

**EMPFINDLICHKEIT DES
SAUERSTOFFÜBERTRAGUNGSKOEFFIZIENTES ($K_L a$) GEGEN
BETRIEBSPARAMETER BEI VERSUCHEN MIT REINWASSER UND
EINFLUSS DER UNTERSCHIEDLICHER
VERSIEGELUNGSGRADESTUFEN AUF DEN TRANSFER VON
OBERFLÄCHLICHEM UND NATÜRLICHEM SAUERSTOFF ($K_L a_s$)**

ELIAS DANIEL DAVID NOVA BURGOS

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA AMBIENTAL
INGENIERÍA SANITARIA E INGENIERÍA CIVIL
COLOMBIA**

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
INSTITUT FÜR SIEDLUNGS- UND INDUSTRIEWASSERWIRTSCHAFT
FAKULTÄT UMWELTWISSENSCHAFTEN
FACHRICHTUNG HYDROWISSENSCHAFTEN
DRESDEN, DEUTSCHLAND**

**STAND
JULIO 28, 2019**

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	3
2. Einführung.....	3
3. Ziel der Arbeit.....	4
4. Theoretischer Rahmen.....	4
5. Methodik.....	5
5.1. Voraussetzungen für die Datenerfassung	5
5.2. Methode.....	6
5.3. Auswertung.....	6
5.4. Versuchsplanung	6
5.4.1. Erste Versuchsrunde	6
5.4.2. Zweite Versuchsrunde	7
5.5 Materialien	8
5.6 Datenverarbeitung zur Berechnung von <i>KLa</i> y <i>KLas</i>	8
6. Ergebnisse und Diskussion.....	9
6.1. Erste Versuchsrunde.....	9
6.2. Zweite Versuchsrunde	14
7. Fazit	18
8. Nachwort	18
9. Literaturverzeichnis.....	19
10. Anhang.....	19

Darstellungsverzeichnis

Bild 1: Aufbau der ersten Versuchsreihe, R1 ist das untere und R2 das obere Sauerstoffmessgerät.....	7
Bild 2: Aufbau der zweiten Versuchsreihe. A1 Reaktor mit Schaumdeckel, A2 mit Styroporkörnung und A3 ohne Deckel	8

1. Zusammenfassung

Der Sauerstoffübergangskoeffizient ($K_L a$) ist nicht nur ein relevanter Wert für die Optimierung von Belüftungssystemen in Belebtschlammssystemen, sondern auch für die Belüftung in natürlichen Gewässern. Zu seiner Berechnung wird üblicherweise das Fick's Gasübertragungsgesetz verwendet. Darüber hinaus konnte nach der Methodik der DIN EN 12255-15 die Empfindlichkeit und der Einfluss von Umwelt- und Betriebsparametern wie Temperatur, Spülmittel, Luftstrom und Mischgeschwindigkeit auf den Sauerstoffübergangskoeffizienten in Versuchen mit Belüftung nachgewiesen werden, um die geringsten Einflüsse für natürliche Übertragungsexperimente ohne Belüftung zu haben. d.H. nachdem die Einflüsse bei der Berechnung des Übertragungskoeffizienten erhalten wurden, wird die Übertragung von Oberflächensauerstoff quantifiziert, mit dem die Umgebung auf natürliche Weise auf die Probe von Reinwasser für verschiedene Versiegelungsgrade übertragen wird.

In den Sauerstoffabsorptionsexperimente mit und ohne Belüftung nach der Verminderung mit gasförmigem Stickstoff konnte gezeigt werden, dass der $K_L a$ um $79,93 \text{ h}^{-1}$ pro m^3/h des Luftzufuhr ($79,93 \text{ h}^{-1}/(\text{m}^3/\text{h})$) und der $K_L a_s$ um $0,0022 \text{ h}^{-1}$ pro Umdrehungszahl (rpm) der Mischgeschwindigkeit ($0,0022 \text{ h}^{-1}/\text{rpm}$) erhöht werden kann. Die simulierte Versiegelungsgrade wurden mittels einer Schaumplatte und Styroporkörnung durchgeführt, die eine Verringerung von $0,31\%$ von $K_L a_s$ pro Umdrehungszahl der Mischgeschwindigkeit ($0,31\% / \text{rpm}$) für die erste und $32,6\%$ von $K_L a_s$ unabhängig von der Geschwindigkeit für die Sekunde gezeigt wurden. Darüber hinaus wurde pro Versiegelungsgrad unter natürlichen Bedingungen und ohne Vermischung, d.H. unter natürlichen Bedingungen, ein laufende Mindestwert von 0.08 h^{-1} von $K_L a_s$ nachgewiesen.

2. Einführung

Die Atem- und Toxizitätsexperimente werden durch ein Diagramm der Sauerstoffkonzentration gegen die Zeit dargestellt, auf dem den Sauerstoffmangel durch die vorhandenen aeroben Mikroorganismen im Belebtschlamm zeigt. Diesen Versuchen dienen einerseits zur Bestimmung der Sauerstoffmenge, die zugeführt werden muss, um den Bedarf an endogene Atmung und Substratatumung oder Assimilationsatmung (exogene Atmung) der Mikroorganismen zu decken, und andererseits zur Bewertung von der Toxizität, die eine Abwasserprobe gegen dieselben Mikroorganismen haben kann (Ahnert, Dr. Kühn, Dr. Brückner, & Fritsche, 2017). Infolge der Versuch zur Atmung und Toxizität der Abwassercharakterisierung stellte sich die Frage nach dem Einfluss der Atmosphäre auf die Sauerstoffübertragung bei dieser Art von Experimente, die sich durch Luftdichtheit auszeichnen, um Fehler von Messungen der Sauerstoffkonzentration zu vermeiden. Aus diesem Grund wird beschlossen, im Abwasserlabor des Instituts den Vorgang des Sauerstofftransfers zu untersuchen, ob bei den Atmung- und Toxizitätsversuchen atmosphärische Einflüsse auftreten oder nicht.

Der Prozess der Absorption und Berechnung des Sauerstoffübergangskoeffizienten wird jedoch stark von Umweltfaktoren wie Temperatur, Luftdruck, Qualitätsfaktoren wie oberflächenaktiven Stoffen bzw Waschmittels, gelösten Feststoffen und biologisch abbaubaren Stoffen sowie anderen Variablen wie Wassertiefe und Mischgeschwindigkeit (Eckenfelder & Englande, 2009). Aus diesem Grund soll zunächst der Einfluss der oben genannten Parameter auf den Sauerstoffübergang, mit Ausnahme der Tiefe, quantifiziert werden, da zur Berechnung des Sauerstoffübergangskoeffizienten im Tiefe andere Bedingungen und Einrichtungen erforderlich sind beispielsweise für Reaktoren mit einer Tiefe von mehr als 4 m (H. & Wager, 1994). Es ist auch beabsichtigt, das Ausmaß der Verringerung des Übertragungskoeffizienten aufgrund der hermetischen Bedingungen der Reaktoren im Labormaßstab zu quantifizieren, die auf Kläranlagen mit vollständiger Vermischung oder auf natürliche Systeme mit geringer Vermischung extrapoliert werden.

Es ist auch wichtig zu klären, dass für diese Studie der Sättigungskoeffizient für einen gegebenen Druck und eine gegebene Temperatur (C_{S,P^0,T^0}) und der Sättigungskoeffizient bei Normaldruck (C_{S,st,T^0}) ausgeglichen wurden aufgrund des geringen Unterschiedes im Atmosphärendruck des Versuchsortes mit dem Normaldruck, was sich auch in den Ergebnissen zeigt.

Die angewandte Methodik entspricht der deutschen Vorschrift zur Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen (DIN EN 12255-15, 2004). Wo wird erwähnt: Eigenschaften der Wasserart, Materialien, Chemikalien, Einrichtungen, Messgeräte, Darstellung von Sauerstoffkonzentrationsdiagrammen, Testverfahren, Planung von Experimente, Datenauswertung, Genauigkeit der Ergebnisse, Darstellung und Diskussion der Ergebnisse.

Es sollte auch beachtet werden, dass das Verständnis der Phänomene des Transfers (Diffusion) nicht nur wichtig ist, um die Effizienz eines Belüftungssystems in Abwasseranlagen zu beweisen, sondern auch, dass die Ergebnisse dazu beitragen, den Einfluss der Sauerstoffübertragung Mittel der Umwelt- und Betriebsbedingungen zu quantifizieren. Sowie den Einfluss, den verschiedene Versiegelungsgrade auf den Sauerstoffübertragungskoeffizienten an der Oberfläche haben, zu quantifizieren und aufzuzeigen. Einfluss, der mit dem Effekt vergleichbar sein kann, wenn auf Seen oder Gewässer mit zum Beispiel hohem schwimmenden Wasserpflanzengehalt gedeckelt wird, oder wo es eine große Menge an Kunststoffen oder schwimmenden Verunreinigungsmaterialien gibt, die die Übertragung von natürlichem Sauerstoff auf Wasser verhindern bzw. verzögern. Für zukünftige Studien könnte der Prozentsatz der Pflanzendecke oder -dichte mit der Verringerung des Sauerstoffübergangskoeffizienten zusammenhängen. Sowie der Einfluss des Gemisches auf den Sauerstoffübergang, der später als Grundlage für Berechnungen von Sauerstoffübergangsmengen verwendet werden kann, die beispielsweise durch die Verwendung dünnwandiger Deponien mittels der Beziehung des Belüftungsmischungsgradienten in diesen Experimente mit dem Kanalmischungsgradienten verursacht werden.

3. Ziel der Arbeit

- ❖ Quantifizierung den Einfluss der Luftzufuhr (Belüftung) auf den Sauerstoffübergangskoeffizienten ($K_L a$) und den Einfluss der Mischgeschwindigkeit auf den Oberflächensauerstoffübergangskoeffizienten ($K_L a_s$) durch natürliche Absorption.
- ❖ Rechnung der Reduzierung von ($K_L a_s$) für die verschiedenen Arten von Versiegelungsgrade und die verschiedenen Mischgeschwindigkeitswerte.

