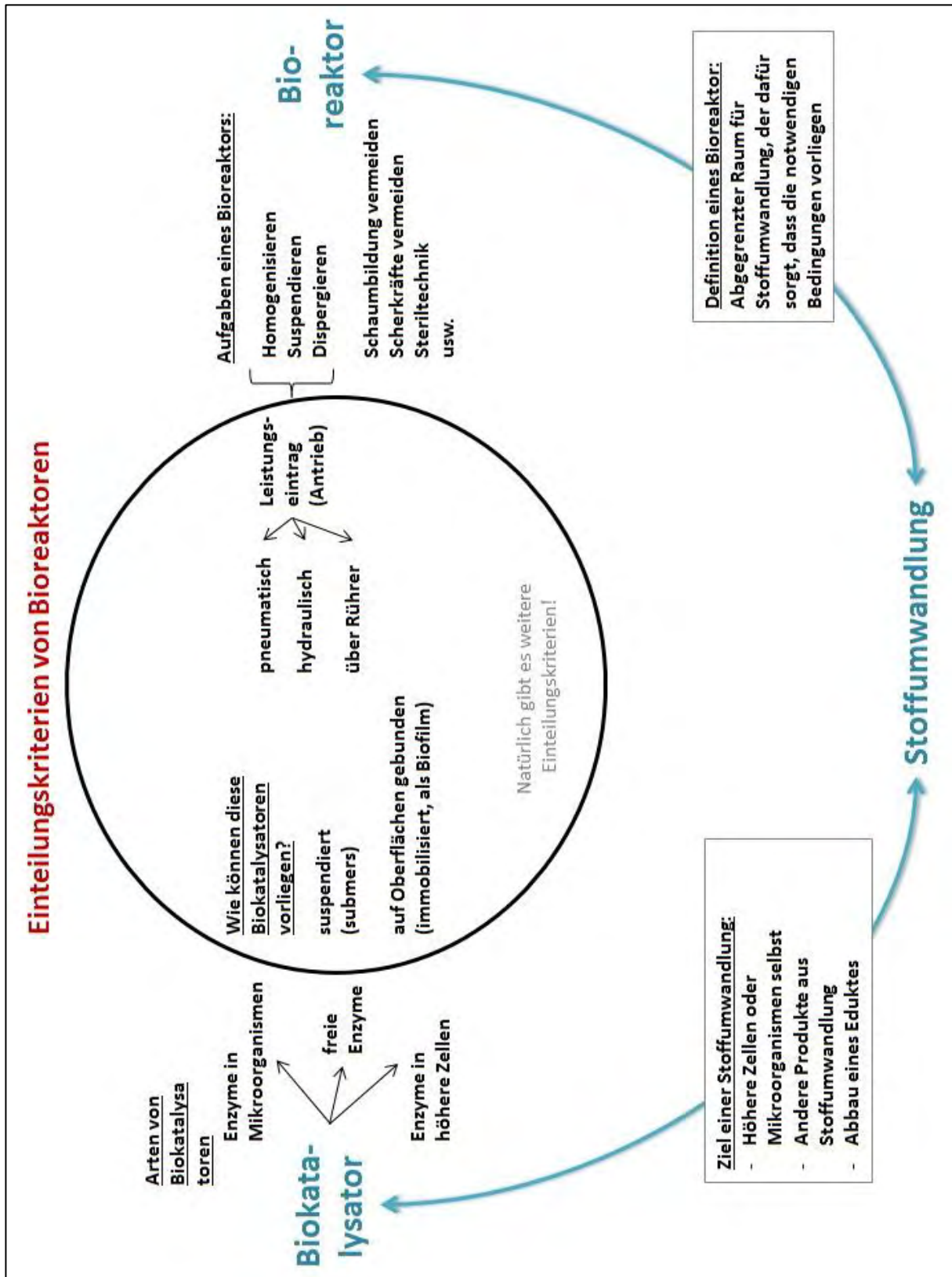


Was ist zu tun?

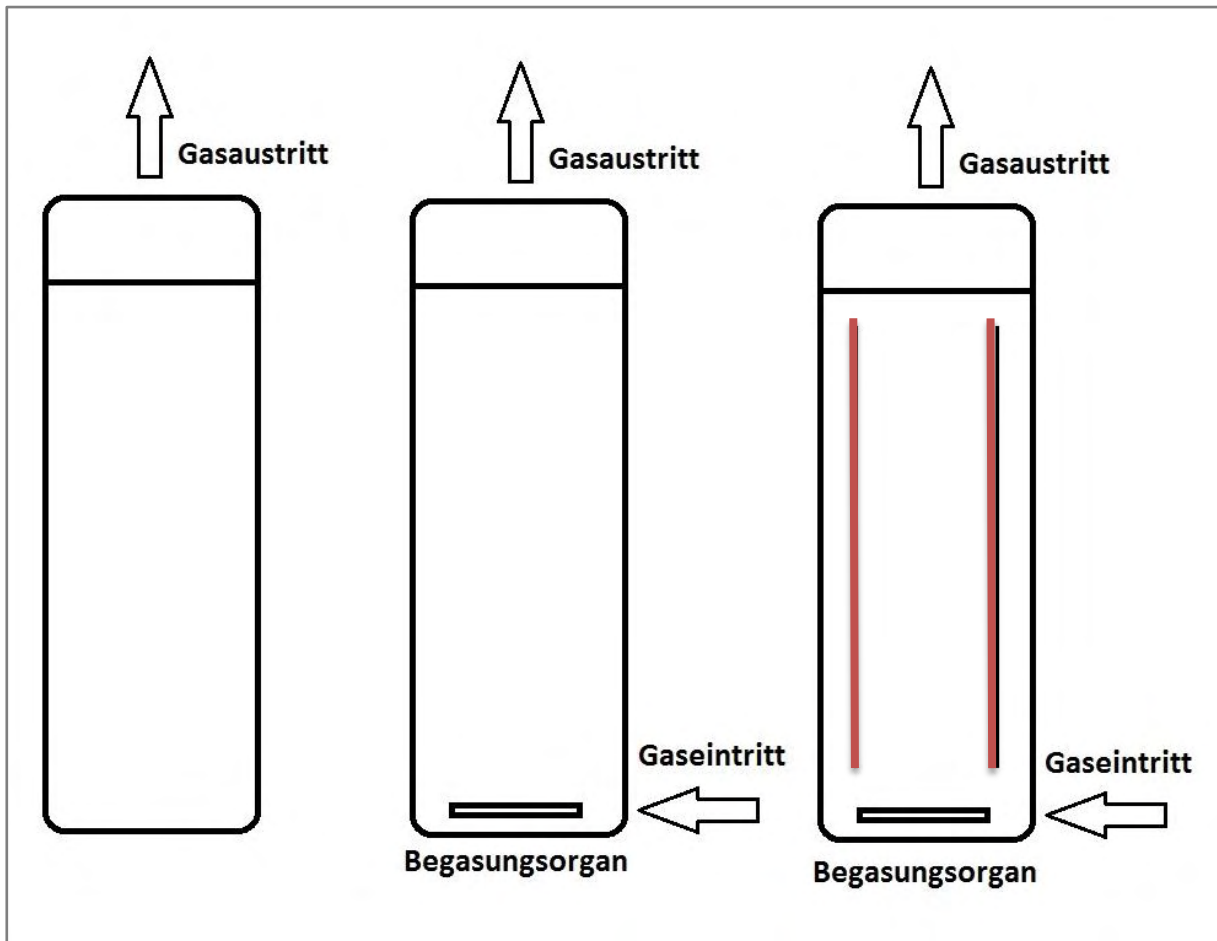
Sie bearbeiten die folgenden Lektionen (in gegebener Reihenfolge). Auf Basis dieser Lektionen werden Sie in der nächsten Präsenzveranstaltung weiterarbeiten!

- Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors
- Bioreaktortypen Teil 1
- Bioreaktortypen Teil 2

H. Fertiges Übersichtsdiagramm



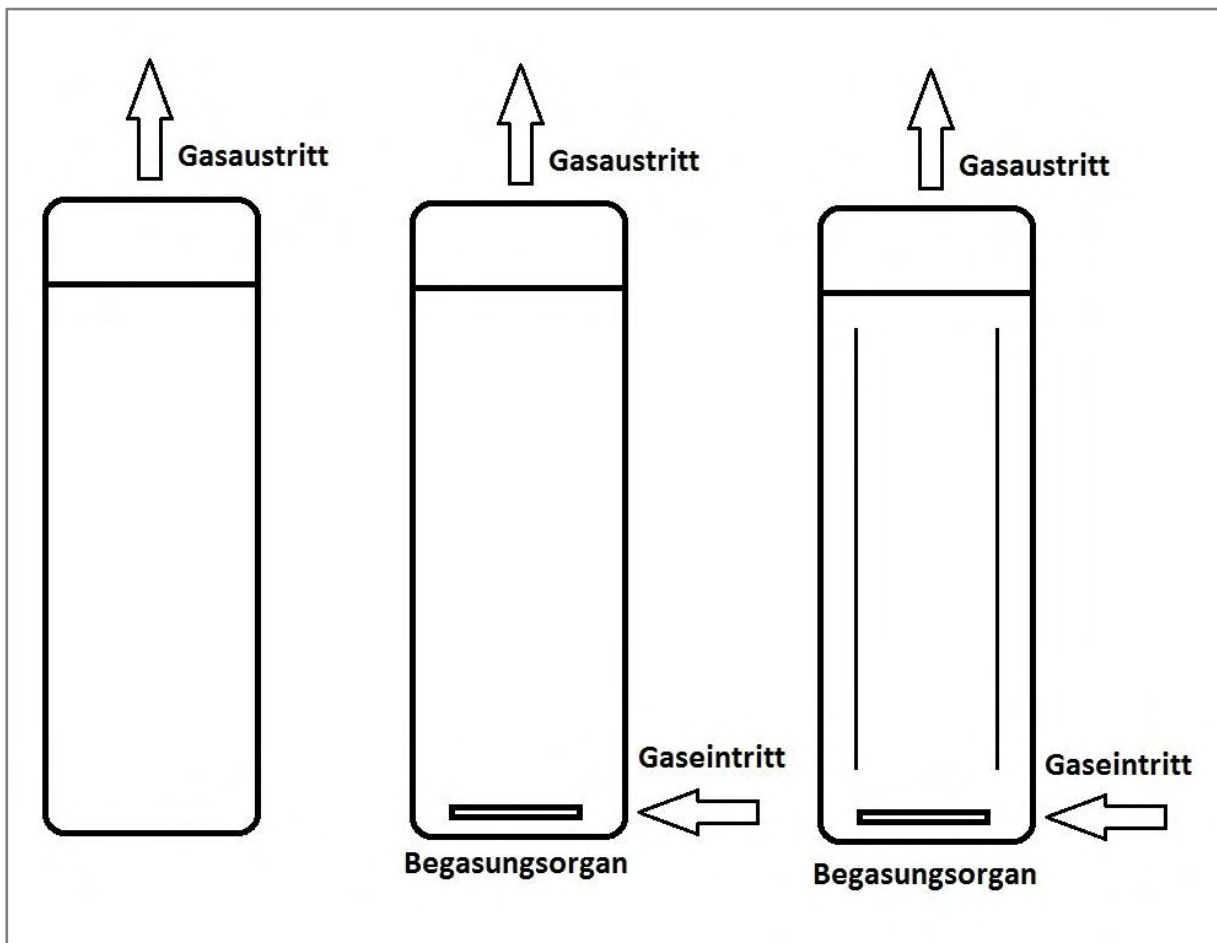
I. Arbeitsmaterial Gruppe 1 Submersbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag



Diskussionsfragen

1. Um welche Art des Leistungseintrags handelt es sich bei diesen Bioreaktoren?
2. Wie liegen die Biokatalysatoren in diesen Bioreaktoren vor?
3. Wie erfolgt die Durchmischung im linken Bioreaktor?
4. Wie erfolgt die Durchmischung im mittleren Reaktor?
5. Im rechten Bild ist durch die beiden hier rot gekennzeichneten vertikalen Striche ein in den Bioreaktor eingelassener Zylinder ohne Deckel und Boden angedeutet. Welchen Vorteil könnte dieser eingebaute Zylinder haben?

