Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

DISSERTATION

Der Einfluss von Temperatur und Sauerstoffkonzentration auf die Citronensäurefermentation

Univ. Prof. Dr. Max Röhr
E166
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik
und Technische Biowissenschaften

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik

Von

Dipl.Ing. Mohammad Reza Selahzadeh
Martrikelnummer 8625764
Eroicagasse 8a/1/4
A-1190 Wien

Wien, am 09.08.2003

.....

Herrn Professor Dr. Max. Röhr, meinem verehrten Lehrer, danke ich für die vielen praktischen Hinweise und die weiterführenden Diskussionen und für die freundliche Betreuung.

Weiters möchte ich meinen Eltern und meiner Frau dafür danken, dass sie mir dieses Studium ermöglicht und mich in jeder Weise unterstützt haben.

Meinem Kollegen Dipl. Ing. A. Khazanedhdari, danke ich besonders für die Mithilfe bei den Fermentationen.

Kurzfassung

Citronensäurefermentation wurde im Laborsystem unter ähnlichen Bedingungen wie sie in der industriellen Produktion verwendet werden, untersucht.

Die Fermentationstemperatur beeinflusst Ausbeute sowie Produktivität der Citronensäurefermentation stark. Bei 26 – 28 °C gehen mehr als 40% des vorhandenen Kohlehydrates, offenbar durch Atmungsaktivität des Pilzes, verloren.
Bei 30-32 °C verringern sich diese Verluste auf etwa 10%. Die Ergebnisse betonen somit die wirtschaftliche Bedeutung der Temperaturkontrolle in der industriellen Citronensäurefermentation.

Ebenso beeinflusst die Konzentration des gelösten Sauerstoffes die Durchführung der Citronensäurefermentation.
Bei Reduzierung der Sauerstoffkonzentration durch Herabsetzung der Belüftungsrate von 1 und 0,7 vvm (vol./vol./min.) ist das System gesättigt und Ergebnis ist optimal.

Bei einer Belüftungsrate von 0,3 vvm (minimale Sauerstoffsättigung von 45%) verringern sich Ausbeute und Rate etwas.

Bei einer Belüftungsrate von 0,1 vvm werden Ausbeute und Produktivität unter größerem Zuckerverlust entscheidend gesenkt, was vermutlich auf Atmungsaktivitäten zurückzuführen ist.

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung ---- *3*

1 Einleitung und Problemstellung ---- **6**

II. Material und Methoden ---- *8*

2.01 Organismus ---- **8**

2.02 Nährmediumszusammensetzung und Inokulum ---- **8**

2.02.1 Nährmediumszusammensetzung ---- 8

2.02.2 Andere Chemikalien ---- 8

2.02.3 Sporensuspension ---- 9

2.02.4 Deionisierung der verwendeten Chemikalien und Glucoselösung ---- 9

2.03 Sterilisation ---- **9**

2.03.1 Durch Filtration ---- 9

2.03.2 Im Autoklaven ---- 10

2.03.3 Mit Alkohol ---- 10

2.04 Fermentation ---- **10**

2.04.1 Fermentationsapparatur und Instrumente ---- 10

2.04.2 Fermentationsbedingungen : ---- 11

2.04.3 Fermentationsprozess ---- 12

2.05 Analysenmethoden ---- 13

2.05.1 Biomassebestimmung ---- 13

2.05.2 Bestimmung von Zucker- und Säuregehalt ---- 14

2.05.3 Bestimmung der Schwermetallgehalte ---- 16

III. Versuche und Ergebnisse ---- *22*

3.1 Einfluss der Temperatur auf Citronensäurebildung und Verluste der Kohlenhydratquelle ---- **23**

3.1.1 Beschreibung der einzelnen Versuche ---- **25**

3.1.2 Versuche unter optimalen Bedingungen (Fermentation Nr. 1 , 2 , 11) ---- **25**

3.1.2.1 Fermentation Nr. 1 , Glukosekonzentration 15% ---- 25

3.1.2.2 Fermentation Nr. 2 , Glukosekonzentration 15% ---- 26

3.1.2.2.1 Fermentation Nr. 11 , Glukosekonzentration 18% ---- 26

3.1.2.3 Fermentation Nr. 3 ---- 27

3.1.2.4 Fermentation Nr. 4 ---- 27

3.1.2.5 Fermentation Nr. 5 ---- 28

3.1.2.6 Fermentation Nr. 6 ---- 29
3.1.2.7 Fermentation Nr. 7 ---- 31
3.1.2.8 Fermentation Nr. 8 ---- 31
3.1.2.9 Fermentation Nr. 9 ---- 32
3.1.2.10 Fermentation Nr. 10 ---- 32

3.2 Einfluss der Sauerstoffsättigung in der Fermentationslösung auf die Citronensäurebildung und die Verluste an Kohlenhydrat. ---- 34

3.2.1 Beschreibung der einzelnen Versuche ---- 36
3.2.1.1 Versuche unter optimalen Bedingungen (Fermentation Nr. 1 , 2) ---- 36
3.2.1.2 Fermentation Nr. 14 ---- 36
3.2.1.3 Fermentation Nr. 15 ---- 37
3.2.1.4 Fermentation Nr. 16 ---- 38
3.2.1.5 Fermentation Nr. 17 ---- 38
3.2.1.6 Fermentation Nr. 18 ---- 39
3.2.1.7 Fermentation Nr. 19 ---- 39
3.2.1.8 Fermentation Nr. 20 ---- 40
3.2.1.9 Fermentation Nr. 21 ---- 40
3.2.1.10 Fermentation Nr. 22 ---- 41
3.2.1.11 Fermentation Nr. 23 ---- 41