4. Theoretischer Rahmen

Nach der Desorption von Sauerstoff aufgrund der Übersättigung von gasförmigem Stickstoff wird die beschriebene und vorgeschlagene Sauerstoffabsorption bzw. Gasübertragung nach Fick's Gesetz (1) vorgestellt, die sich aus einem allgemeinen Sauerstoffübertragungskoeffizient zusammensetzt ($K_L a$) und einem Gradient der Absorption oder des Defizits ($C_s^* - C_i$) (ASCE, 1984). Dieses Defizit setzt sich wiederum aus einer Sättigungs- oder Gleichgewichtskonzentration nach Henry's Gesetz (C_s^*) und der Sauerstoffkonzentration für die gegebene Zeit „i“ (C_i) zusammen. Mit diesem Modell wird der Sauerstoffübergang berechnet, um beispielsweise die Belüftungssysteme eines Belebtschlammbeckens auszulegen.

$$\frac{dC}{dt} = K_L a * (C_s^* - C_i) \quad (1)$$

Kurze Zeit später, 1989, trennten McWhirter und Hutter den Oberflächensauerstoffübertragung ($K_L a_s$) vom Sauerstoffübertragung aufgrund des Belüftungsprozesses ($K_L a_b$), sowie die Berechnung der Anfangskonzentration (C_o^*), die nach der Integration von Gleichung 1 auftritt und zufällig eine Funktion der Tiefe des Tanks und der Sauerstoffmolenfraktion ist. Die Anfangskonzentration, die von der Luftblase während dem Aufstieg verbraucht wird, ändert sich nicht nur aufgrund des Umgebungsdrucks, sondern auch aufgrund der Druck der gleichen Blase in ihrem Weg nach oben, Gleichung (2). Die Tiefe, aus der die Diffusion auf die Wasseroberfläche erfolgt, wurde mit h_d bezeichnet (McWhirter & Hutter, 1989).

$$\frac{dC}{dt} = \frac{K_L a_b}{h_d} * \int_0^z (C_o^* - C_i) * dz + K_L a_s * (C_s^* - C_i) \quad (2)$$

Der Sättigungskonzentrationswert (C_s^*) kann mittels Gleichung (3) berechnet werden. Liegt eine Sättigungskonzentration für eine gegebene Temperatur und einen gegebenen Druck bei Durchführung des

Versuchs vor ($C_{S,P^{\circ},T^{\circ}}$), so ist eine Sättigungskonstante bei Standardniveau ($C_{S,St,T}$) = $9,09 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}}$, d.H. bei 20°C und 1013hPa (1 atm) Druck, eine Sättigungskonzentration bei festgelegten Standarddruck aber gegebener Temperatur ($C_{S,St,T^{\circ}}$), ein Standard- oder Referenzdruck $P^* = 1013hPa$ und ein gegebener Druck, bei dem das Experiment durchgeführt wird (P°) (Kayser, 1977).

$$C_s^* = C_{S,P^{\circ},T^{\circ}} * \left(\frac{C_{S,St,T}}{C_{S,St,T^{\circ}}} \right) * \left(\frac{P^*}{P^{\circ}} \right) \quad (3)$$

Ein weiteres wichtiges Konzept für die Interpretation des Sauerstoffübertragung, das häufig für das Design von Belüftungssystemen verwendet wird, ist die Standart-Sauerstoffzufuhr (4) (standard oxygen transfer rate, SOTR), die als Menge von Sauerstoff in Kilogramm definiert wird, die in einer Stunde übertragen werden. Um dies zu erreichen, muss der Sauerstoffübergangskoeffizient der ermittelten Temperatur bei 20°C transformiert werden (5) und die Sättigungskonzentration des Experiments muss auf die Standardbedingungen ($C_{S,20}$) transformiert werden, d. H. die Gleichung (3) erneut angewendet werden, aber speziell für 20°C Temperatur und 1 atm(1013hPa) Druck.

$$SOTR = \frac{V * K_L a_{20} * C_{S,20}}{1000} \quad (4)$$

$$K_L a_{20} = K_L a_T * 1,024^{(20-T)} \quad (5)$$

Es sollte beachtet werden, obwohl Modell (1) im Laufe der Zeit Verbesserungen erfahren hat, weiterhin für nordamerikanische und europäische Vorschriften gültig ist und aufgrund seiner Einfachheit und Anwendbarkeit auch heute noch für die Auslegung von Belüftungssystemen akzeptiert wird.

5. Methodik

Durch die Verwendung von Sauerstoffkonzentrationen, die im Labor gemessen wurden, wurden nichtlineare Regressionen vorgeschlagen, d. H. bei der Absorptionversuchen ein Oberflächenübertragungskoeffizient oder ein Sauerstoffübertragungskoeffizient, eine Sättigungskonzentration und eine anfängliche Sauerstoffkonzentration in Experimente wurden vorgeschlagen. Die Methodik zur Messung von Sauerstoffkonzentrationen und zur Auswertung der Anpassung der nichtlinearen Regression ergab sich aus den Empfehlungen und Anforderungen der „Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen“ (DIN EN 12255-15, 2004).

5.1. Voraussetzungen für die Datenaufnahme

Das Messgerät wurde kalibriert und mindestens 12 Stunden in Betrieb genommen, um sicherzustellen, dass die Sättigungskonzentration nicht höher als 5% war. Das Sauerstoffmessintervall betrug 10 Sekunden, was weniger als das im Standard geforderte Minimumwert von $0.1/K_L a$ war. Die gemessenen Daten wurden aufgezeichnet und im Laborcomputer gespeichert, der ein Diagramm aufwies, das in Echtzeit die Sauerstoffkonzentrationen gegen die Zeit (mg O₂/L Vs t) zeigte. Für alle Versuche wurden mehr als 30 Punkte während des Belüftungs- oder Diffusionsprozesses durch die Atmosphäre aufgezeichnet. Die Temperatur wurde zwischen dem Beginn und dem Ende des Versuchs mit einer Genauigkeit von 0,1°C gemittelt, während die Genauigkeit des Luftströmungsmeßsystems 5% betrug. Da reines Wasser verwendet wurde, wurde ein Wasser ohne hohen Nitrit-, Nitrat- oder Pathogengehalt garantiert, der den Sauerstoffverbrauch beeinflusste. Die natürliche Verdunstung wurde über das Reaktorniveau gesteuert, um einen maximalen Wechsel der Wassertiefe von 1 cm zu gewährleisten und Fehler in der Sauerstoffkonzentration zu vermeiden, was eigentlich nur einmal vorkam. Einige der Experimente wurden mit demselben Wasser wiederholt, das in früheren Experimente verwendet wurde, außer wenn Chemikalien verwendet wurden, die die Eigenschaften der reinen Wasserprobe veränderten. Der Stickstoff wurde mit dem gleichen Kompressionssystem gespeist, mit dem der Sauerstoff zugeführt wird. Die Höhe der Wassertiefe wurde berechnet und der atmosphärische Druckwert anhand des durchschnittlichen Beginns und Endes der Absorption geschätzt.

Atmosphärendruckdaten wurden über die öffentliche und kostenlose Website <https://www.niederschlagsradar.de/> zum Start- und Enddatum des Experiments bekommen.

5.2. Methode

Das Absorptionsexperiment begann mit Sauerstoffverarmung durch Übersättigung von gasförmigem Stickstoff. Die gemessenen Daten wurden in einem Bereich von 10% bis 95% der Sättigungskonzentration (C_s^*) aufgenommen, d.H. $10\%C_s^* < C_i < 95\%C_s^*$. Die C_s^* wurde für die Experimente mit Hilfe der von Kayser vorgeschlagenen Methodik berechnet, bei der Sättigungskonzentrationen bei verschiedenen Wassertemperaturen, aber bei normalem atmosphärischem Druck vorliegen (Kayser, 1977). Dies ist eine Überlegung von großer Bedeutung, da bei einem exponentiellen Verhalten die Sauerstoffaufnahme einen Punkt erreicht, an dem sie asymptotisch wird, d.H. asymptotisch in der Sättigungskonzentration, und bevor Sie diesen Punkt erreichen, kann man die aufgenommenen Daten zur Sauerstoffkonzentration beenden.

Die Annäherung an die Berechnung der Sättigungskonzentration C_s^* erfolgt, weil der atmosphärische Druck am Versuchsort in der Nähe von 1013 hPa lag, wie der beispielhaft für ein spezifisches Experiment in Fig. 12 dargestellt ist, das in den anhängenden Dokumenten beigefügt ist.

5.3. Auswertung

Für jeden Experiment musste die Gültigkeit des nichtlinearen Regressionsmodells überprüft werden, dazu wird empfohlen, den Bereich zu bestimmen, in dem der Sauerstoffübertragungskoeffizient berechnet wird. Diese Auswertung kann mit Hilfe des Graphes der Residualen (6) erfolgen, die zufällig in mindestens $3.5/K_La$ verteilt sein sollten. Da jedoch nicht immer eine Verteilung vorliegt, müssen der Startpunkt verschoben werden, die nicht größer bei 25% von C_s^* sein können, d.H. $C_o^* < 0.25 * C_s^*$. Die Verteilung der Residualen war jedoch nicht immer wirklich verteilt, daher wurde der Korrelationsbestimmungskoeffizient auch verwendet, um die Qualität der Berechnung von K_La zu verifizieren.

$$Residual = (C_{i(gemessen)} - C_{i(berechnet)}) \quad (6)$$

5.4. Versuchsplanung

Wie bereits erwähnt, ist der Prozess der Sauerstoffübertragung oder -absorption bei Belebungsbeckens sehr empfindlich gegenüber Umwelt-, Betriebs- und Dimensionenänderungen. Hierfür waren zwei Versuchsreihen geplant, bei denen in der ersten „ersten Versuchsrunde“ diese Empfindlichkeit quantifiziert und dargestellt wurde und für die „zweite Versuchsrunde“ die erforderlichen Maßnahmen getroffen wurden, die im folgenden Punkt 5.4.2 vorgestellt werden, so dass diese mögliche Einflüsse den Prozess der Datenerfassung der verschiedenen Versiegelungsgrade nicht beeinflussen.

5.4.1. Erste Versuchsrunde

In dieser ersten Phase der Praktikum war es durch die Verwendung des Belüftungssystems gekennzeichnet, d.H. es liegt sowohl den K_La_b des Belüftungssystems als auch den K_La_s der atmosphärischen Diffusion in einem einzigen allgemeinen Übertragungskoeffizienten K_La vor.

Bei der ersten Phase wurde auch aufgezeichnet: Die Sauerstoffkonzentration, das Volumen, die Höhe des Belüftungspunktes und die Wassertiefe, die Wassertemperatur, die Menge an verwendetem Stickstoff und Luft, die pH-Messungen, die Leitfähigkeit und die Mischgeschwindigkeit, es wurden auch Salz, Flüssig- und Pulverwaschmittel verwendet.

Um die Empfindlichkeit abzuschätzen, die jeder der vorgenannten Parameter auf den Sauerstoffübergangskoeffizienten hatte, wurde jeder dieser Parameter nach dem in 5.2 beschriebenen Verfahren mindestens dreimal geändert, und der Sauerstoffübertragungskoeffizient wurde berechnet, um die Tendenz zu zeigen, die der K_La gegenüber jedem Parameter aufweist.

In Bild 1 zeigt das rote Kästchen die Position des unteren und oberen Oximeters, die als R1 bzw. R2 bezeichnet werden. Es zeigt die Position des Mischers, der pH-Elektrode und der Leitfähigkeitssonde, die

sich hinter dem R2-Oximeter befinden, sowie die Position des Feinbelüftungssystems, das 5 cm vom Reaktorboden entfernt ist.