J. Beispiellösung Gruppe 1, 5 und 9 Submersbioreaktoren mit pneumatischem Leistungseintrag



Diskussionsfragen mit Lösungen

- 1) Um welche Art des Leistungseintrags handelt es sich bei diesen Bioreaktoren?
Bioreaktoren mit einem pneumatischen Leistungseintrag
- 2) Wie liegen die Biokatalysatoren in diesen Bioreaktoren vor?
Sie liegen suspendiert vor. Es handelt sich also um Submersreaktoren.
- 3) Wie erfolgt die Durchmischung im linken Bioreaktor?
Die Durchmischung erfolgt allein durch in der Reaktion entstehendes Gas, das in Gasblasen im Reaktor aufsteigt.
- 4) Wie erfolgt die Durchmischung im mittleren Reaktor?
Die Durchmischung erfolgt durch das über das Begasungsorgan eingetragene Gas, das in Gasblasen zur Oberfläche aufsteigt.
- 5) Im rechten Bild ist durch die beiden hier rot gekennzeichneten vertikalen Striche ein in den Bioreaktor eingelassener Zylinder ohne Deckel und Boden angedeutet. Welchen Vorteil könnte dieser eingebaute Zylinder haben?

Hier entsteht durch den eingelassenen Zylinder eine zirkulierende Strömung. Die Gasblasen steigen in der Mitte des Reaktors im Zylinder auf und reißen dabei Flüssigkeit mit sich. Das Gas gast im Kopfraum des Reaktors aus der Flüssigkeit aus. Das unbegaste Gas hat eine höhere Dichte als die begaste Flüssigkeit und sinkt am Rand des Reaktors außerhalb des Zylinders ab. Durch die kontrollierte zirkulierende Strömung können höhere Umlaufgeschwindigkeiten erreicht werden und dadurch im Reaktor gleichmäßigere Bedingungen erreicht werden.

K. Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors

Seite 1

Herzlich Willkommen in der Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors

Am vergangenen Präsenztermin haben Sie in einem Übersichtsdiagramm den Bioreaktor als wichtiges Werkzeug in der Biotechnologie strukturell eingeordnet. Die dort besprochenen Inhalte werden in dieser Lektion noch einmal wiederholt, um so Ihr Wissen zu verfestigen, und werden durch Ergänzungen vervollständigt. Diese Lektion dient als Vorbereitung auf die folgende Lektion, in der Ihnen die verschiedenen Bioreaktortypen, die Sie bereits anhand von schematischen Zeichnungen kennen gelernt haben, vorgestellt werden.

Die Lernziele dieser Lektion sind:

- Sie können einen Bioreaktor allgemein definieren.
- Sie kennen die Aufgaben eines Bioreaktors und können diese näher erläutern.
- Sie können einen Biokatalysator definieren.
- Sie können die Ziele einer Fermentation definieren.
- Sie kennen verschiedene Bioreaktoreinteilungskriterien.
- Sie kennen die Vor- und Nachteile dieser Gruppen.



Die Lektion besteht aus verschiedenen Inhalts- und Frageseiten. Arbeiten Sie die Informationen gründlich durch!

Dann kann es los gehen!

Ich möchte die Lektion doch lieber später bearbeiten.

L. Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors

Seite 5

Primäraufgaben

Unter den Primäraufgaben versteht man die homogene Durchmischung im Reaktionsraum. Diese kann man unter dem Begriff Mischen zusammenfassen.

Definition

Unter dem Begriff des Mischens versteht man das **Verteilen von Masse**teilchen in einem vorgegebenen Volumen. (nach Kraume, 2012, Seite 557)

Die Teilchen **unterscheiden sich dabei in mindestens einer Eigenschaft**. Beispiele dazu zeigt die folgende Aufzählung.

- chemische Zusammensetzung
- Temperatur
- Aggregatzustand
- Viskosität
- Partikelgröße, Partikelform
- Farbe
- Tropfengröße, Blasengröße
- Dichte

Man unterscheidet das Mischen beziehungsweise die Primäraufgaben dabei in ...

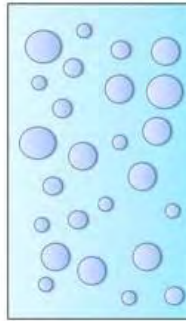
Homogenisieren



Suspendieren



Dispergieren



Diese Primäraufgaben werden im Folgenden noch näher erläutert! Klicken Sie sich dazu einfach durch die Primäraufgaben durch.

Nach Bearbeitung einer Primäraufgabe gelangen Sie immer wieder zu dieser Seite zurück. Wenn Sie sich mit allen Primäraufgaben beschäftigt haben, kann es weiter gehen.

[Homogenisieren](#)

[Suspendieren](#)

[Dispergieren](#)

[Weiter!](#)

M. Lektion Aufgaben und Einteilungskriterien eines Bioreaktors

Seite 15

Bevor es nun im Folgenden mit verschiedenen Einteilungskriterien weiter geht, können Sie anhand der folgenden zu beantwortenden Fragen überprüfen, ob Sie die bisherigen Inhalte verstanden haben.



Ordnen Sie die folgenden Begriffsbeschreibungen den richtigen Begriffen zu.

Verteilen von löslichen Flüssigkeiten in einer Flüssigkeit.

Auswählen...

Verteilen von Feststoffen in einer Flüssigkeit.

Auswählen...