3.3 Morphologische Veränderungen bei Versuche mit variierter Sauerstoffkonzentration - 42

IV. Diskussion ---- *43*

V. Literaturverzeichnis ---- *45*

VI. Anhang ---- *46*

6.01 General information of citric acid world market ---- 46

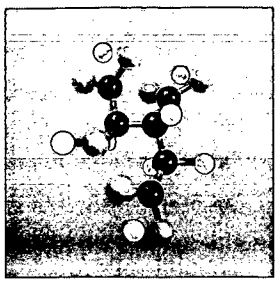
6.02 Market analysis , situation ---- 47

6.03 Major Global Citric Acid Producer ---- 47

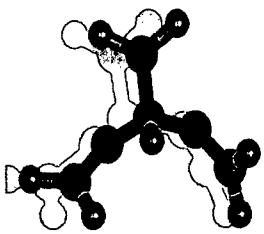
6.04 Applications ---- 47

6.05 Dokumentation der einzelne Versuche ---- 48

I. Einleitung



Citronensäure, C6H807, 2-0xypropan-tricarbonsäure-(1,2, 3), β-Oxy-tricar-ballylsäure, ß-Oxy-ß-carboxy-glutarsäure, Acidum citricum, ist in Form des Zitronensaftes eine der wenigen organischen Säuren, die der Mensch von alters her als Säuerungsmittel verwendet hat. Im Jahr 1893 entdeckte C. WEHMER, dass Citronensäure durch gewisse Schimmelpilze gebildet wird und fand damit den Weg zu ihrer mikrobiologischen Synthese. Die jetzige weltweite Produktionskapazität von über 1.200.000 Tonnen ist der Beweis der Wichtigkeit von Citronensäure. In den letzten 10 Jahren wurde die Produktion der Citronensäure fast verdoppelt (Siehe Anhang)



Dem am längsten bekannten Vorkommen im Safte der Zitrusfrüchte (Citronen, Orangen, Limonen, Grapefruits und deren Abarten) verdankt sie ihren Namen. Sie findet sich in freiem oder gebundenem Zustand, in Form von Salzen, teils als einziger Säurebestandteil, teils neben anderen organischen Sauren in den Früchten, Samen, Blättern, Stengeln oder Wurzeln vieler Pflanzen.

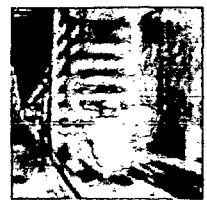
Die Citronensäure ist eine geruchlose, farblose, gut kristallisierende Substanz. Von der kristallisierten Säure sind zwei beständige Formen bekannt:

Als kristallisierte wasserfreie Citronensäure mit Mol.-Gew. 192,12; Fp 153°C; D 1,665; die Übergangstemperatur vom Monohydrat zur kristallwasserfreien Säure beträgt 36,3 ± 0,15°C - als wasserhaltige Citronensäure mit 1 Mol Kristallwasser, Mol.-Gew.210,14, D 1,542; n201,498,

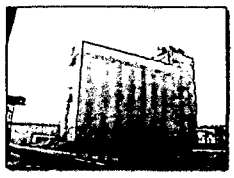
Die freie Citronensäure und ihre Verbindungen, vor allem die Salze und Ester, werden vielfach verwendet. Hauptabnehmer sind zweifelsohne die Nahrungsmittel- und die pharmazeutische Industrie geblieben, obwohl sich die Verwendungsmöglichkeiten für allgemeine industrielle Zwecke beständig ausweiten. (siehe Anhang)

Die übliche Handelsware ist das Monohydrat (CAM ist gleich Citric Acid Monohydrate), daneben wird auch wasserfreie Citronensäure (CAA ist gleich Citric Acid Anhydrous) angeboten. Man erhält sie in verschiedenen Qualitäten von den reinsten, den Pharmakopöen der verschiedenen Länder entsprechenden Sorten bis zur gebräuchlichen Ware für Genusszwecke. Es sind normalerweise drei Feinheitsgrade üblich: grob, fein und Pulver.

Technische Gewinnung historisch betrachtet



Noch 1922 wurden 90% des Weltbedarfs an Calciumcitrat aus italienischem Zitronensaft hergestellt und als Rohmaterial zur Citronensäuregewinnung in andere Länder ausgeführt. Die ersten Versuche zur Citronensäuregewinnung durch Gärung von Zuckerlösungen in technischem Maßstab wurden 1897 in Thann (Elsass) von C. WEHMER unternommen, mussten jedoch bald wieder aufgegeben werden. Erst im Jahre 1917 wurde durch die fundamentalen Studien von Currie wichtige Voraussetzungen für das Gelingen einer industriellen Citronensäurefermentation erkannt und in den folgenden Jahren bzw. Jahrzehnten von zahlreichen Autoren als wichtigste Faktoren bestätigt:



- ✓ Hohe Zuckerkonzentrationen
- ✓ Tiefer pH-Wert (etwa um 2)
- ✓ Niedrige Stickstoff- und Phosphatkonzentrationen
- ✓ Niedrige Konzentrationen an freie Schwermetallionen wie Eisen und (später beobachtet) Mangan

Dabei wurde bereits durch Currie (1917) darauf hingewiesen, dass die eben erwähnten Faktoren in Richtung einer Einschränkung des Mycelwachstums zu wirken scheinen, somit die Citronensäurebildung offenbar die Folge dieses eingeschränkten Wachstums ist . Welche Faktoren bzw. welche mögliche Faktorenkombination dabei ein Optimum darstellen, ist aber auch heute noch nicht völlig geklärt. Insbesondere ist der Einfluss der Makroelemente Stickstoff und Phosphor nur unzureichend definiert. Ab 1923 gelang die großtechnische Gewinnung im Oberflächenverfahren in verschiedenen Ländern, In 60er Jahren gelang es, den Oberflächenprozess durch ein Submersverfahren zu ersetzen. (vgl. Röhr, 1998).