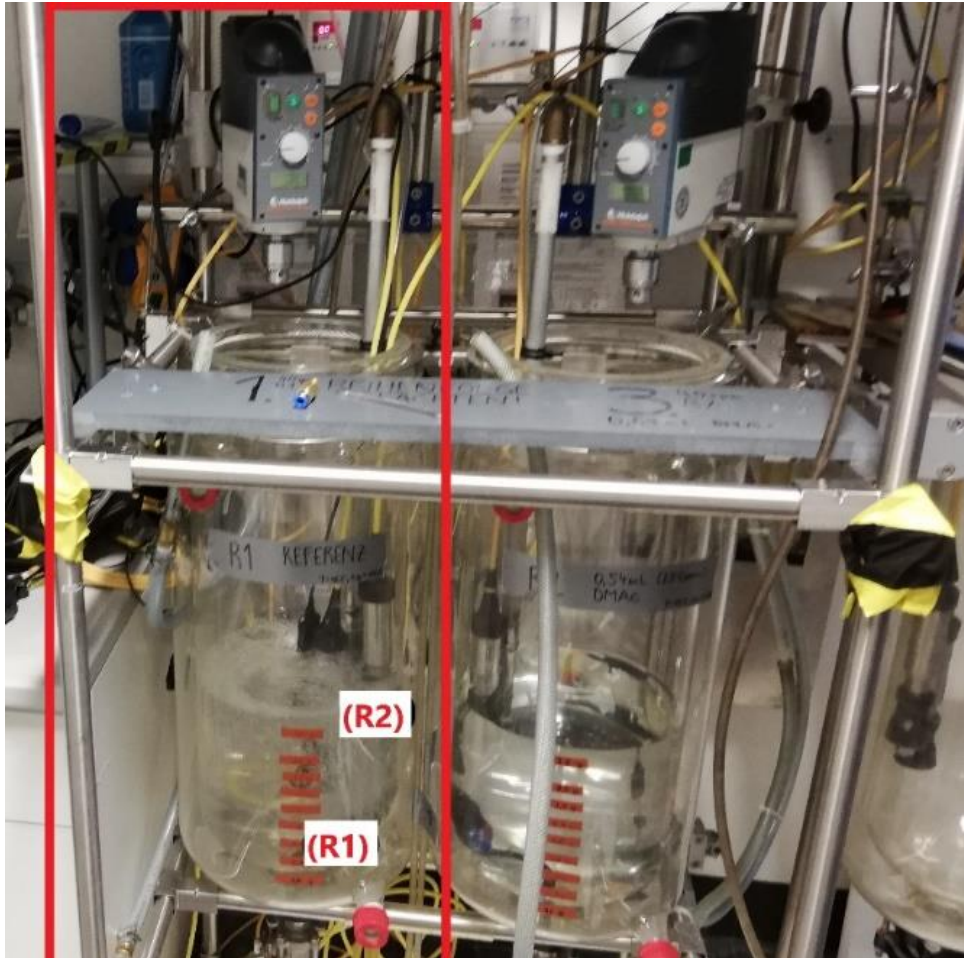


Bild 1: Aufbau der ersten Versuchsreihe, R1 ist das untere und R2 das obere Sauerstoffmessgerät.

5.4.2. Zweite Versuchsreihe

Für die zweite Phase der praktikumsexperimente und wegen Unangewesenheit des linken Term vom Modell (2) wurde der $K_L a_s$ ähnlich wie für Modell (1) berechnet, da weder ein Belüftungssystem noch ein Reaktor mit einer Tiefe tiefer als 4m vorgelegen wurden. Zusätzlich wurden für diese Versuchsreihe die folgenden Messungen durchgeführt: Sauerstoffkonzentration, Volumen, Höhe des Belüftungspunktes und Wassertiefe, eingesetzte Stickstoff- und Luftmenge. Anders als in der ersten Versuchsreihe wurde die Temperatur des Wassers jedoch mit Hilfe eines Temoregulator geregelt, der das Wasser der drei Reaktoren in allen Versuchen auf einer Temperatur von 20°C hielt.

In dieser Versuchsreihe ist die Mischgeschwindigkeit von grundlegender Bedeutung, da ein Regressionsprodukt der Wirkung des Gemisches auf die Sauerstoffübertragung für jede Versiegelungsgrade dargestellt werden soll, d.H. mindestens 5 verschiedene Geschwindigkeiten wurden getestet, um diese Regression zu bilden. Bild 2 zeigt die Verteilung der Reaktoren mit den folgenden Versiegelungsgraden: „A1“ ist die Schaumplatte, „A2“ die 7 cm hohe von Styroporkörnung und „A3“ die deckelloser Reaktor. In diesem Fall und anders als bei der ersten Versuchsreihe gibt es nur 1 Oximeter pro Reaktor, die sich im unteren Teil des Reaktors befinden. Auf dem gleichen Foto ist auch die Position des Mischers, des Stickstoffzufuhrsystems, am Boden gezeigt, der ebenfalls 5 cm vom Boden des Tanks entfernt ist.



Bild 2: Aufbau der zweiten Versuchsreihe. A1 Reaktor mit Schaumdeckel, A2 mit Styroporkörnung und A3 ohne Deckel

5.5 Materialien

Einige der verwendeten Geräte wurden bereits erwähnt, sie sind jedoch in der folgenden Tabelle aufgeführt, in der die für die beiden Versuchsreihen verwendeten Geräte zusammengefasst sind. Im Allgemeinen wurden verschiedene Reaktortypen und die Anzahl der Oximeter verwendet.

Tabelle 1: Zusammenfassung der verwendeten Materialien während der beiden Versuchsreihen.

Gerät	Name	Hersteller	Anzahl	Eigenschaften
Reaktor	Borosilikatglas 3.3	HWS	1	Nenndurchmesser 200mm; 15L Kapazität bei 1. Versuchsrunde
Reaktor	Borosilikatglas 3.3	HWS	3	Nenndurchmesser 150mm; 15L Kapazität bei 2. Versuchsrunde
Multiparameter	Multi HQ40d	Hach	2	Daten Speicher bei 1. und 2. Versuchsrunde
Sauerstoffmessgerät	LDO	Hach	2	Sensor bei 1. und 2. Versuchsrunde
Multiparameter	Multi 3420 IDS	WTW	1	Daten Speicher bei 2. Versuchsrunde
Sauerstoffmessgerät	FDO 925	WTW	2	Sensor bei 2. Versuchsrunde
Belüftungstube (Belüfter)	Ac-168 Porous rubber	Hailea	4	Durchmesser 4mm (1 bei 1. Versuchsrunde und 3 bei die 2.)
Rührer	RZR 2102 Control	Hedolph	4	Propellerdurchmesser 90mm; 50mm über dem Boden des Reaktors
Rotameter (Trommel Gaszähler)	TG 5/6	Ritter	1	bei 1. und 2. Versuchsrunde
thermostat	Alpha RA 8	Lauda	1	in 2. Versuche runde
PH-Elektrode	SenTix 940-3	WTW	1	die an den Multiparameter in 1. Versucherunde angeschlossen wurde.

5.6 Datenverarbeitung zur Berechnung von $K_L a$ y $K_L a_s$.

Aufgrund der Vielzahl der Experimente und des Datenvolumens wurden in Excel Visual Basic für Applikationen (VBA) 4 Funktionen programmiert, die der Auslieferung dieses Dokuments virtuell beigelegt sind. Die erste Funktion mit dem Namen „Modell“ ist verantwortlich, um das Start- und Enddatum der Absorptionsdatenausnahme zu lesen, d.H. die meiste Datenmenge, die für jedes Experiment aufgezeichnet wurde. „Modell“ erstellt die Prozedur zwischen den oben genannten Daten, mit der der anfängliche Konzentrationswert (C_o^*) und das Sättigungsübertragungskoeffizient oder der allgemeine Steigungswert ($K_L a$) vorgeschlagen werden, um dann ein exponentielles Regressionsmodell zu liefern. Das Regressionsmodell ist die Integralgleichung des Modells (1) oder (2). *Diese allgemeine Steigung ist nicht der tatsächliche Übertragungskoeffizient, da die wahre Steigung später berechnet wird.* Mit diesem Verfahren soll versucht werden, den mittleren quadratischen Abweichung durch die Solver-Funktion zu minimieren. Es ist zu berücksichtigen, dass der Sättigungskonzentrationswert (C_s^*) nicht vorgeschlagen, sondern berechnet wurde, wie bereits in 5.2 mit Gleichung (3) erwähnt wird.

Nachdem das Modell für alle Daten ausgeführt wurde, beginnt der Auswahlprozess des Berechnungsbereichs, in dem der wahre Sauerstoffübertragungskoeffizient berechnet wird. Dazu wird eine Reihe von Prozentsätzen vorgeschlagen und die Funktion „Test“ ausgeführt, die die tatsächlichen Daten angibt, an denen der Sauerstoffübergangskoeffizient berechnet und die Datenmenge zwischen diesen Bereichen dargestellt wird. Es ist zu berücksichtigen, dass diese Anzahl, die in der Abbildung von Residualengraph liegt, nicht der Gesamtzahl der Proben entspricht, sondern der Anzahl der Proben innerhalb des Berechnungsbereichs bzw. Prozentsätzen. Nachdem die oben genannten Daten im vorgeschlagenen prozentualen Bereich liegen, wird die Funktion „Ausdruck“ ausgeführt, die die Diagramme aller Experimente generiert, in denen die gemessenen Konzentrationen und das Residualen- oder Abweichungsgraph der vorgeschlagenen Regression dargestellt werden. Diese Graphen sollten kopiert und gespeichert werden, um sie mit dem nächsten vorgeschlagenen Wert oder Prozentsatz zu vergleichen.

Wenn der optimale Prozentsatz bestimmt wird, bei dem der Residualgraph minimal verteilt ist oder das kleinste Abweichungsausmaß aufweist, wird die Funktion „KLA“ ausgeführt, die den optimalen Sauerstoffübertragungskoeffizienten berechnet, die im vorherigen Schritt validiert wurde. In dieser Funktion wird die integrierte Gleichung des Modells (1) oder (2) ausgewertet. Es wird jedoch eine Transformation der Variablen mit dem natürlichen Logarithmus angewendet, die nicht nur die Berechnung erleichtert, sondern auch eine korrekte Korrelation zwischen der abhängigen Variablen (t) und das unabhängige Defizit ($\ln(C_s^* - C_i)$), sicherstellt, um eine Berechnung der Steigung zu erreichen. Diese Steigung, die der reale Sauerstoffübergangskoeffizient ist.