Verteilen von nichtlöslichen Flüssigkeiten oder Gasen in einer Flüssigkeit.

Auswählen...

Verteilen von Masseteilchen in einer Flüssigkeit.

Auswählen...

Auswählen...

Mischen

Suspendieren

Dispergieren

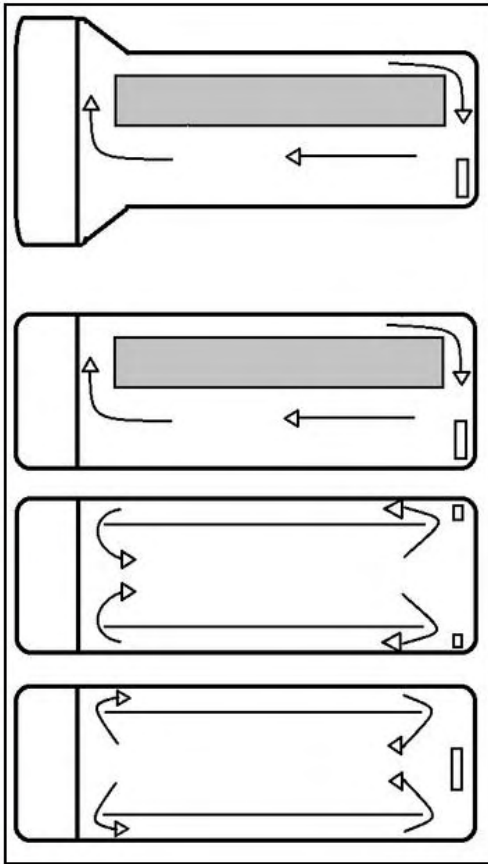
Homogenisieren

N. Lektion Bioreaktortypen Teil 1

Seite 7 (Ausschnitt)

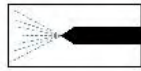
Varianten des Airliftreaktors

Es ergeben sich nun noch verschiedene Varianten des Airliftreaktors, da ein Leitrohr als innerer oder äußerer Umlauf eingesetzt werden kann oder eine Außenschlaufe eingebaut werden kann. Ebenfalls kann die Entgasungszone im Kopfraum des Reaktors vergrößert werden, um so die Ausgasung zu begünstigen. In der folgenden Abbildung sind diese Varianten noch einmal aufgezeigt.

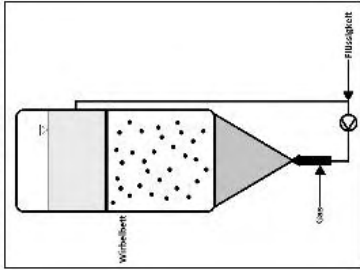


O. Lektion Bioreaktortypen Teil 1

Seite 13

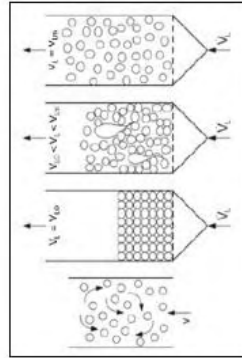


Aufbau eines Wirbelschichtreaktors
Der Wirbelschichtreaktor ist ein Reaktor, der wie ein Strahlrohrreaktor betrieben wird. Die Biokatalysatoren befinden sich jedoch auf Partikeln, wodurch der Wirbelschichtreaktor ein Oberflächenreaktor ist. Die Partikel sind oftmals porös, um so eine große Oberfläche für die Biokatalysatoren zu schaffen. Diese Partikel werden, wie der Name schon sagt, im Reaktor aufgewirbelt. Der Reaktor besteht dabei aus einem zylindrischen Rohr, das partiell mit den Partikeln gefüllt ist.



Funktion des Wirbelschichtreaktors

Um ein Wirbelbett zu erzeugen, müssen die Partikel durch eine Aufwärtsströmung von Flüssigkeit ggf. in Kombination mit Gas ihren Wirbelpunkt überwinden. Dies erfolgt durch einen Flüssigkeitsstrahl, der von unten in den Reaktor eintritt. Dieser muss eine bestimmte Stärke erreichen, damit Auftriebskraft und Widerstandskraft die Schwerkraft überwinden. Die Partikel schweben dann im Reaktor. Gleichzeitig darf die Anströmgeschwindigkeit jedoch auch nicht zu hoch sein, um so das Ausreten der Partikel aus dem Reaktor zu vermeiden. Verteilböden oder eine Staukugelschüttung am Boden des Reaktors sorgen für eine über den Reaktorquerschnitt gleichmäßige Anströmung. Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Phasen eines Wirbelbetts.



Phasen eines Wirbelbetts, von links nach rechts: Partikelbewegung in einem vertikal entwickelten Wirbelbett. Wirbelbett im Lockungspunkt, Einzelne Partikel heben sich aus der Schüttung, Situation unmittelbar vor dem Auswaschen
Quelle: Chmiel, Horst (2011): Bioprosesstechnik, Seite 215, Spektrum Verlag

Vor- und Nachteile eines Wirbelschichtreaktors

Die Vorteile eines Oberflächenreaktors wurden bereits ausführlich in der vorhergehenden Lektion diskutiert. Der Nachteil eines Wirbelschichtreaktors ist die geringe mögliche einzubringende Leistungsmenge und der damit begrenzte Sauerstoffeintrag. Die Partikel in der Wirbelschicht sind ständig in Bewegung. Dadurch kann es nicht zu einer Kanalisierung und einer Absetzung von großen Gasblasen zwischen den Partikeln oder Verblockung wie im nachfolgenden Festbettreaktor kommen, die bei dem nachfolgenden Festbettreaktor zu Problemen führen. Es können somit auch sehr kleine Partikel eingesetzt werden, wodurch es nicht zu Diffusionsproblemen kommt. Sind die Partikel zu groß, kommt es in den porösen Partikeln im Inneren zu Diffusionsproblemen. Ebenfalls kann so eine direkte Begasung erfolgen, wobei gewährleistet werden muss, dass es nicht zu einem Floieren der Trägermaterialien kommt.