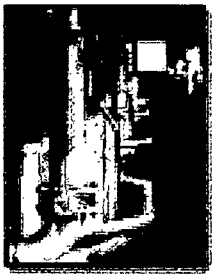
Der industrielle Herstellungsprozess erfolgt zurzeit in einem Oberflächen- oder einem Submersprozess, in dem verschieden reine Zuckerrohstoffe (Melasse, Rüben- oder Rohrzucker, Stärkehydrolysate, Stärke) in Konzentrationen zwischen 100 und 250 g/L durch Kulturen des Pilzes Aspergillus niger umgesetzt werden (Vgl. Röhr, Kubicek und Kominek , 1996).

Bei Oberflächenverfahren wird das zu vergärende flüssige Nährmedium meistens auf einen Zuckergehalt von 10 bis 15% gebracht, mit den notwendigen Nährsalzen und evtl. mit gärungsfördernden Zusätzen versehen und nach Einstellung des günstigsten pH-

Wertes durch Kochen sterilisiert. Ein Zusatz von Nährsalzen, die eine Stickstoffquelle, Phosphat, Sulfat, Magnesium und Kalium enthalten, ist nötig. Das sterilisierte Gärsubstrat lässt man aus dem Kocher durch sterile Leitungen in flache Schalen laufen, die in sog. Gärkammern übereinander angeordnet sind. Vor der Beschickung müssen Schalen und Kammern mit Desinfektionsmitteln keimfrei gemacht werden. Nach dem Abkühlen auf etwa 30 °C werden die Schalen mit Pilzsporen beimpft.

In den Schalen entwickelt sich nach der Beimpfung an der Oberfläche der Gärflüssigkeit eine zusammenhängende Pilzdecke. Nach etwa 2 Tagen hat sich die Pilzdecke gut entwickelt, nach 3 bis 4 Tagen ist die Citronensäurebildung in vollem Gange, und 7 bis 9 Tage nach der Beimpfung ist die Gärung für gewöhnlich beendet.. Es werden 60 bis 80 % des ursprünglich vorhandenen Zuckers in Citronensäure umgewandelt.

Das Oberflächenverfahren ist mit einem großen apparativen Aufwand und einer schwierigen Betriebsführung verbunden. In den 60er Jahren wurde dann begonnen, Citronensäure durch submerse Gärung zu produzieren. Heute erfolgen nur noch fünf bis zehn Prozent der weltweiten Jahresproduktion durch Oberflächenverfahren



Der Vorteil der Submerskultur liegt in der Raumersparnis einerseits und andererseits in einer Vereinfachung des Verfahrens, die häufig jedoch auch noch mit einer Verkürzung der Gärzeiten verbunden ist. Gemäß industriellen Erfahrungen des Autors dieser Dissertation, gewonnen während der Inbetriebnahme einer neuen Citronensäureanlage in der Tschechischen Republik, sind aber bei einer Submerskultur feinere, fermentations-bestimmend Faktoren zu berücksichtigen als beim Oberflächenverfahren.

Bei der Submersgärung werden als Kohlenstoffquelle meist rohe Zucker- oder vorbehandelte Melasselösungen verwendet. Die mit Sporen oder mit in einer Vorzucht gewonnenem Submersmycel beimpfte Gärlösung wird durch ein Rührwerk oder Belüftung umgewälzt und gleichzeitig belüftet. Die Versorgung mit Sauerstoff spielt bei der Submerskultur eine besonders wichtige Rolle, da die in der Flüssigkeit vorhandenen Organismen auf die im Gärmedium gelösten Sauerstoffmengen angewiesen sind. Nach 3 bis 8 Tagen ist die Gärung beendet.

1 Einleitung und Problemstellung

In jüngerer Zeit wurden in der Arbeitsgruppe von M. Röhr die laboratoriumstechnischen Bedingungen zum erneuten Studium der optimalen Mangan- und Eisen- Konzentration und des Biomassegehaltes (10-15 g/l DS) dieser speziellen Problemstellung unter mehr fermentationstechnischen Aspekten herausgearbeitet und in der Folge optimale Bedingungen eines Scale down dieser Fermentation erarbeitet (Dissertation F. Mirminachi, 1996) .

In ihrer Dissertation gelang F. Mirminachi (1996) die Ableitung einer Versuchstechnik im 10 L Maßstab, in der Fermentationen durchführbar waren, die mit Produktivitäten von über 1 kg/m3 .h und nahezu hundertprozentiger Konversion des eingesetzten Substrates die idealen Voraussetzungen zum Studium des angeführten Fragenkomplexes ermöglichen sollten.

Mirminachi gelangte zu folgenden Teilergebnissen, die den Ausgangspunkt für die folgende Arbeit bilden sollen:

1. Die für die optimale Citronensäureproduktion einzustellenden Mangankonzentrationen sind sehr niedrig bzw. liegen in einem sehr engen Bereich, bei etwa 1 µg/L Mn.

2. Bei so eingestellten Mangankonzentrationen sind nur sehr niedrige Konzentrationen von Kupfer-II-ionen als „Hemmstoffe" nötig, etwa 1 mg/L Cu^{++}.

3. Die angegebenen Konzentrationen für Mangan und Kupfer zeigen eine wenn auch geringe Abhängigkeit von der Art (Saccharose bzw. Glucose) und Konzentration des eingesetzten Zuckers.

Bei Einhaltung dieser Bedingungen werden Produktivitäten bis 1,5 g/l.h und Ausbeuten bis 90% in Laborfermenter erreicht. Zudem wurden die Verluste von Kohlenhydraten reduziert.