Zusätzlich wird der Wert des Pearson-Korrelationskoeffizienten sowie der Bestimmungskoeffizient (R^2) bestimmt, um festzustellen, wie angemessen die Variation zwischen den aufgezeichneten Daten und den Regressionsvariationen ist, und somit auch die Eignung zu validieren

6. Ergebnisse und Diskussion

6.1. Erste Versuchsrunde

Nachdem das Modell für die mehr als 30 verschiedenen Experimente ausgeführt wurde, wird festgestellt, dass der optimale Berechnungsbereich von $K_L a$ $15\%C_s^* < C_i < 80\%C_s^*$ beträgt. Da gemäß Abbildung 1 und für die drei Luftstrom von 0,035, 0,175, 0,273 m³/h, die auf der Zeilen der Abbildung 1 dargestellt und von oben nach unten angeordnet sind, und für die Auswahlbereiche von 5-90%, 15-80% und 25-70%, die auf der Spalten der Abbildung1 dargestellt und von links nach rechts angeordnet sind, liegt sie im Bereich von 15-80% (Rote Spalte in der Mitte), in denen extreme atypische Daten vom Beginn der Belüftung vermieden werden können und diejenigen mit dem größten Residualenabweichung (wie in der linken Spalte sehen zu können), und außerdem wird vermieden, so viele Daten wie möglich zu schneiden (wie in der rechten Spalte dargestellt). All diese Analysen, um eine Berechnungsauswahl zu vermeiden, bei der die verbleibenden Punkte weniger verteilt scheinen.

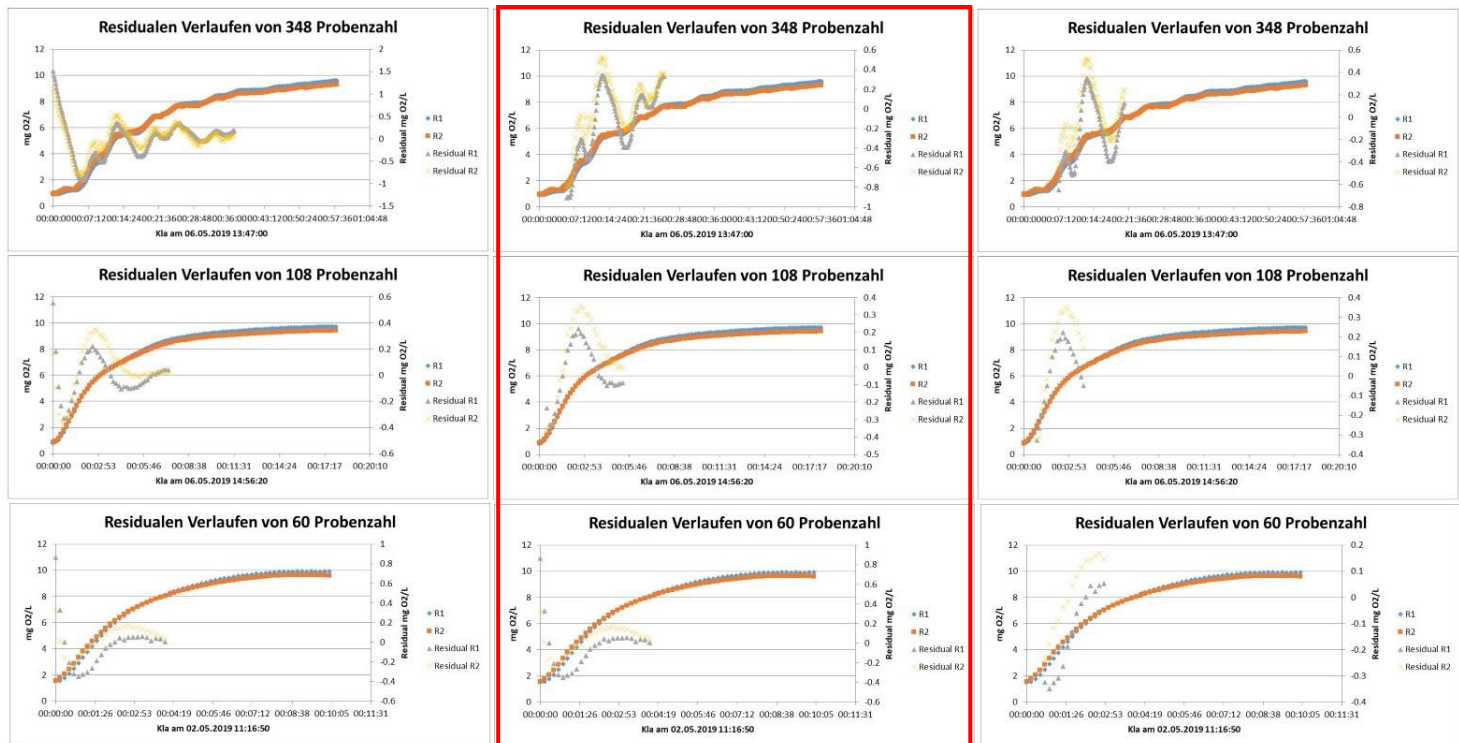


Abbildung 1: Auswahlbereich der Sauerstoff Transferkoeffizienten durch die Luftstrom beeinflusst. In jedem Graph wird der Titel mit der Menge der aufgezeichneten Proben pro Experiment, der Sauerstoffkonzentration, die von den Oximetern auf der linken Seite in mg O₂/L aufgezeichnet wird, und dem berechneten Abweichung bzw. berechneten residualkonzentration des Modells auf der rechten Seite in mg O₂/L dargestellt wird.

Aus Abbildung 1 ist deutlich zu ersehen, dass die Dispersion der Residualen theoretisch nur für die Luftstrommenge von 0,035 m³/h erfüllt ist. Als Alternative zur Validierung und Verifizierung der vorgeschlagenen nichtlinearen Regressionsmodelle soll jedoch auch die Eignung des allgemeinen Modells demonstriert werden.

Hierfür werden die gemessenen Daten gegen die Modelldaten aufgetragen, wobei sich 0.273 m³/h beispielsweise aus Abbildung 2 des Experiments ergibt, welches dasjenige mit der niedrigsten Streuung der Abbildung 1 war, das in der Residualgraph dargestellt ist. Das Ergebnis des Bestimmungskoeffizienten zwischen den aufgezeichneten Daten und dem Modell beträgt 99,71%. Dieser Bestimmungskoeffizient R² zeigt, dass die Varianz zwischen den geschätzten Daten vom Modell und der Varianz der gemessenen Daten ungefähr 100% beträgt. Dies beweist, dass das vorgeschlagene Modell zwar nicht vollständig dispergiert ist, aber wirklich geeignet ist.

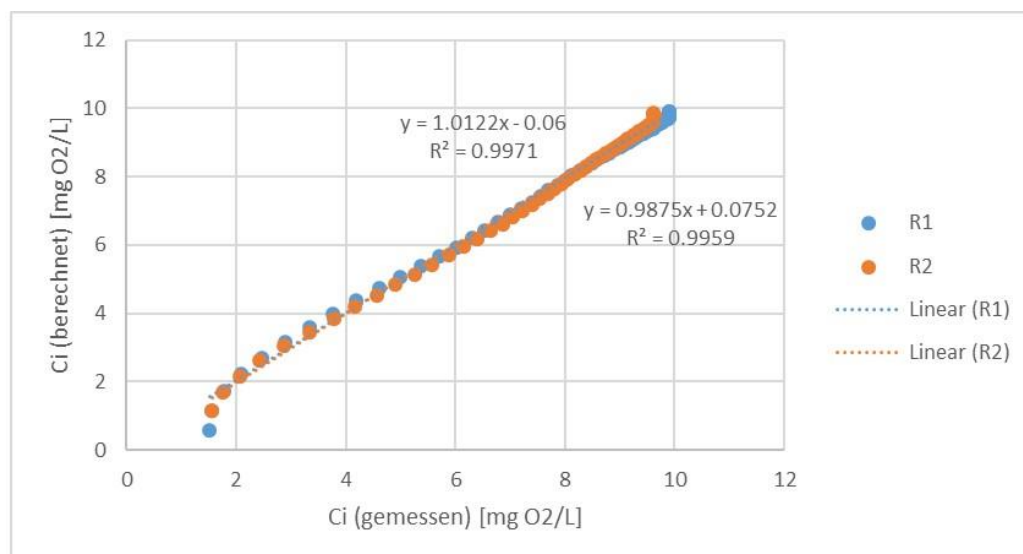


Abbildung 2: Sauerstoffkonzentrationen des allgemeine Modells des Versuchs mit 0.273 m³/h Beschickungsluftstrom im Bereich von 15 bis 80%: gemessen auf der Achse der Ordinate Vs, berechnet auf der Achse der Abszisse. Versuch durchgeführt am 02.05.2019.

Nach Überprüfung des optimalen Bereichs der Berechnung von K_La beispielsweise für die Einwirkungspunkte des Zuluftstroms wird die Ausmaß des Korrelationsbestimmungskoeffizienten der Regressionsgeraden von K_La Berechnung dargestellt. Dies ist die Regression, die von der in 5.6 vorgeschlagenen und erläuterten Funktion „KLa“ ausgeführt wird. Obwohl der Luftstrom von 0,035 m³/h die beste Einstellung im Vergleich zu den beiden anderen hat, haben die letzteren nicht aufgehört, eine große Korrelation zu haben, D.H. näher an 1 oder 100%. Das Obige validiert den Berechnungswert von K_La für die 3 Experimente.

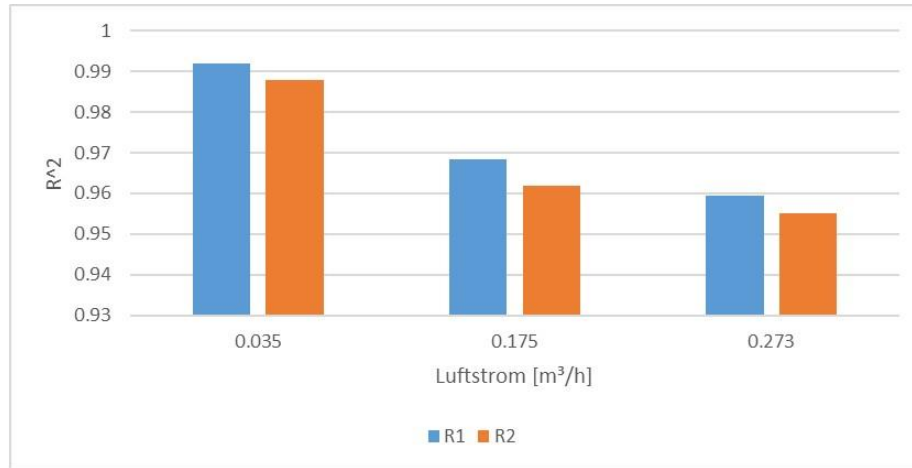


Abbildung 3: Korrelationsbestimmungskoeffizient R^2 der lineare Regression von KLa Berechnung

Die obige Analyse ist ein Beispiel für die Eignung bzw. Gültigkeit der Berechnung des Sauerstoffübergangskoeffizienten für die 3 Punkte, in diesem Fall zum Beispiel 3 verschiedene Luftströme. Das heißt, mit diesen 3 verschiedenen Strömungspunkten wird die lineare Regression des Einflusses der Zuluftströmungsrate auf den gezeigten Sauerstoffübertragungskoeffizienten in Abbildung 4, untergraph [3] konstruiert. Dieses Verfahren wurde nicht nur für den Einfluss des Zuluftstroms durchgeführt, sondern auch für die unten dargestellten 7 Variablen.