Anwendungen des Wirbelschichtreaktors

Wirbelschichtreaktoren werden in der Abwasserreinigung eingesetzt. Ebenso kommen Sie zum Einsatz in Brauprozessen, der Essigproduktion oder der Kultivierung tierischer Zellen.

Quellen (Wirbelschichtreaktor)

Chmiel, Horst (2011): Bioprosesstechnik, Kapitel 7, Spektrum Verlag
Storhas, Winfried (1994): Bioreaktoren und periphere Einrichtungen, Kapitel 3, Vieweg Verlag

[Zurück zur Übersicht](#)

P. Lektion Bioreaktortypen Teil 1

Seite 22

Bevor es weiter geht gibt es noch eine Aufgabe!



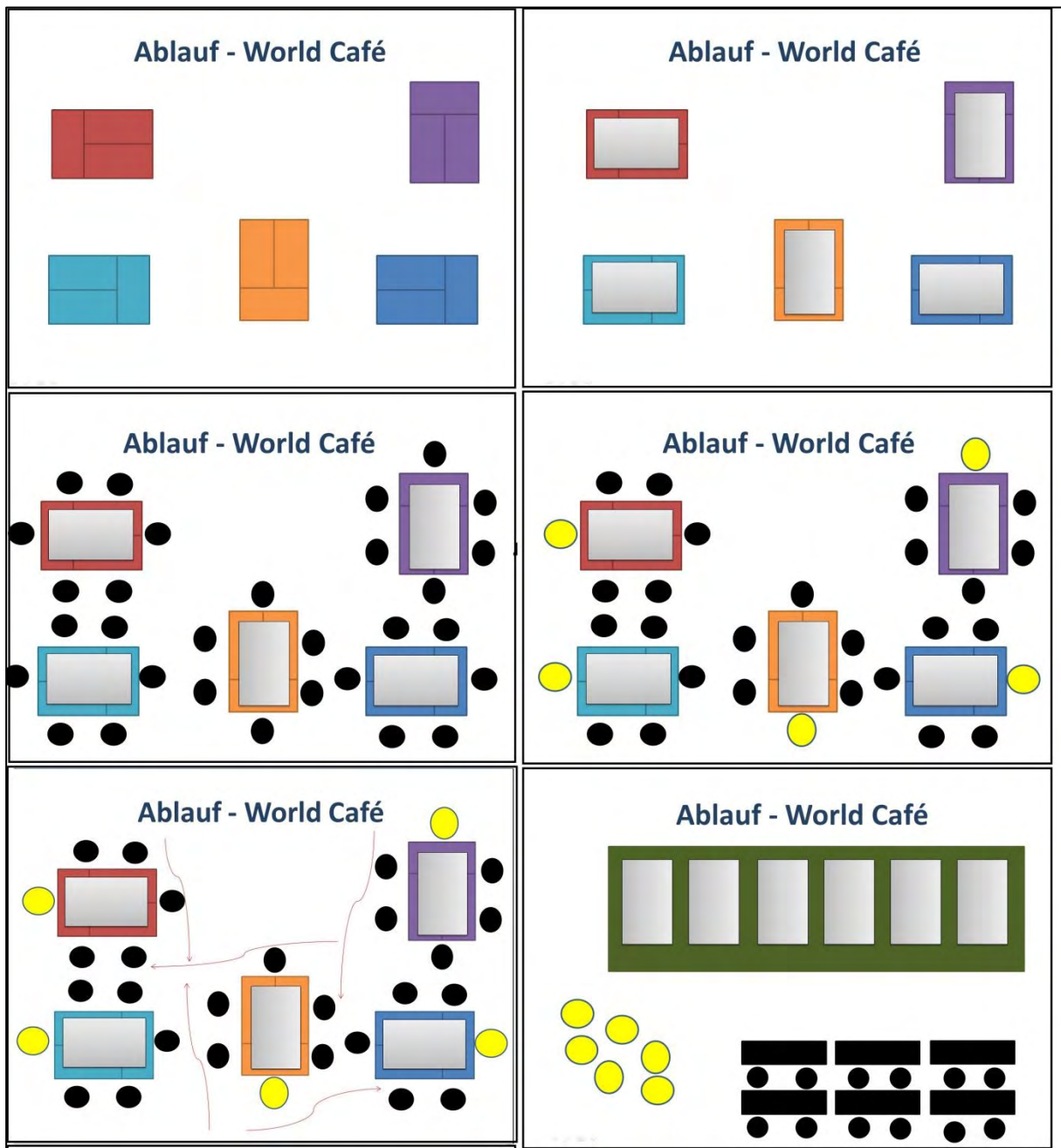
Ordnen Sie die Bioreaktoren in das angegeben Schema ein.

	Pneumatischer Leistungseintrag	Hydraulischer Leistungseintrag	Leistungseintrag über ein Rührorgan
Reaktor ohne Einbauten zur Strömunglenkung	1	2	3
Reaktor mit Einbauten zur Strömunglenkung	4	5	6

- Blasensäulenreaktor
- Airliftreaktor
- Strahldüsenreaktor
- Strahlschlaufenreaktor
- Wirbelbettreaktor
- Festbettreaktor
- Rührkesselreaktor
- Propellerschlaufenreaktor

Einreichen

Q. Präsentation P4
Folie 22 bis 24



R. Beispiellösung Tabelle

	Blasen- säulen- reaktor	Airlift- reaktor	Rohr- reaktor	Strahl- düsen- reaktor	Strahl- schlaufen- reaktor	Wirbelbett- reaktor	Festbett- reaktor	Rührkessel- reaktor	Propeller- schlaufen- reaktor
Eingetragene Leistung [kW/m ³]	-	-	0	0	0	0	-	+	+
Homogenisierfähigkeit	-	-	0	0	0	0	-	+	+
Suspendierfähigkeit (Feststoffgehalt)	0	0	-	+	+	0	-	+	+
Wärme- und Stofftransport	-	0	+	0	0	0	-	+	+
Sauerstoffversorgung / Dispergierfähigkeit	-	-	-	0	0	0	-	+	+
Schaumbildung wird verhindert	-	+	0	0	+	-	-	+	+
Scherbelastung wird verhindert	+	+	0	-	-	+	+	0	0
Sterilitätsanforderungen	+	+	0	0	0	0	-	0	0