Weiters wurde zur Optimierung der Citronensäurefermentation in der Arbeitsgruppe von M. Röhr Versuche durchgeführt, um den Einfluss von Schwermetall- und Phosphatkonzentration auf die Gärung zu untersuchen, (Dissertation A. Zhang, 1998)

Es hat sich gezeigt, dass bei Einstellung optimaler Konzentrationen von Mangan, noch

geringer als jene von Mirminachi (1996) beschriebenen, die Zugabe von geringen Konzentrationen an Kupferionen grundsätzlich nicht notwendig ist. Bereits eine geringfügige Überdosierung von Kupferionen bewirkt aber eine deutliche Hemmung der Citronensäureproduktion. Die Zugabe von Kupferionen in den ermittelten geringen Konzentrationen hat daher eher eine prophylaktische Wirkung gegenüber nachträglich in das System eingebrachte schädliche Schwermetallionen.

Fasst man die Ergebnisse der Versuche mit variierten Manganionen- und mit variierten Phosphorkonzentrationen zusammen, so können folgende Aussagen aus den Arbeiten von Mirminachi und Zhang gemacht werden:

Optimale Citronensäureproduktion kann nur erzielt werden, wenn sowohl optimale Konzentrationen an Phosphat als auch solche an Manganionen eingestellt werden.

Während der Fermentationsversuche von Mirminachi und Zhang kam es aber bei den als optimal erkannten Bedingungen zu undefinierten Verlusten und zwar in unregelmäßigem Ausmaß. Bei einigen ihrer Versuche beobachtete man schlechtere Ausbeuten und längere Fermentationszeiten und ungeklärte Verluste. Diese konnten durch eine bilanzierende Darstellung über den Zuckerverbrauch über die gesamte Fermentationsperiode erkannt und verfolgt werden.

Bei dieser bilanzierenden Darstellung der Fermentationsabläufe werden die Daten (Konzentrationen) von Biomasse und Citronensäure auf die entsprechenden stöchiometrischen Verbrauchswerte an Kohlenhydrat umgerechnet und dem gesamten Kohlenhydratverbrauch gegenübergestellt. Stellt man in einer Kurve den stöchiometrischen Verbrauch von Kohlenhydrat für Citronensäure plus Biomasse dar, so lässt sich der Kohlenhydratverlust als Differenz dieser Kurve gegenüber der Kurve des Gesamtkohlenhydratverbrauchs über den gesamten Fermentationsverlauf erkennen.

Aus der praktischen Erfahrung während der Inbetriebnahme einer neuen Citronensäureproduktionsanlage wurden vom Autor dieser Dissertation die folgenden möglichen Einflussquellen vermutet – Temperatureinflüsse und Einflüsse von Seiten der Sauerstoffversorgung.

II. Material und Methoden

2.01 Organismus

Als Versuchsorganismus wurde ein *Aspergillus niger* mit der Stammbezeichnung "A" aus der Stammverbesserungsarbeit durch Selektion durch Monokulturmethode im Institutslaboratorium in Form trockener Sporen verwendet.

2.02 Nährmediumszusammensetzung und Inokulum

2.02.1 Nährmediumszusammensetzung

Kohlenstoffquelle: 150 - 180 g/L .Glucose Monohydrat (Agrana, 50 kg Packung)

Nährsalze (Merck, z. A.):

Nährmedium A in 50ml H_2O dest. aufgelöst

KH_2PO_4	0,1279 g
(NH4)2SO4	1,4991 g
MgSO4.7H2O	0,6216 g
ZnSO4.7H2O	0,0023 g

Nährmedium B in 50 ml H2O dest. aufgelöst

CaCl2.2H2O	0,1852 g

2.02.2 Andere Chemikalien

Antischaummittel:	Glanapon DG 160
Hemmstoffe:	Kupfersulfat Heptahydrat
pH-Einstellung:	Schwefelsäure, Ammoniak
Eisenzusatz:	Mohr'sches Salz $FeSO_4.(NH_4)2S0_4.6H_20$

2.02.3 Sporensuspension

Zur Herstellung der Sporensuspension werden *Aspergillus niger* Sporen gewogen und in der TWEEN 80 -Lösung (0,25 g TWEEN 80 wurden in 50 ml dest. H_2O gelöst und sterilisiert) suspendiert und mit einem Magnetstäbchen in Bewegung gehalten Die Sporenzahl wurde mittels einer Thomaschen Zählkammer ausgezählt und die berechnete Menge der Sporensuspension zum Beimpfen des Fermenters verwendet, damit ca. 10^7-10^9 Sporen /L im Fermentationsmedium vorlagen.

2.02.4 Deionisierung der verwendeten Chemikalien und Glucoselösung

Die Schwermetallionen aus dem Zucker wurden mittels eines Kationentauschers (Dowex C- 9VG Cation Exchange Resin, H-Form) entfernt.

198 g Glucose Monohydrat wurden in 1002 g H2O dest. gelöst. Der pH-Wert der Lösung wurde mit ca. 8,5 ml einer 7,4%w/w HCl auf 1,70-1,8 eingestellt. Die Lösung wurde mit verdünnter Schwefelsäure auf einen pH-Wert von 1.8 eingestellt und mit einer Flussrate von 25ml/min (vierfache des Bettvolumens der Austauschersäule) die Zuckerlösung durch die Ionentauschersäule weitestgehend dekationisiert.

Zusätzlich wurde das dest. Wasser für die Nährmediumherstellung auch mittels Ionentauscher dekationisiert.

Alle anderen Chemikalien (Qualität: zur Analyse) wurden in deionisiertem Wasser aufgelöst. Um Kontaminationen durch unerwünschte Metallionen zu vermeiden, wurde der Fermenter und alle verwendeten Laborgeräte nach dem Waschvorgang mit deionisiertem Wasser gespült.

2.03 Sterilisation

2.03.1 Durch Filtration

Die Zuckerlösung und das deionisierte Wasser wurden durch einen Sterilfilter (Sartorius, 0.45 µm) mittels einer Schlauchquetschpumpe direkt in den sterilen Fermenter gepumpt.