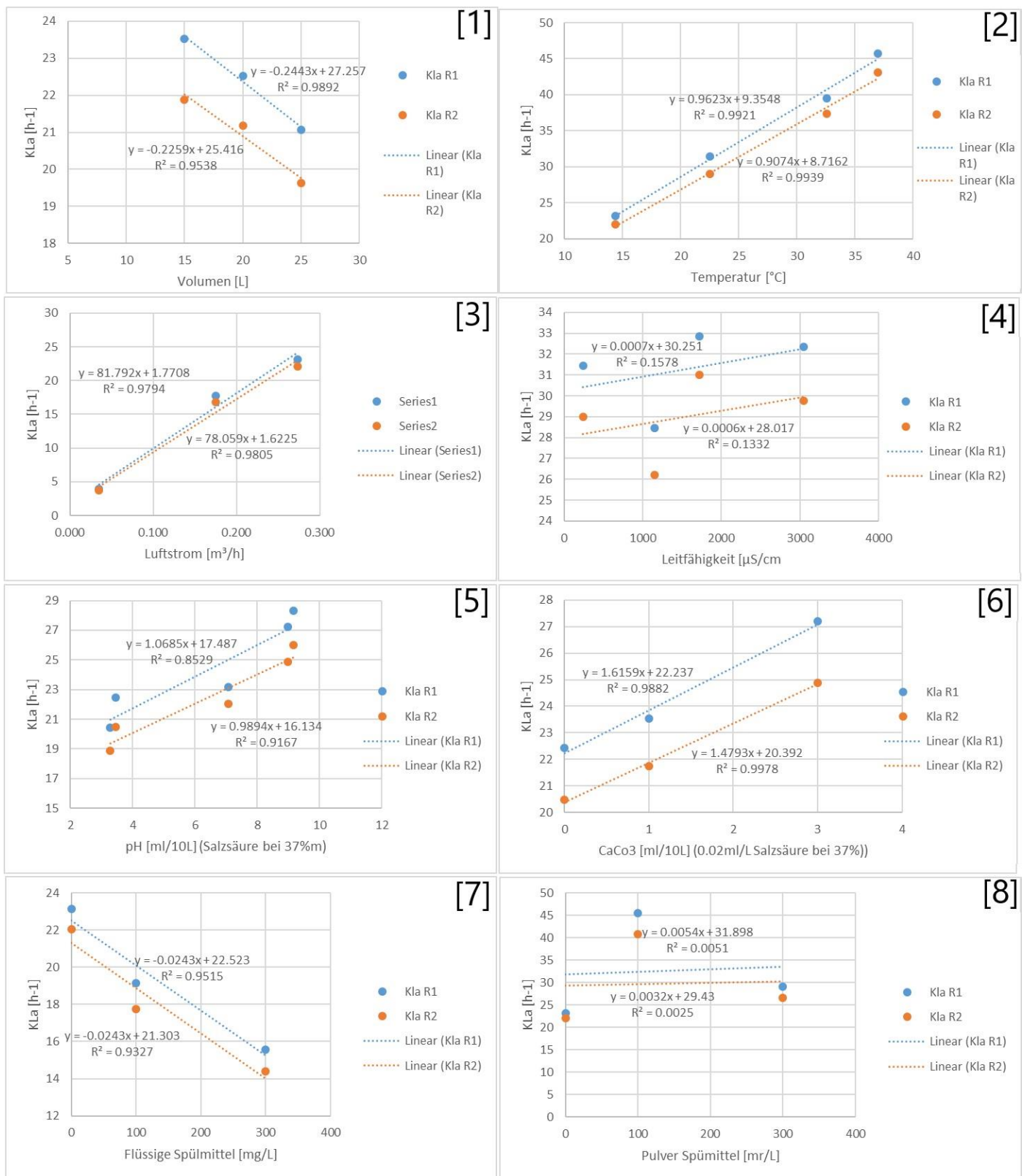


Abbildung 4: Parameterregressionen: [1] Volumen, [2] Temperatur, [3] Luftstrom, [4] Leitfähigkeit, [5] pH-Wert, [6] Zugabe von Calciumcarbonat unter sauren Bedingungen, [7] Flüssigwaschmittel, [8] Pulverwaschmittel, die den K_La unter Belüftungsbedingungen beeinflussen.

Bei der Konstruktion der in Abbildung 4 von dargestellten Parameter mussten die anderen Variablen konstant gehalten werden. So musste zum Aufbau des Untergraphen [1] zum Beispiel versucht werden, die Temperatur und den Luftstrom konstant zu halten sowie das Experiment am selben Tag durchzuführen, um keine größeren Änderungen des Luftdrucks zu haben.

Obwohl das Volumen den K_La nicht tatsächlich beeinflusst, werden der Effekt eines größeren Volumens im Reaktor darstellen und wie sich diesen Effekt bei der Berechnung des K_La auswirken würde. Im Allgemeinen nimmt der Übertragungskoeffizient mit der Volumenänderung ab, da er wirklich von der Beziehung zwischen der Oberfläche, wo der Diffusion auftritt, und dem Volumen abhängt. Wenn das Volumen erhöht und die

Diffusionsfläche konstant gehalten wird, werden natürlich Verringerungen von $K_L a$ erhalten, wie in [1] gezeigt wird.

Die Temperatur hingegen ist ein Parameter, der sich direkt auf den Übertragungskoeffizienten auswirkt, weshalb bei einer Temperaturerhöhung der $K_L a$ erhöht wird, Untergraph [2]. Dies ist ein Verhalten, das der Sauerstoffsättigungskonzentration (C_s^*) entgegengesetzt ist, da mit zunehmender Temperatur die Sauerstoffsättigungskonzentration in Wasser verringert wird. Das Modell (1) und (2) basiert auf dem Modell der Doppelschicht aus Fick, wobei sich eine Gasphase, eine Gas-Flüssig-Schicht und eine Flüssigphase befindet, in der sich die Gase schließlich auflösen, beispielsweise der Fall von Sauerstoff (die Auflösung von Gasen erfolgt nicht immer in Wasser Richtung, sondern auch in die Atmosphäre Richtung), mit steigender Temperatur nimmt die flüssig-gasförmige Schicht ab, was eine stärkere Übertragung ermöglicht, da $K_L a$ und die flüssig-gasförmigen Schichtsdicke entgegengesetzt sind (Eckenfelder & Englande, 2009). Diese Tatsache ist in natürlichen Gewässern wichtig, da die Temperaturänderungen zwischen Nacht und Tag den natürlichen Transfer erhöhen. Das Phänomen wegen der Temperatur sollte beachtet werden, da ein mehr oder weniger starker Sauerstoffübergang nicht unbedingt bedeutet, dass bei den Oxymetermessungen eine höhere oder niedrigere Sauerstoffkonzentration gemessen wird, sondern wie viel effizient die Sauerstoffübertragung vom Belüftungssystem oder von der Atmosphäre zum Gewässer ist. Die Trendlinie im Untergraph [2] ist nur eine einfache Darstellung der Auswirkung der Temperatur auf den Übertragungskoeffizienten, da die Sauerstoffübertragung im Allgemeinen von der Temperatur beeinflusst wird, wie in Gleichung (5) dargestellt wird.

Untergraph [3] zeigt den starken Einfluss des Luftzufuhrstroms, der mit einer Rate von $79.93 \text{ h}^{-1}/(\text{m}^3/\text{h})$ den Sauerstoffübergang proportional mit der Zunahme der Zufuhrströmungsrate erhöht. Dieser Effekt wird hauptsächlich durch Diffusionsgeräte verursacht, die aufgrund des Durchmessers der Blasen ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Je feiner die Durchmessersblasen ist, desto größer ist die Sauerstoffübertragung.

Zu veranschaulichen, was der Übertragungskoeffizient an einer Probe von 10L beispielsweise unter der Temperatur und dem Druck des Versuchs am Ort des Versuchs bewirkt, wird die Abbildung 5 der Übertragungsrate von Sauerstoff (SOTR) dargestellt. Es ist zu beachten, dass diese Werte normalerweise in Kilogramm pro Stunde übertragenem Sauerstoff angegeben werden, aber da wir jedoch nur mit 10L Probe gearbeitet haben, werden die Ergebnisse aufgrund der geringen Dezimalzahlen in Kilogramm angegeben. Die niedrigste SOTR von nur $376 \text{ mg O}_2/\text{h}$ unter den 3 experimentellen Ström war die niedrigste Luftstrom, während $2358 \text{ mg O}_2/\text{h}$ zum höchsten Luftstrom übertragen wurden. Dies zeigt einfach, dass bei gleichem Wasservolumen, gleichen Druck- und Temperaturbedingungen der Luftstrom von $0.273 \text{ m}^3/\text{h}$ viel effizienter ist als der von $0.035 \text{ m}^3/\text{h}$, wie logischerweise erwartet wird.

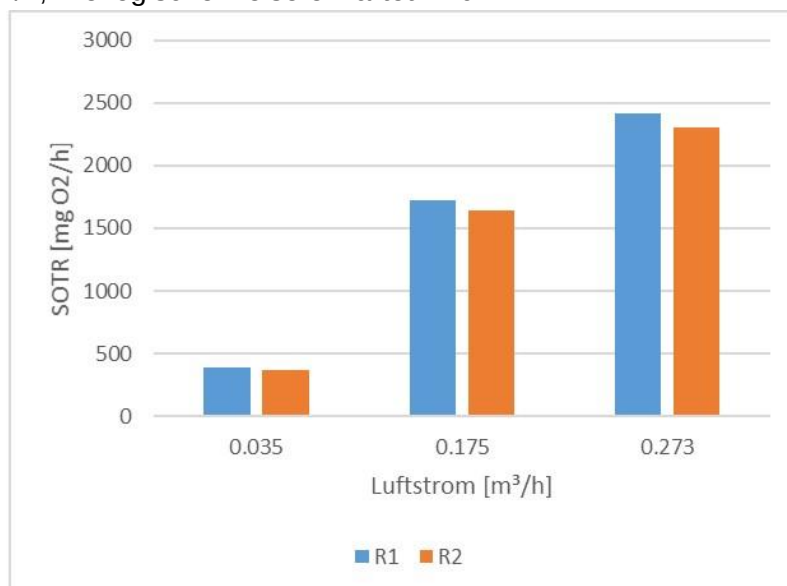


Abbildung 5: SOTR zum Zuluftstrom im Reaktor des 10L Probenvolumens. Die SOTR-Einheiten sind in $\text{kg O}_2/\text{h}$ angegeben, als Beispiel für 10L sind sie in $\text{mg O}_2/\text{h}$ angegeben.