Eingetragene Leistung:

Generell steigert sich die eingetragene Leistung von Bioreaktoren mit einem pneumatischen Leistungseintrag, zu denen mit einem hydraulischen und einem über ein Rührorgan erfolgenden, wie es in der Lektion Bioreaktortypen Teil 1 angesprochen wurde. Obwohl der Festbett- und Wirbelbettreaktor zu den Bioreaktoren mit einem hydraulischen Leistungseintrag gehören, wird aufgrund der Partikel, die nicht ausgespült werden sollen, weniger Leistung eingetragen.

Homogenisierfähigkeit:

Generell wird diese besser mit zunehmender eingetragener Leistung. Im Festbettreaktor ist aufgrund der fehlenden Durchmischung der Partikel und der daher nur in Kanälen erfolgenden Durchströmung schlechter.

Suspendierfähigkeit (Feststoffgehalt):

Sie ist im Rohrreaktor besonders schlecht. Im Festbettreaktor ebenfalls, da die Partikel in einem Bett vorliegen.

Wärme- und Stoffaustausch:

Aufgrund des geringen Leistungseintrags und der damit verbundenen nicht kompletten Vermischung schlecht im Festbettreaktor, Airliftreaktor und Blasensäulenreaktor; im Airliftreaktor besser durch die zirkulierende Strömung. Steigt ebenfalls mit zunehmendem Leistungseintrag.

Schaumbildung:

In den Schlaufenreaktoren besser, da durch die zirkulierenden Strömungen der Schaum mit hinabgezogen wird. Im Blasensäulenreaktor (aufgrund der nur durch die Gasblasen erfolgenden Durchmischung), im Fest- und im Wirbelbettreaktor besonders schlecht (Schaum verstopft die Kanäle).

Scherbelastung:

Airlift- und Blasensäulenreaktor gut aufgrund der schonenden Durchmischung, Wirbelbett- und Festbettreaktor ebenfalls aufgrund der schützenden porösen Partikel, Strahlschlaufen- und Strahldüsenreaktor aufgrund der hohen Scherbelastung am einströmenden Strahl besonders schlecht.

Sterilitätsanforderungen:

Durch den Einbau einer Pumpe wesentlich schlechter, generell durch den Einbau zusätzlicher Bauteile schlechter, deshalb im Blasensäulen- und Airliftreaktor besonders gut.

S. Lektion Rührorgane

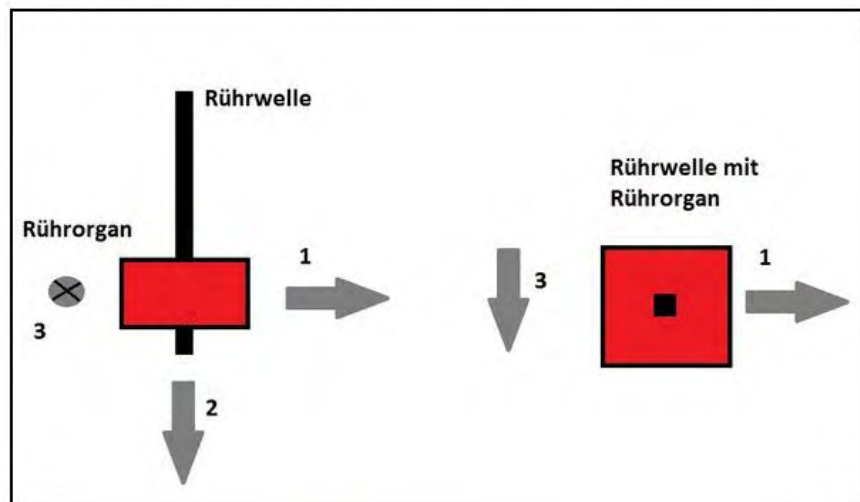
Seite 10



Was bedeutet es eigentlich, dass die Strömungsrichtung radial, axial oder tangential ist?

Versuchen Sie, die folgenden Begriffe den Nummern im Bild zuzuordnen.

Sie sehen eine Abbildung, die ein Rührorgan, dessen Ausführung hier nicht näher erläutert ist, an einer Rührwelle zeigt. Das rote Feld stellt das Rührorgan dar, der dicke schwarze Strich die Rührwelle. Verschiedene Pfeile sind ebenfalls in der Abbildung zu erkennen. An diesen stehen Nummern.



- | | |
|---|-------------------------------|
| 1 | axiale Strömungsrichtung |
| 2 | Auswählen... |
| 3 | axiale Strömungsrichtung |
| | tangentiale Strömungsrichtung |

Einreichen

T. Lektion Rührorgane

Seite 13

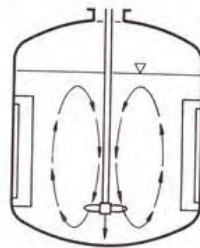
Propellerrührer

Der Propellerrührer besteht aus mehreren, meist 3, schräg angestellten und gewölbten Blättern, die an der Mittelachse des Rührorgans befestigt sind.



Quelle: Wilke, H.-P. (1988): Rührtechnik, Verfahrenstechnische und apparative Grundlagen, Hüthig Verlag

Er verursacht eine überwiegend axiale vom Antrieb weg gerichtete Strömung, wodurch eine Abströmung nach unten erfolgt. Diese wird am Boden umgelenkt und gelangt im Wandbereich des Behälters bis zur Oberfläche. Gleichzeitig entsteht eine ebenfalls axial gerichtete Ansaugung von oben.