Die Kompressorluft wurde durch einen Luftvorfilter und Sterilfilter (Sartorius, 0.45 µm+0.2 µm) sterilisiert.

2.03.2 Im Autoklaven

Fermenter und -zubehör wurden im Autoklaven (Fedegari, 165 L) bei 121°C 20 Minuten sterilisiert, desgleichen die Nährsalzlösungen A , B ,Antischaummittel und Tweenlösung:

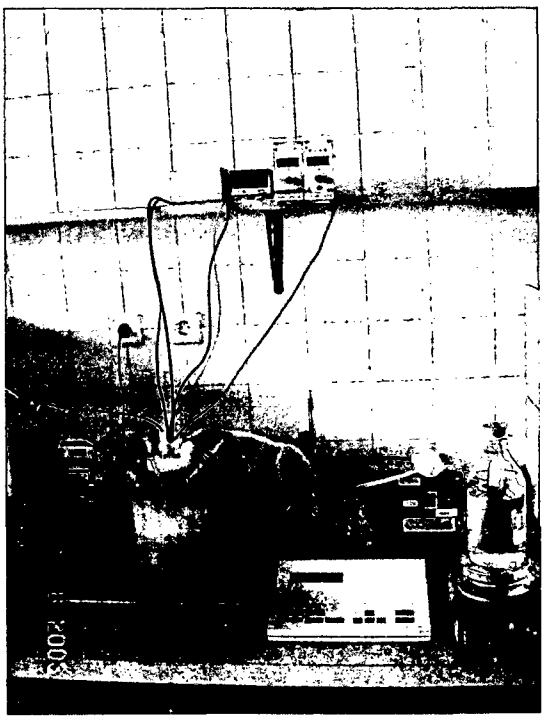
2.03.3 Mit Alkohol

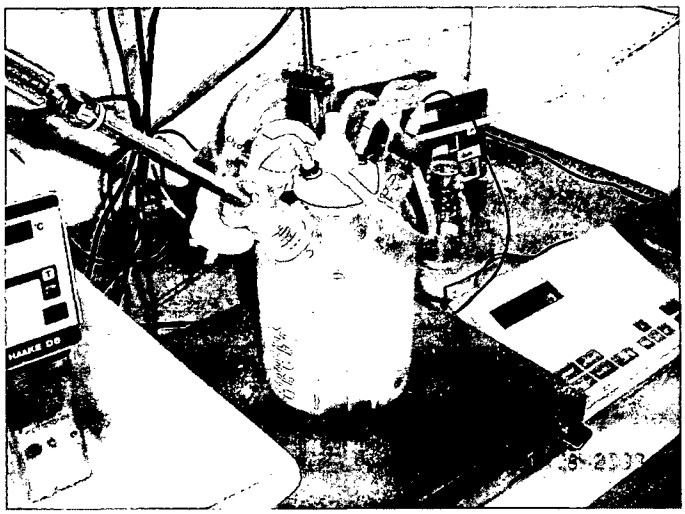
Die pH-Elektrode und andere Elektroden wurden mit 70% Ethanol sterilisiert.

2.04 Fermentation

2.04.1 Fermentationsapparatur und Instrumente

Die Fermentationsversuche wurden in einem Laborfermenter der Firma NALGE COMPANY, USA von 2,0 l Inhalt durchgeführt. Dabei handelt es sich um einen Kunststofffermenter mit einem Blattrührer, der von einem Magnetrohrstäbchen gekreuzt wird. Der Rührer wird von einem Magnetrührer Variomag Mobil 60 mit





300 – 400 rpm angetrieben. Der Behälter besitzt an der Oberseite zwei Öffnungen mit einem Durchmesser von etwa 30 mm. Eine Öffnung dient der kontinuierlichen Zuführung von Luft für die Zellen, die andere dem Abluftaustritt, die auch für die Probenahmen und die Messungen verwendet wird.

Um die Korrosion durch Citronensäure und zusätzliche Schwermetalleinbringung weitestgehend zu vermeiden, wurde das Material des Fermenters und der Zubehörteile sorgfältig ausgesucht.

Der Fermenter ist komplett aus Kunststoff, die wenigen notwendigen Zubehörteile sind aus rostfreiem Edelstahl und wurden mit Silikonschlauch isoliert .Die Schläuche und Stopfen sind aus Silikon oder Teflon.
Für die Fermentation wurde folgendes Equipment und Messgeräte verwendet:

5 l Wasserbad mit angeschlossenem Temperaturregler und Heizkörper.
Luft Kompressor (SYC7-1, ITT)
Belüftungsraten-Kontroller
pH-Elektrode (InFIT 767, Ingold) mit angeschlossenem pH-Regler und Schlauchquetschpumpe für die Laugenzufuhr .
Als Messgerät wurde ein Multikanal Thermometer Consort T851 benutzt.

Schlauchpumpe (IKA-Labortechnik): für die Einleitung der Zuckerlösungen und des dekationisierten Wassers. Das dekationisierte Wasser wurde für die Kompensation der Flüssigkeitsverluste, die durch die starke Belüftung verursachte wurden, verwendet.

2.04.2 Fermentationsbedingungen :

2.04.2.1 Temperatur

Das Wasserbad wurde temperiert und der Fermenter ins Wasserbad gestellt. Fermentiert wurde je nach Vorgaben zwischen 26 - 34°C.

2.04.2.2 pH-Wert

Am Anfang der Fermentation wurde der pH-Wert des Fermentationsmediums auf 3.0 eingestellt. Ein höherer Wert ist nicht erwünscht, weil die Bildungsmöglichkeit von Nebenprodukten steigen würde. Wegen des Verbrauches der Stickstoffquelle und der Bildung der Citronensäure sinkt der pH-Wert im Fermentationsverlauf allmählich von 3.0 auf 1,8 – 2,0; ein weiteres Absinken wird durch automatische Dosierung einer 12.5% Ammoniaklösung mittels einer Schlauchpumpe und Regelung über einen pH-Regler des pH-Meters auf pH 1.8 - 2.0 vermieden.. Dies bewirkt eine optimale pH-Bedingung für das Wachstum der Biomasse und die Produktion der Citronensäure bis zum Ende der Fermentation.