Andererseits ist der Effekt kein guter Prädiktor, den die elektrische Leitfähigkeit [4] auf den Übertragungskoeffizienten hat, da er keine eindeutige Korrelationsbeziehung aufweist, obwohl man sich eine Regression vorstellen könnte, die nicht notwendigerweise linear ist. D.H. das Verhalten der Änderung von Leitfähigkeit ist nicht wirklich klar oder Tendenz.

Der Effekt von pH [5] hat bessere Korrelationsverhältnisse als im vorherigen Fall, obwohl es nicht unbedingt eine gerade Linie sein soll. Wenn andererseits die saure Umgebung den sauren Effekt auf Wasser versucht, durch die Zugabe von basischem Calciumcarbonat (CaCO_3) entgegenzuwirken, könnte ihre Tendenz linear sein [6].

Abschließend wird der Einfluss von oberflächenaktiven Stoffen auf den Sauerstoffübergangskoeffizienten [7] und [8] vorgestellt. Obwohl aufgrund des Fehlens eines anderen Vergleichspunkts kein klares Abnahmeverhältnis des Pulverwaschmittels erhalten wurde, wurde es jedoch zum Flüssigwaschmittel erhalten, was erwartet wurde, da es als Barriere wirken, das die Oberfläche des Waschmittels härtet das Wasser und es reduziert die Sauerstoffübertragung aufgrund der Abnahme der inneren Gaszirkulation (Makinia, 2010). Größer ist dieser Effekt, wenn die Turbulenzen gering sind, d.H. in natürlichen Umgebungen wirkt sich der Einsatz von waschmitteln stärker auf die Sauerstoffübertragung als in einer Abwasserbehandlungsanlage aus, in der aufgrund der Belüftung zu Vermischungen oder Turbulenzen kommt (Eckenfelder & Englande, 2009). Darüber hinaus haben oberflächenaktive Mittels einen weiteren Effekt, der den Transfer erhöht, sie verringern nämlich die Oberflächenspannung, was die Verringerung des Durchmessers der aufsteigenden Blasen benachteiligt, im Falle einer Belüftung (Eckenfelder & Englande, 2009). Das heißt, die Wirkung der Tenside ist in natürlichen Umgebungen stärker als in Abwasseranlagen, da sie in den Abwasserbehandlungsanlagen in gewisser Weise auf den Transfer positiv wirken können. Wenn das Ausmaß von $K_L a$ zwischen dem Pulverwaschmittel und dem Flüssigwaschmittel verglichen wird, wird bestätigt, dass die Wirkung des Pulver- größer als des Flüssigwaschmittels ist, da die Verwendung von Pulverwaschmittel eine Schaumschicht erzeugt, die höher ist als im Einsatz des Flüssigwaschmittels, das den Transfer benachteiligt (Goel & kaur, 2012).

Aus den Abbildungen 1 und 3 und im Allgemeinen für alle Experimente waren die Unterschiede zwischen den Sauerstoffwerten des Oximeters R1 und R2 nicht sehr signifikant. Ergebnis, das dem Zweck der Verwendung von zwei sauerstoffmessgeräts in unterschiedlichen Höhen entgegengesetzt ist, da auf einen Unterschied zwischen dem Oberflächenübertragungskoeffizienten ($K_L a_s$) und dem Übertragungskoeffizienten aufgrund der Belüftung ($K_L a_b$) erwartet wurde. Dieses entmutigende Ergebnis kann auf den Ausmaßbeitrag zurückzuführen sein, den die Belüftung im Vergleich zum natürlichen Sauerstoffübergang geleistet hat, d.H. dass unter Laborbedingungen die Wirkung der Belüftung im Vergleich zur Wirkung der Atmosphäre viel stärker ist, und daher wurde bei die Laboranalyse nicht um 1% des natürlichen Beitrags erreicht. Diese Aussage über die Ausmaßbeitrages von $K_L a_b$ und $y K_L a_s$ wird durch eine Reihe von Experimente in Minnesota-USA bewiesen, bei denen in einem Reaktor mit 7.6m Durchmesser und 9.6m Tiefe berechnet wurde, dass $K_L a_s$ 11% von $K_L a$ betrug, während $K_L a_b$ 89% von $K_L a$ war (DeMoyer, Schierholz, Gulliver, & Wilhelms, 2003).

6.2. Zweite Versuchsrunde

Die Berechnung des Übertragungskoeffizienten zur zweite Versuchsrunde ist $K_L a_s$, der Term auf der rechten Seite des Modells (3), wie bereits in 5.4.2 erwähnt wird. Obwohl das mathematische Modell scheint, dasselbe zu sein, dies ist nicht der Fall, da das erzeugte $K_L a_b$ vom Belüftungssystem in diesen Experimente nicht vorhanden ist. Es ist auch wichtig anzumerken, obgleich 5 Experimente mit 5 verschiedenen Mischgeschwindigkeiten geplant wurden, traten Problemen in der zwei letzten Versuchen (60 und 90 U/min) wegen der instabilität bei höheren Mischgeschwindigkeiten auf, da für höhere Geschwindigkeiten eine gleichmäßige Mischung im Reaktor nicht gewährleistet werden kann, denn das Mischsystem neigt dazu, instabil zu sein.

Ähnlich wie in der ersten Versuchsrunde wird der optimale Bereich zur Berechnung von $K_L a_s$ -Steigung ermittelt, wobei dem Bereich von 25-70% der Gesamtdaten ausgewählt wird, da der sich um die kleinste Abweichungsausmaß in der Residualwerte vorhanden, ohne die vorgeschriebenen Mindestwerte von 25% zu überschreiten. Obwohl zum Beispiel in Abbildung 6, untergraph [1] offensichtlich erscheint wird, dass der deckellose Reaktor den größten Sauerstoffübergang aufweist, kann diese Schlussfolgerung nicht aus der visuellen Analyse entnommen werden, da der Übertragungskoeffizient eine Steigung des Übertragungsgrads ist und nicht eine konzentration, wie es schon erwähnt. Um diese Schlussfolgerung zu erhalten, muss das Verhalten der Übertragungskoeffizienten analysiert werden, was in Abbildung 9 dargestellt wird.

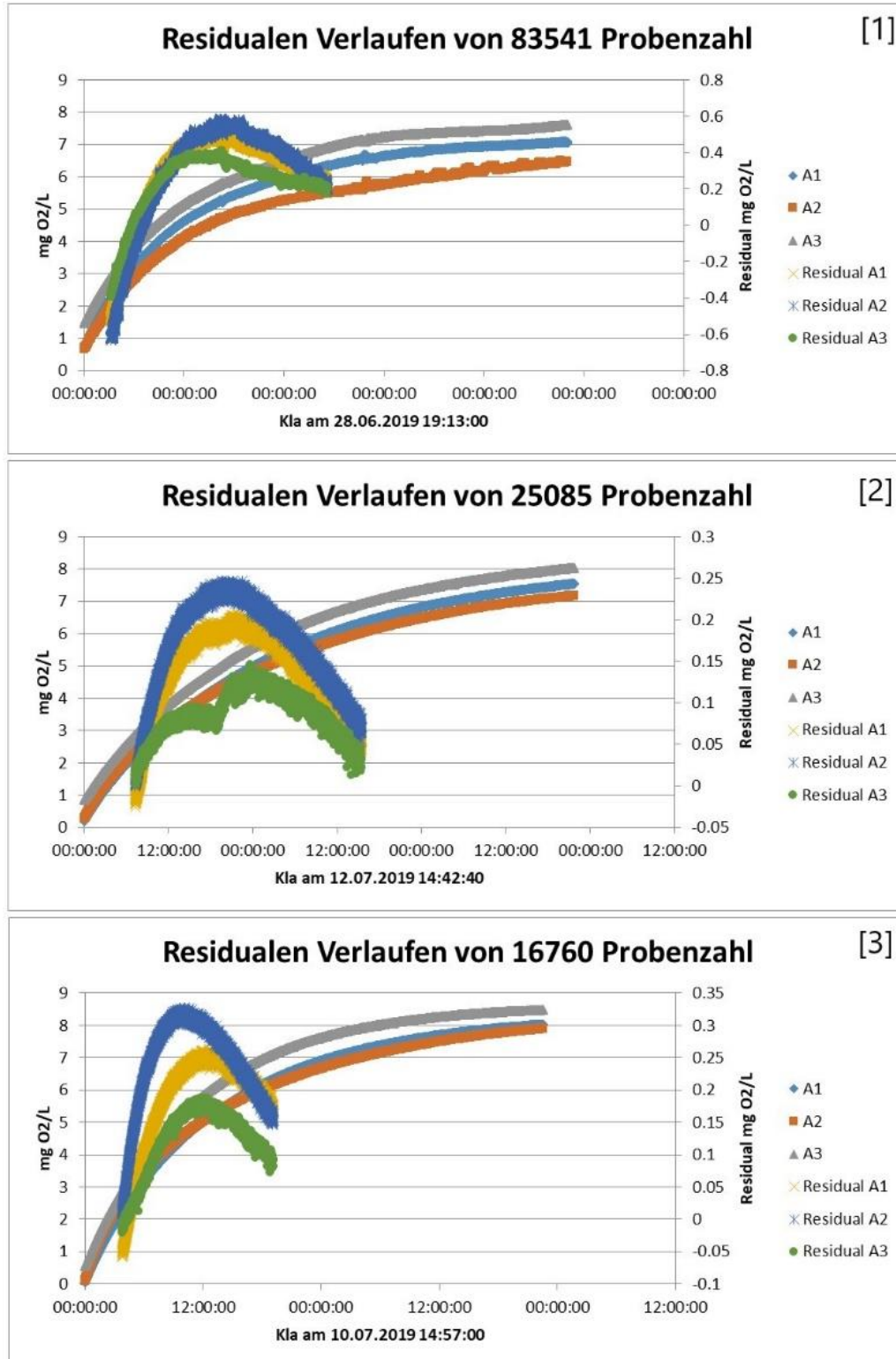


Abbildung 6: Auswahl des Bereichs 25-70% der Berechnung von Übertragungskoeffizienten. Die Graphen sind in der Reihenfolge von oben nach unten 0 U/min [1], 12 U/min [2] und 30 U/min [3] angeordnet. Die dargestellten Graphen zeigen die Sauerstoffkonzentrationen, die von den Messgeräten auf der Haupt-Achse aufgezeichnet werden, während die Residualkonzentrationen auf der Hilfs-Achse angezeigt werden.