Quelle: Wilke, H.-P. (1988): Rührtechnik, Verfahrenstechnische und apparative Grundlagen, Hüthig Verlag

Der Propellerrührer wird zum Homogenisieren und Suspendieren genutzt. Durch die axiale Strömung ist gut zum Umwälzen geeignet. Bei einer ausreichenden Drehzahl erfasst die Strömung dabei den gesamten Reaktorinhalt und eine komplette Durchmischung erfolgt.

[zurück zur Rührorganübersicht](#)

U. Lektion Berechnung maximale Begasungsrate

Seite 4



Berechnen Sie den maximalen Gasdurchsatz für das in der Lektion Leistungseintrag berechnete Beispiel.

Folgende Daten waren dort angegeben:

6-Blatt-Scheiberrührer

Volumen des Reaktors: 200 Liter

Füllgrad des Reaktors: 2/3

spezifische Begasungsrate: 2 vvm

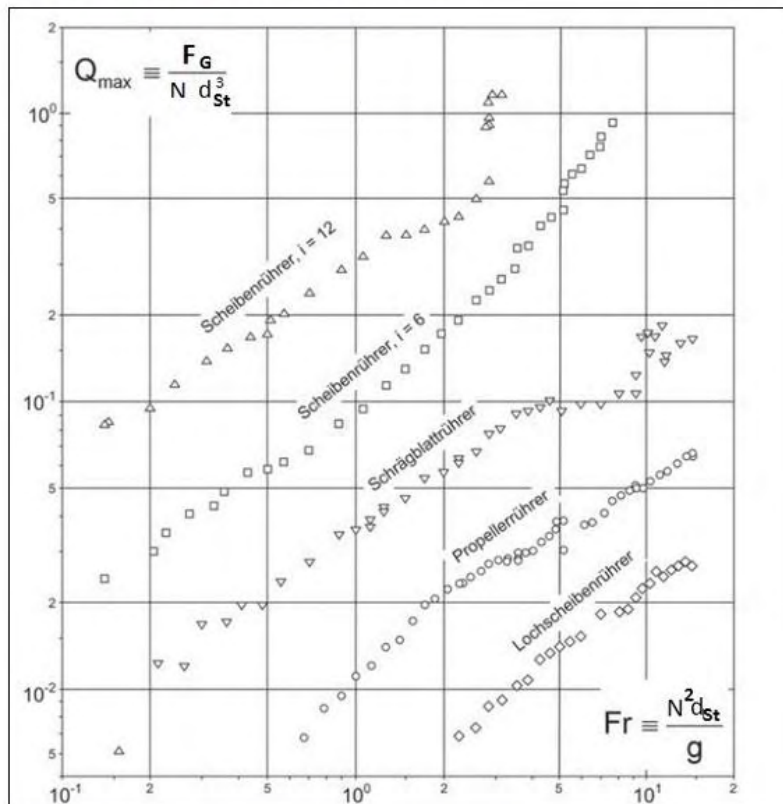
Drehzahl: 420 min⁻¹

Durchmesser des Rührers: 25 cm

dynamische Viskosität des gerührten Mediums: 5 mPas

Dichte des gerührten Mediums: 1200 kg/m³

Das folgende Diagramm kann dafür genutzt werden:



Überflutungscharakteristik (Quelle: Chmiel, H. (2011): Bioprozesstechnik, Spektrum Verlag)

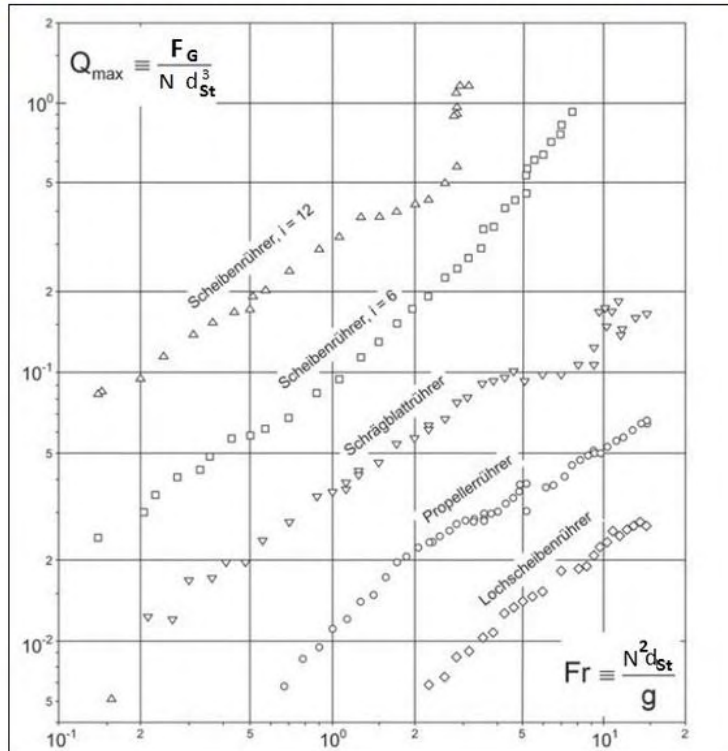
Berechnen Sie im ersten Schritt die Froudezahl. Geben Sie das Ergebnis auf zwei Nachkommastellen genau an.

Ihre Antwort

Einreichen



Nun können Sie die maximale Gasdurchsatzkennzahl aus dem Diagramm für die berechnete Froudezahl ablesen.



Überflutungscharakteristik (Quelle: Chmiel, H. (2011): Bioprozesstechnik, Spektrum Verlag)

- 0,12
- 1,2
- 39
- 3,9

Seite 6



Berechnen Sie nun den maximalen Gasdurchsatz in m³/s.