2.04.2.3 Belüftung

Die Sauerstoffversorgung des Fermentationsmediums erfolgte durch Einleitung sterilfiltrierter Luft. Obwohl der theoretische Sauerstoffverbrauch des Organismus sehr niedrig ist, wurde Luft je nach Versuchsbedingung mit einer Rate von 0,1 -6 l/min. eingeleitet. Die Belüftung mit 6 l/min wurde in Standardfermentationen als optimale Versorgung mit Sauerstoff ermittelt. Durch Reduktion der Belüftungsrate wurde der Einfluss von Sauerstoffmangel auf die Fermentation untersucht.

Die Produktion von Citronensäure aus Glucose erfolgt nach folgender Stöchiometrie:

$$2C_6H_{12}O_6 + 1{,}5\ O_2 = C_6H_8O_7 + 2H_2O$$

2.04.2.4 Antischaummittel

Zum Abscheiden unerwünschten Schaumes wurde 3-5 g steriles Antischaummittel (Glanapon DG 160) zugesetzt.

2.04.3 Fermentationsprozess

15%ige Zuckerlösung wurde durch den Kationentauscher zur weitgehenden Entfernung von Metallionen geleitet und der Zuckergehalt des Effluenten mittels HPLC bestimmt. Der sterile Fermenter wurde in das temperierte Wasserbad eingestellt und sterile Luft eingeleitet. Die berechnete Menge der Zuckerlösung wurde über einen Sterilfilter direkt in den Fermenter eingepumpt. Sodann wurden die sterilen Nährsalzlösungen (ausgenommen die Zinksulfatlösung) in den Fermenter gegeben. Nun wurden die entsprechenden Mengen von deionisiertem Wasser über Sterilfilter in den Fermenter eingeleitet, damit das Arbeitsvolumen von 1Liter und die gewünschte Zuckerkonzentration der Fermentation erreicht wurden. Durch die Belüftung wurde das Nährmedium durchgemischt. Der pH-Wert des Nährmediums wurde mit verdünnter Schwefelsäure auf 2,8-3.0 eingestellt.

In ein besonders reines Probegefäß wurde Probe aus dem Nährmedium für die Analyse über die Probeleitung gezogen und mittels Atomabsorptionsspektrometer die Konzentration der Schwermetallelemente der Probe bestimmt. Berechnete Mengen von steriler Eisenlösung wurden nun in das Medium gegeben, um die für den Versuch erwünschten Eisenkonzentrationen von 20µg/l zu erreichen. Die Konzentration des

Kohlenhydrats und der organischen Säuren im Nährmedium wurden mittels HPLC bestimmt.
Zuletzt wurde 3-5 g steriles Antischaummittel zugesetzt.
Zur Beimpfung wurden Trockensporen in sterile Tweenlösung gegeben und mit einem Magnetrührer in Bewegung gehalten. Mittels Thomascher Kammer wurde die Sporenzahl gezählt und die Beimpfung der Fermentation mit der Sporensuspension vorgenommen.

In ca. 8 Stunden waren die Sporen gekeimt. Unter dem Mikroskop wurde die Keimung der Sporen beobachtet. Die Morphologie des Pilzmycels war bei den verschiedenen Versuchsbedingungen deutlich zu unterscheiden und wurde bei auffälligem Verhalten entsprechend registriert.

Nach der Keimung der Sporen sank der pH-Wert des Nährmediums im Verlauf der Mycelentwicklung von 3.0 auf unter 2.0 und wurde bis zum Ende der Fermentation auf etwa 1,8-1.9 gehalten. Wahrend der gesamten Fermentation wurden Temperatur, Belüftungsrate und andere Bedingungen konstant gehalten. In jeder Fermentationsstufe wurde manuell über ein Auslassventil des Fermenters Probe gezogen und analysiert.

2.05 Analysenmethoden

Die folgenden Fermentationsdaten wurden mit Hilfe der nachstehenden Methoden analytisch ermittelt:

- ✓ Biomassegehalt: Trockensubstanzbestimmung
- ✓ Schwermetallgehalt: Atomabsorptionsmethode (AAS)
- ✓ Zucker- und Sauregehalt: HPLC (High Perfomance Liquid Chromatography)
- ✓ Morphologie des Organismus: Mikroskop

2.05.1 Biomassebestimmung

5 ml Probe wurde entnommen. Über einen gewogenen Glassintertiegel + Glasfaserfilter (GF/C, Durchmesser 47 mm, Whatman) wurde das gebildete Mycel abgetrennt und mit destilliertem Wasser mehrmals gewaschen und dann abgesaugt. Das Glasfaserfilter mit der Biomasse wurde bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, abgewogen und aus der Gewichtsdifferenz die Biomassekonzentration gerechnet.

2.05.2 Bestimmung von Zucker- und Säuregehalt

2.05.2.1 Geräte und Bedingungen:

Pumpe: Modell 510, Waters Assoc. Inc., Milford, Ma., USA

Detektor: Modell.490, Waters, Programmable Multiwavelength

Probeaufgabeventil: Rheodyne Modell7125, Rheodyne Inc., Cotati, Calif., USA

Säulentemperierung: Steuereinheit TCM und Temperierbox Col. Hir. MOD., Waters

Säule: Aminex HPX-87H

Temperatur: 25°C

Eluent: 0.005 N Schwefelsäure, entgast mittels Ultraschallbad

Flussrate: 0.6 ml / min Probevolumen: 20 µL

Tischzentrifuge: Eppendorf 5415

Auswertungsprogramm:Asic 1 neu (Entwicklung am Institut, Abt. f. Angewandte Biochemie)

2.05.2.2 Durchführung

Die gezogene Probe wurde mittels Tischzentrifuge geschleudert. Der Überstand wurde über Mikrofilter (0.45 µm) filtriert und mit dest. Wasser die entsprechende Verdünnungen für die Analyse vorbereitet. 20 µL vorbereitete Probe wurden mittels HPLC-Injector eingespritzt. Die Aminex HPX-H Säule wurde für Kohlenhydrat- und Säureanalyse verwendet. Im UV - Detektor wurden zwei Kanale vorprogrammiert, damit gleichzeitig Zucker- und Säureanalyse durchgeführt werden kann.