Aus Abbildung 6 ist auch ersichtlich, dass die Daten für die Mischgeschwindigkeiten von 12 und 30 U/min eine Verzerrung in den positiven Daten der vorgeschlagenen nichtlinearen Regression der Residualen aufweisen. Weshalb erneut entschieden wird, die Eignung dieser Regressionen durch die gemessenen Sauerstoffkonzentrationsdaten gegen die berechneten Sauerstoffkonzentrationsdaten zu überprüfen. Ein R^2 größer als 98,1% überprüft daher die Eignung zwischen dem nichtlinearen Regressionsmodell und den aufgezeichneten Daten.

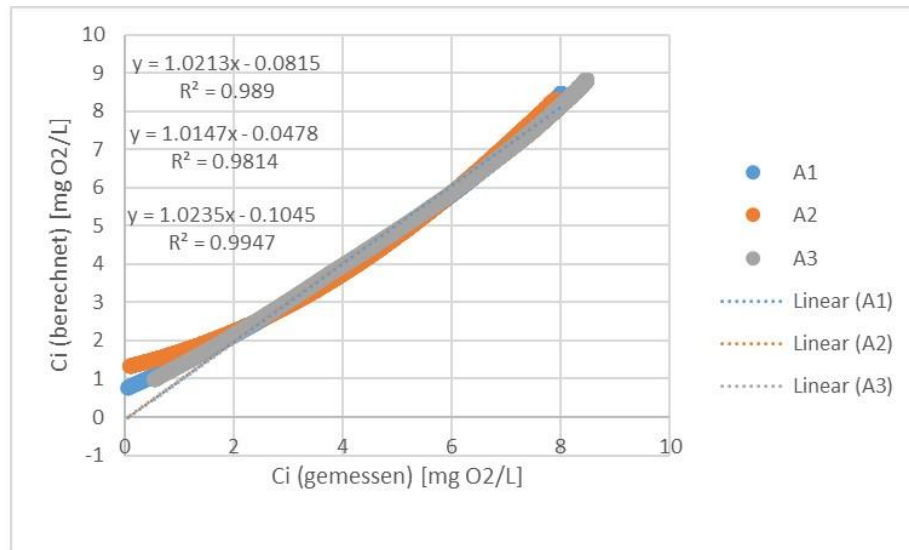


Abbildung 7: Gemessene Vs berechnet Sauerstoffkonzentrationen durch die Regression, für den Versuch mit einer Mischgeschwindigkeit von 30 U/min, durchgeführt am 10.07.2019 14:57:00. Die Trendlinien werden in absteigender Reihenfolge A1, A2, A3 dargestellt.

Wie in Abbildung 8 gezeigt wird, liegen die Bestimmungskorrelationswerte für die 3 Punkte oder 3 Mischgeschwindigkeiten des Bereich von 25-70% der Regressionsdaten im Allgemeinen sehr nahe bei 1, was ebenfalls beweist, dass die Eignung der Berechnung von $K_L a_s$ Steigung innerhalb dieses Bereichs.

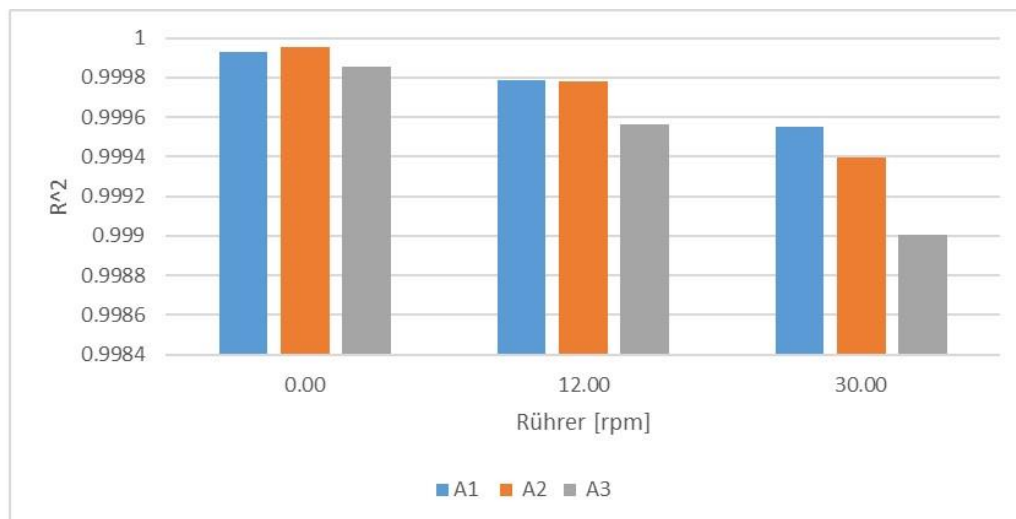


Abbildung 8: Korrelationsbestimmungskoeffizient R^2 der 3 verschiedenen Mischgeschwindigkeiten

Aus Abbildung 9 ist zu ersehen, dass in der Regel für die 3 Versuche der „A3“ Deckellose-Reaktor für die 3 Mischgeschwindigkeiten die höchsten Werte von $K_L a_s$ aufweist, da dieser Reaktor keine Störung für die Übertragung von außen auf das Wasser aufweist, während die höchste Versiegelungsgrade für den Reaktor mit der Styroporkörnung „A2“ erzielt wurde. Aus diesem Abbildung 9 ist es wichtig, den Achsenabschnitt von ungefähr $0,08 \text{ h}^{-1}$ mit der Ordinatenachse hervorzuheben, der für die 3 Versiegelungsgrade vorliegt, da er sich bei dem Wert um den minimalen Sauerstoffübertragungskoeffizienten im Labormaßstab handelt. Im Allgemeinen ändert den Reaktor „A3“, der Atmosphäre offen ist, gegenüber seinen $K_L a_s$ in Bezug auf das Gemisch mit einer Geschwindigkeit von $0,0022 \text{ h}^{-1}/\text{U/min}$.

Wie zuvor erwähnt, ist der Übertragungskoeffizient umgekehrt proportional zur Höhe der Flüssig-gasschicht auf der Oberfläche des Wassers, weshalb mit der Zunahme der Geschwindigkeit bzw. des Mischmusters die

Flüssig-gasschicht abnimmt, was wiederum zu einer Zunahme der Größe von $K_L a_s$ führt, wie es in Abbildung 9 erhalten wird.

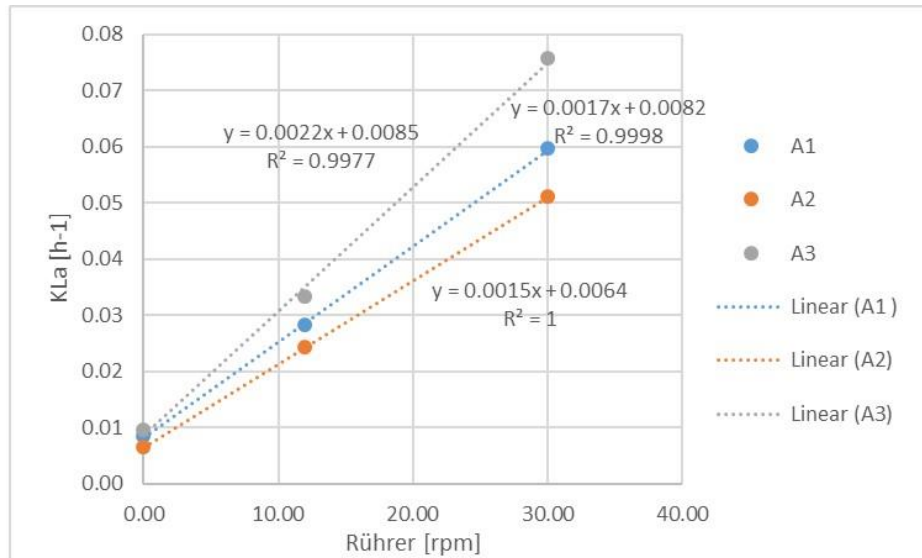


Abbildung 9: Oberflächenübertragungskoeffizient Vs Mischgeschwindigkeit. „A1“ Schaumplatte, „A2“ Styroporkörnung und „A3“ deckelloser Reaktor.

Abbildung 10 zeigt die prozentualen Verringerungen des $K_L a_s$ Ausmaß des Schaumplatte Reaktors und des Styroporkörnung Reaktors gegenüber dem deckellosen Reaktor, wobei die Verringerungen der Sauerstoffübertragung mit zunehmender Mischung erheblich zunehmen, zumindest für den „A1“-Reaktor. Während die Mischgeschwindigkeit erhöht wird, wird der Transfer des „A3“-Reaktors erhöht, welcher der Nenner für die Berechnung dieses Prozentsatzes ist, während der Reaktor mit der Schaumplatte aufgrund seiner Deckel immer noch Einschränkungen hinsichtlich der Sauerstoffentnahme aus der Atmosphäre aufweist. Die Gesamtverringerung beträgt 0,31% /U/min des $K_L a_s$ für den „A1“-Reaktor. Daher ist die Reduzierung des Reaktors mit Styroporkörnung nicht eindeutig erkennbar und liegt im Durchschnitt bei 32,6% im Vergleich zu „A3“.

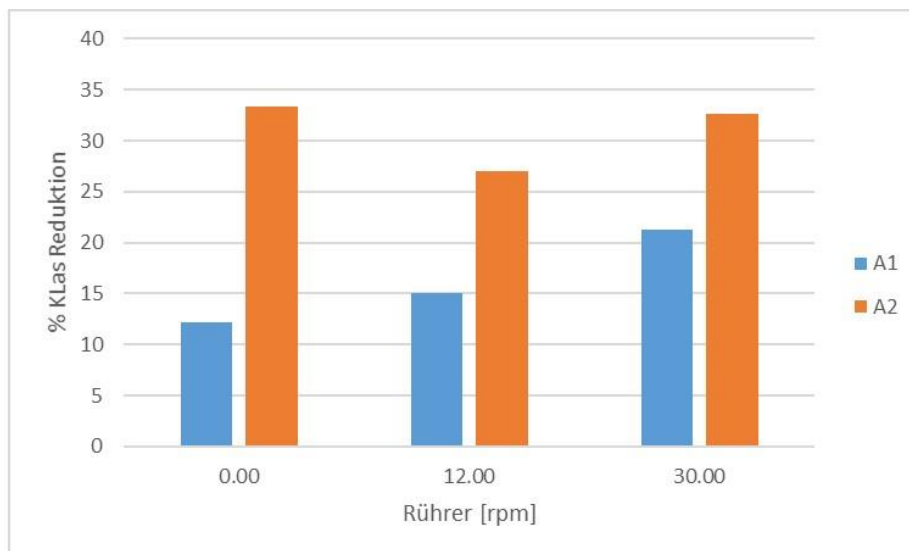


Abbildung 10: Verlustminderungsprozentsatz der Reaktoren A1 und A2 in Bezug auf A3.