Die entsprechende Formel ist noch einmal angegeben.

$$Q_{max} = \frac{F_G}{N \cdot d_{St}^3}$$

Folgende Daten waren angegeben:

6-Blatt-Scheibenrührer

Volumen des Reaktors: 200 Liter

Füllgrad des Reaktors: 2/3

spezifische Begasungsrate: 2 vvm

Drehzahl: 420 min⁻¹

Durchmesser des Rührers: 25 cm

dynamische Viskosität des gerührten Mediums: 5 mPas

Dichte des gerührten Mediums: 1200 kg/m³

- 13125
- 0,0131
- 0,7875

Einreichen

Seite 7



Daraus können Sie nun die maximale spezifische Begasungsrate für diesen Reaktor berechnen in vvm.

Geben Sie das Ergebnis ohne Nachkommastelle an.

$$F_G = V_R \cdot f_{\text{Füllgrad}} \cdot f_G$$

Folgende Daten waren angegeben:

6-Blatt-Scheibenrührer

Volumen des Reaktors: 200 Liter

Füllgrad des Reaktors: 2/3

spezifische Begasungsrate: 2 vvm

Drehzahl: 420 min⁻¹

Durchmesser des Rührers: 25 cm

dynamische Viskosität des gerührten Mediums: 5 mPas

Dichte des gerührten Mediums: 1200 kg/m³

Ihre Antwort

Einreichen

V. Arbeitsanweisung Tisch 3

Seite 1

volumetrische Stoffübergangszahl

Tisch 3

Auf diesem Brownpaper finden Sie jeweils ein Aufgabenblatt für jeden Block (Block 1 bis 3) und eine passende Tabelle zur Darstellung der Ergebnisse.

Ebenfalls sind zwei Seiten als Infoblätter mit benötigten Formeln, Diagrammen und Daten aufgeklebt.

Seite 2

Block 1

Für die Berechnung des k_{La} -Wertes über die Van't-Riet-Gleichung benötigen wir den Leistungseintrag in das System.

- Berechnen Sie den Leistungseintrag in das unbegaste System des Kultivierungsversuches.
- Variieren Sie die Drehzahl.

Drehzahl [rpm]	Drehzahl [1/s]	Reynoldszahl	Newtonzahl unbegast	Leistungseintrag unbegast [W]
200				
400				
600				
800				
1000				

Block 2

Für die Berechnung des $k_L a$ -Wertes über die Van't-Riet-Gleichung benötigen wir den Leistungseintrag in das begaste System.

- a) Berechnen Sie den Leistungseintrag in das begaste System des Kultivierungsversuches.
- b) Variieren Sie die Drehzahl und die Begasungsrate.

Drehzahl [rpm]	Drehzahl [1/s]	spez. Begasungsrate [vvm]	Begasungsrate [m ³ /s]	Q-Wert (x100)	Verhältnis Ne0/Ne	Leistungseintrag begast
200		0,5				
400						
600						
800						
1000						
200		1				
400						
600						
800						
1000						
200		2				
400						
600						
800						
1000						

Block 3

- Berechnen Sie die Leihrohrgeschwindigkeit für die verschiedenen Begasungsraten.
- Berechnen Sie die volumetrischen Stoffübergangszahlen für die verschiedenen Drehzahlen und Begasungsraten.
- Stellen Sie den kLa -Wert in Abhängigkeit der Drehzahl dar und nutzen Sie für die unterschiedlichen Begasungsraten verschiedene Graphen.
- Beschreiben Sie die Graphen und leiten Sie aus diesen die wichtigsten Zusammenhänge ab.

Drehzahl [rpm]	spez. Begasungsrate [vvm]	Begasungsrate [m ³ /s]	Lehrrohrgeschwindigkeit [m/s]	kLa-Wert [1/s]	kLa-Wert [1/h]
200	0,5				
400					
600					
800					
1000					
200	1				
400					
600					
800					
1000					
200	2				
400					
600					
800					
1000					

Infoblätter

Bitte gehen Sie grundsätzlich immer vom Standardversuch im BIostat B aus. Wenn Änderungen vorgenommen werden sollen, ist das beschrieben!

Bestimmung der volumetrischen Stoffübergangszahl:

koaleszenzfördernde Medien, $V_L \leq 2,6 \text{ m}^3$

$$k_L a = 0,026 \cdot \left(\frac{P}{V_L}\right)^{0,4} \cdot u_G^{0,5}$$

koaleszenzhemmende Medien, $0,002 \text{ m}^3 \leq V_L \leq 4,4 \text{ m}^3$

$$k_L a = 0,002 \cdot \left(\frac{P}{V_L}\right)^{0,7} \cdot u_G^{0,2}$$

allgemeine Bedingungen:

- niedrige Viskosität
- $500 \text{ W/m}^3 \leq P/V_L \leq 10.000 \text{ W/m}^3$

Kultivierungsversuch im BIOSTAT B2:



Abbildung 2: BIOSTAT B2 der Firma Sartorius,
Quelle (Betriebshandbuch Laborfermentersystem BIOSTAT B, Sartorius)

- Sie gehen vereinfacht von einem zylindrischen Glasgefäß ohne Rundboden aus.
- Die Kühlung erfolgt über einen Doppelmantel am Zylindermantel (temperierend wirkender Anteil nur bis zur Füllhöhe).
- Sie gehen vereinfacht von Wasser als Medium aus.

Tabelle 1: Kenngrößen des genutzten Bioreaktors BIOSTAT B2

Kenngröße mit Einheit	Kennzahl
Gesamtvolumen Kulturgefäß [L]	3
Arbeitsvolumen [L]	2
H/D-Verhältnis	1,85 : 1
Höhe Glasgefäß, innen [mm]	240
Durchmesser Glasgefäß, innen [mm]	130
6-Blatt-Scheibenrührer Durchmesser [mm]	53
6-Blatt-Scheibenrührer Höhe der Rührblätter [mm]	10,6
Anstellwinkel Rührerblätter	45°
Anzahl der Rührer	2

Tabelle 2: Kenngrößen des Kultivierungsversuches aus dem FBRT P

Kenngröße mit Einheit	Kennzahl
Begasungsrate [vvm]	1
Rührerdrehzahl [min ⁻¹]	400
Temperatur im Medium [°C]	30