Kanal 1 für Zuckerbestimmung: Wellenlänge 192 nm

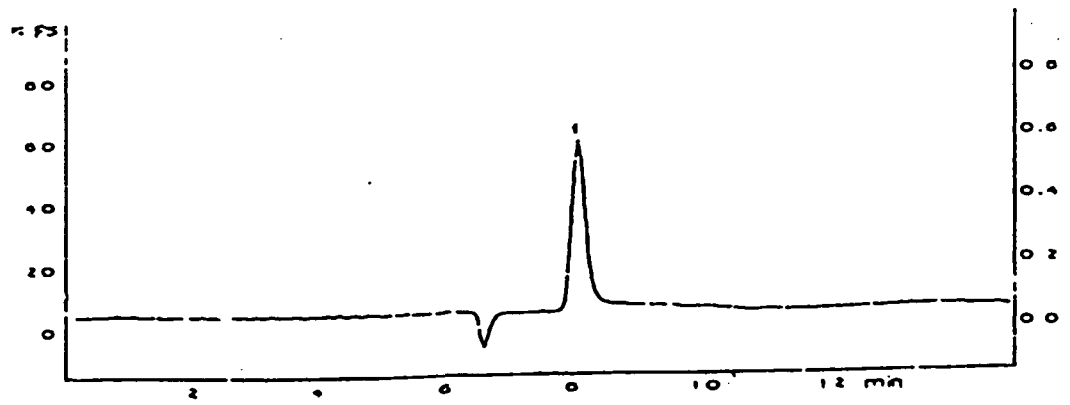
Kanal 2 für Säurebestimmung: Wellenlange 210 nm

2.05.2.3 Standards

Standardlösung: alle Substanzen wurden in Anhydratform gerechnet, die Lösungen wurden mit analysenreinem Wasser hergestellt. .

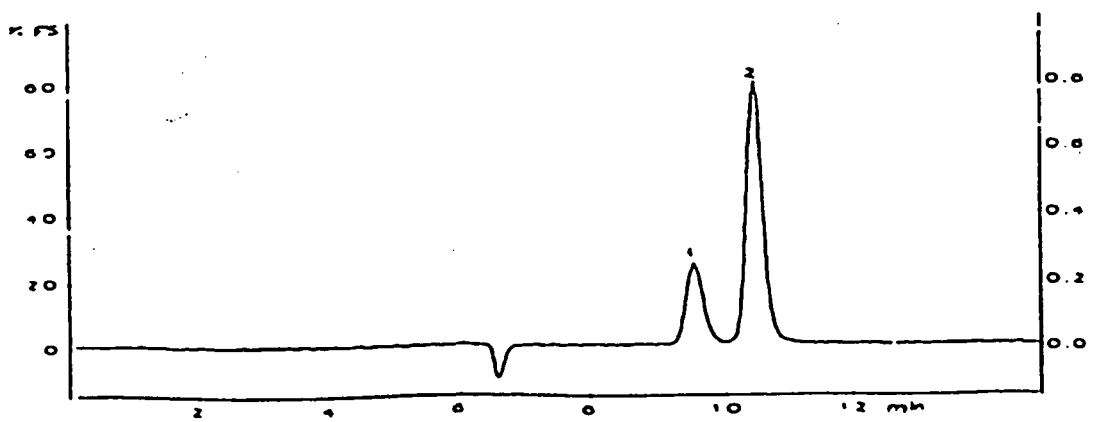
Standard für Zucker: bei 192 nm

Saccharose-Standardlösung: 4.00 g/l Saccharose



Num	Ret.T	Width	Area	Height
1	8,07	0.72	13.23	52.81

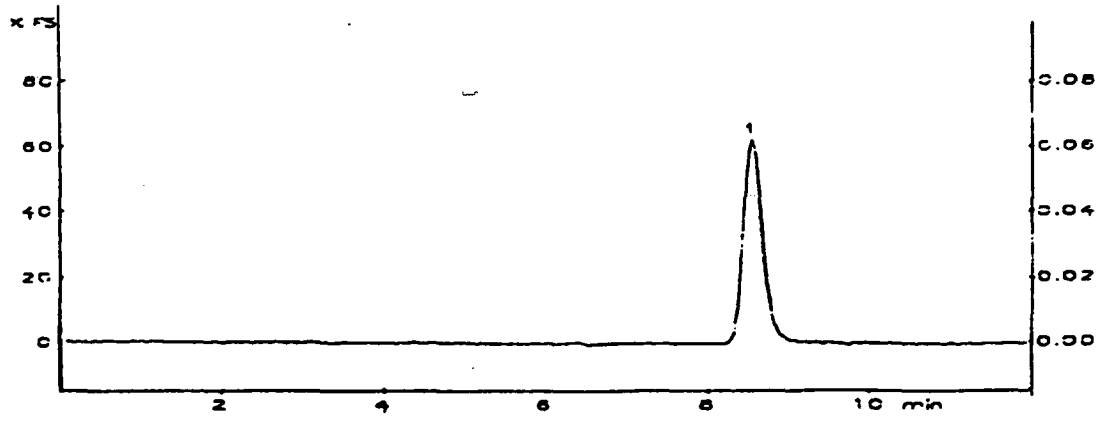
Glucose-Fructose-Standardlösung: 1.75 g/l Glucose und 2.00 g/l Fructose