Als letztes Beispiel wird in Abbildung 11 die Übergangsrate in mg O₂ dargestellt, in dem in 1 Stunde (SOTR) für ein System mit 10L und für die drei Versiegelungsgrade erreicht wurde, wo es möglich ist, 0,87 mg O₂ aus der Atmosphäre in den „A3“-Reaktor zu überführen, während für den Styroporkörnung Reaktor nur 0,58 mg O₂. Was darauf hindeutet, dass bei gleichem Wasservolumen- sowie Druck- und Temperaturverhältnissen von deckellosen Reaktor wesentlich effizienter ist als der von „A2“, wie logischerweise erwartet wird.

Aus dem Vergleich zwischen Abbildung 5 und Abbildung 11 lässt sich ableiten, wie groß Differenz ausmaß mittels eines Belüftungssystems gegenüber einem Mischsystem auch bei geringstem Luftvolumenstrom übertragen werden können. Während zum Beispiel bei der Diffusionsbelüftung die SOTR 390 mg O₂/h betrug, betrug sie bei der Mischenbelüftung ohne Diffusion 6,9 mg O₂/h, d.H. dass unter dem Labormaßstab die niedrigste Diffusionsbelüftung ist um 68 mal effizienter als die 30 U/min Mischenbelüftung.

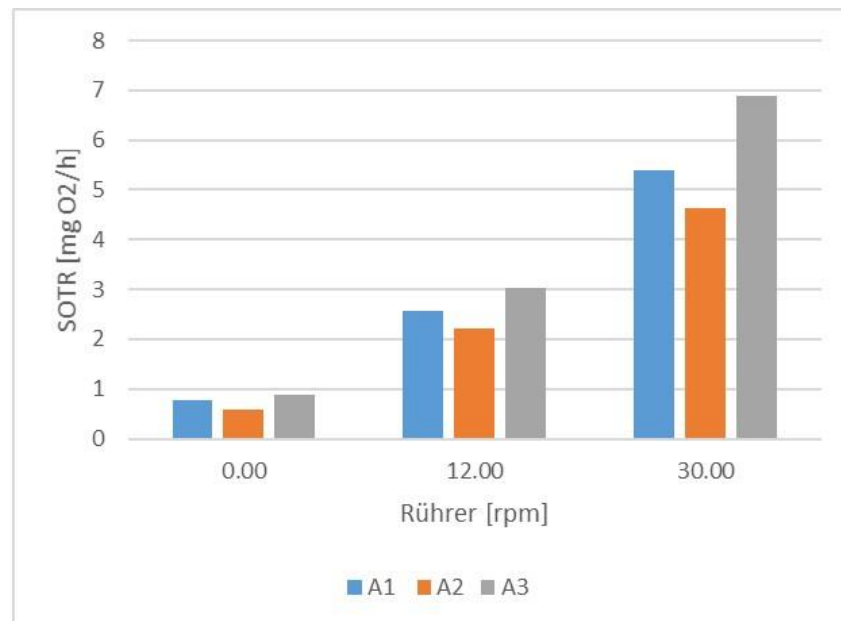


Abbildung 11: Umwandlung der $K_L a$ der Experimente in den SOTR für 10L Probenvolumen im Reaktor.

7. Fazit

- ❖ Aus der Quantifizierung des Einflusses von Luftzufuhr auf den Sauerstoffübergangskoeffizienten hat sich gezeigt, dass bei Versuchen mit Belüftung der $K_L a$ um 79,93 h⁻¹ für jeden m³/h des Luftzufuhr (79.93 h⁻¹/(m³/h)) erhöht werden kann, während der Einfluss von Mischgeschwindigkeit auf den Oberflächensauerstoffübergangskoeffizienten ($K_L a_s$) durch natürliche Absorption um 0,0022 h⁻¹ für jede U/min (0,0022 h⁻¹/(U/min)) erhöht werden kann.
- ❖ Die Reduzion von $K_L a_s$ der verschiedenen Versiegelungsgrade und Mischgeschwindigkeitswerte betrug für die Schaumstoffplatte um 0,31% pro Umdrehung der Mischgeschwindigkeit (0,31% /U/min) und für die Styroporkörnchen um 32,6%, unabhängig die Mischgeschwindigkeit.
- ❖ Beachtung des negativen Einfluss von Spülmittel auf die Sauerstoffübertragung, insbesondere bei natürlichen Gewässern mit geringer Durchmischung, da Flüssigwaschmittel die Sauerstoffübertragung um 0,0243 h⁻¹ $K_L a$ pro verwendet mg/L (0.0243 h⁻¹/(mg/L)) reduziert.
- ❖ Obwohl in der ersten Versuchsrunde zwei Sauerstoffmessgerät platziert wurden, wurden keine großen Unterschiede zwischen dem $K_L a$ und Sauerstoffmessgeräts festgestellt, da die Versuche mit einem leistungsstarken Belüftungssystem durchgeführt wurde. Diese Idee kann jedoch mit der Sauerstoffübertragungsrate zwischen dem SOTR auf verschiedenen Luftströmungszufuhrsraten in der ersten Versuchsrunde und der natürlichen Übertragung auf 0 U/min in der zweiten Versuchsrunde bestätigt werden.
- ❖ Bemerkenswert ist der konstante Wert von $K_L a_s$ um mindestens 0,08 h⁻¹ für Experimente ohne Belüftung, alle Versiegelungsgrade und ohne Vermischung, d.H. unter natürlichen Bedingungen in der zweiten Versuchsrunde, denn dies Ausmaß des Übertragungskoeffizienten wird zumindest im Labormaßstab immer angegeben.

8. Nachwort

Die beschriebenen Experimente und die vorgelegten Daten wurden an der Universität Dresden durchgeführt, wo die Verwendung der Ausrüstung und die technische Unterstützung für die Realisierung dieses Dokuments

gestattet waren, was auch das Ergebnis der akademischen Praxis des Programms „Young Engineers Deutschland 2018/2“ ist, die durch den ICETEX und den DAAD finanziert wird.

9. Literaturverzeichnis

- Ahnert, M., Dr. Kühn, V., Dr. Brückner, H., & Fritsche, G. (2017). *Abwasserbehandlung Abwassertechnisches Abwasserbehandlung*. Dresden, Deutschland: Technische Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften.
- ASCE. (1984). *Standard Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water*. New York: ASCE.
- DeMoyer, C. D., Schierholz, E. L., Gulliver, J. S., & Wilhelms, S. C. (2003). Impact of bubble and free surface oxygen transfer on diffused aeration systems. *Pergamon*.
- DIN EN 12255-15, D. I. (2004). Kläranlagen-Teil 15: Messung der Sauerstoffzufuhr in Reinwasser in Belüftungsbecken von Belebungsanlagen.
- Eckenfelder, w., & Englands, A. J. (2009). *Industrial Water Quality, fourth edition. Aeration and mass transfer*. McGraw-Hill.
- Goel, G., & kaur, S. (2012). A Study on Chemical Contamination of Water Due to Household Laundry Detergents. *J Hum Ecol*.
- H., J. P., & Wager, M. (1994). Modelling of Oxygen transfer in deep diffused-aeration tanks and comparison with full scale plant data.
- Kayser, R. (1977). *Zur Frage der Überprüfung des Sauerstoffeintrages*. . Wien, Österreich.
- Makinia, J. (2010). *Mathematical Modelling and Computer Simulation of Activated Sludge Systems*. London: IWA.
- McWhirter, J. R., & Hutter, J. C. (1989). Improved Oxygen Mass Transfer Modeling for Diffused/Subsurface Aeration Systems. *AIChE Journal*, 1530.

10. Anhang

Die Quelle der Druckdaten für den zweiten Versuchsrunde bei 30 U/min Mischgeschwindigkeit ist nachstehend angegeben, wobei die minimalen und maximalen Atmosphärendruckwerte gemittelt werden, wie dies durch die Vorschriften empfohlen wird (DIN EN 12255-15, 2004).

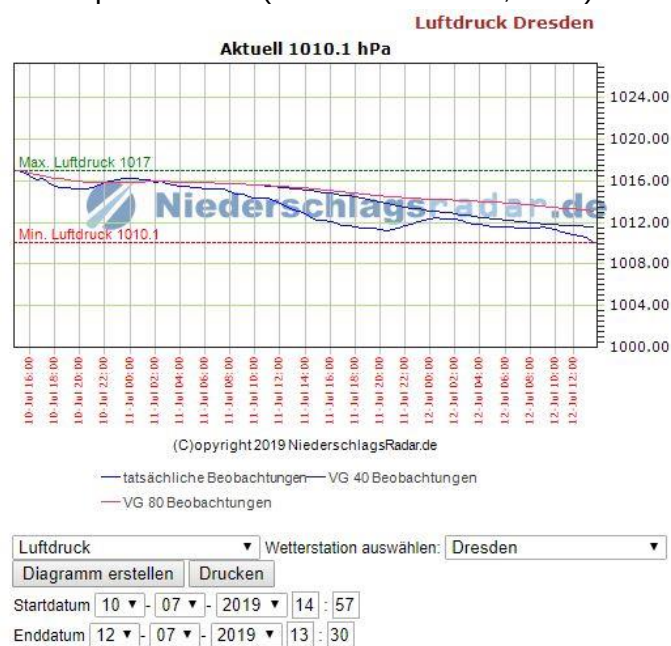


Abbildung 12: Beispiel von entnommenen Luftdruckdaten aus dem öffentlichen und kostenlosen Niederschlagsradar-Portal. Web: <https://www.niederschlagsradar.de/>

Verbesserungen

- Beweisung, warum es in R2 immer zu einer höheren Sauerstoffkonzentration kommt und in R1 nach einer Weile die höchste Sauerstoffkonzentration im Sauerstoffgraph im Verhältnis zur Zeit für die erste Versuchsrunde.
- Testen die Wirkung von Tensiden in der zweiten Versuchsrunde ohne Belüftung und unter Vermischung
- Testen erneut die Experimente der 3 Reaktoren, jedoch mit 2 Sensoren, um im selben Experiment zu überprüfen, ob die Ergebnisse zuverlässig sind. Um dies zu erreichen, muss die Position der Sauerstoffmessgeräts ausgetauscht werden.

Vorgeschlagene Ideen

- Vergleichung des jeweiligen Prozentsatz des $k_L a$ von belüfteten Reaktoren mit und ohne Deckel, um festzustellen, ob der Deckel die Diffusion mit dem Deckel verbessert.
- Vorschlagen ein Modell, in dem bestimmt wird, wie die Versiegelungsgrade berechnet werden soll, der beispielsweise durch die Dichte der Wasserpflanzen in einem See verursacht wird, um den Übertragungskoeffizienten zu berechnen.
- Da jeder Übertragungskoeffizientenwert zu einem Mischungsgradientenwert gehört, könnte der Mischungsgradient mit dem Mischungsgradienten in dünnwandigen Deponien in Beziehung gesetzt werden, um zu bestimmen, wie viel Sauerstoff durch die Verwendung der Deponie übertragen wird.