Num	Ret.T	Width	Area	Height
1	9.52	0.72	13.23	52.81
2	10.43	0.83	22.37	77.80

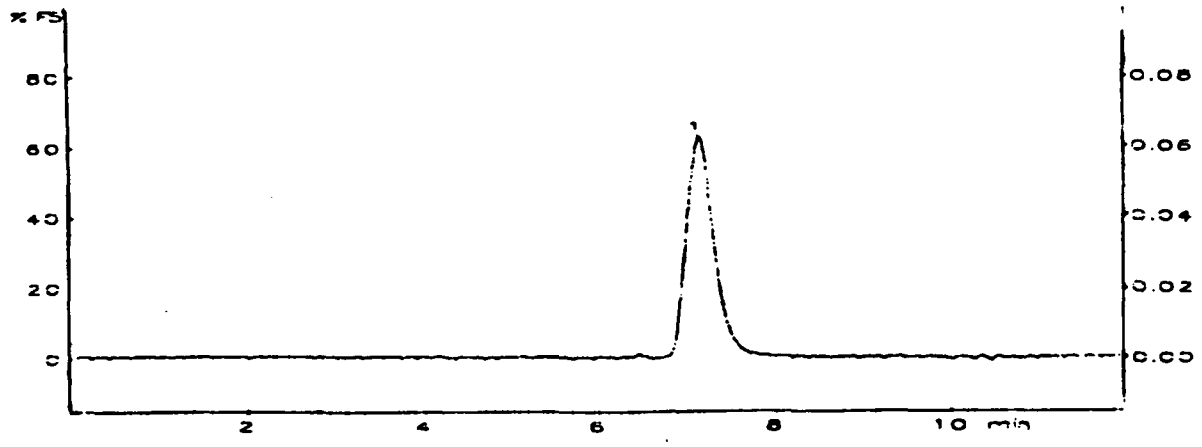
Standard für Säure: bei 210 nm

Citronensäure-Standardlösung: 0,25 g/l Citronensäure



Num.	Ret.T	Width.	Area	Height
1	8.53	0.75	16.45	61.84

Oxalsäure-Standardlösung: 0.025 g/l Oxalsäure



Num.	Ret.T	Width	Area	Height
1	7.13	0.97	21.62	61.83

Über ein mit dem UV-Detektor angeschlossenes Computersystem wurden die Chromatographie-Ergebnisse aufgezeichnet und ausgewertet.

2.05.3 Bestimmung der Schwermetallgehalte

Aufgrund der Empfindlichkeit der Citronensäurefermentation gegenüber Schwermetallen ist die Bestimmung von Schwermetallen im µg/L (ppb) Bereich erforderlich. Diese wurde mittels Atomabsorptionsspektrometer ausgeübt.

2.05.3.1 Analysenbedingungen:

Atomabsorptionsspektrometer: Perkin Elmer 2100

Programm: Graphite Furnace für Eisen-, Mangan- und Kupferbestimmung

Im Graphite Furnace Verfahren wird die Probe vom Autosampler in ein Graphitrohr gespritzt. Das Graphitrohr wird nach einem für jedes Element bestimmten Programm stufenweise geheizt. In der vorangehenden Heizstufe werden das Wasser und andere Substanzen in der Probe verdampft und von einem durch das Graphitrohr geleiteten Argongasstrom entfernt. Am Ende wird das zu messende Element bis zur Atomisierung aufgeheizt. Während der Atomisation wird die Absorption des Lichts aus einer bestimmten Elementlampe (bzw. bestimmte Wellenlänge) von einem eingebauten Detektor gemessen und mittels eines angeschlossenen Computers die Konzentration des Elements ausgegeben.

Vor jeder Messung wurde das Graphitrohr nach HGA-Programm gereinigt, damit Kontaminationen von der vorangegangenen Probe vermieden wurden.

2.05.3.1.1 HGA-Programm

Element: Fe

Preheat Temp.: 1400°C
Atomization Temp.: 2400°C
Wave length: 248.3 nm
Slit: 0.2L

Step	Furnace Temp	Temp Ramp	Time Hold	Internal Gas flow	Read on
1	90 °C	5s	20s	300	
2	120 °C	l0s	20s	300	
3	1400 °C	5s	20s	300	
4	2400 °C	0s	5s	0	0.0
5	2600 °C	1s	3s	300	

Element: Mn

Preheat Temp.: 1200°C

Atomization Temp. : 2200°C

Wave length: 279.5 nm

Slit: 0.2L

Step	Furnace Temp	Temp Ramp	Time Hold	Internal Gas flow	Read on
1	90 °C	5s	20s	300	
2	120 °C	10s	20s	300	
3	1200 °C	10s	15s	300	
4	2200 °C	0s	4s	0	0.0
5	2600 °C	1s	3s	300	

Element: Cu

Preheat Temp.: 1200 °C

Atomization Temp.: 2300 °C

Wave length: 324.8 mm

Slit: 0.2 L

Step	Furnace Temp	Temp Ramp	Time Hold	Internal Gas flow	Read on
1	90 °C	5s	20s	300	
2	120 °C	10s	20s	300	
3	1200 °C	10s	15s	300	
4	2200 °C	0s	4s	0	0.0
5	2600 °C	1s	3s	300	

Wegen der hohen Zuckergehalte der Fermentationsmedien muss der Kohlenstoff aus dem verbrannten Zucker oft aus dem Graphitrohr entfernt werden. Nach ca. 1000 Messungen muss das Graphitrohr gewechselt werden. Das neue Rohr muss mit einem Konditionsprogramm konditioniert werden.

Konditonsprogramm:

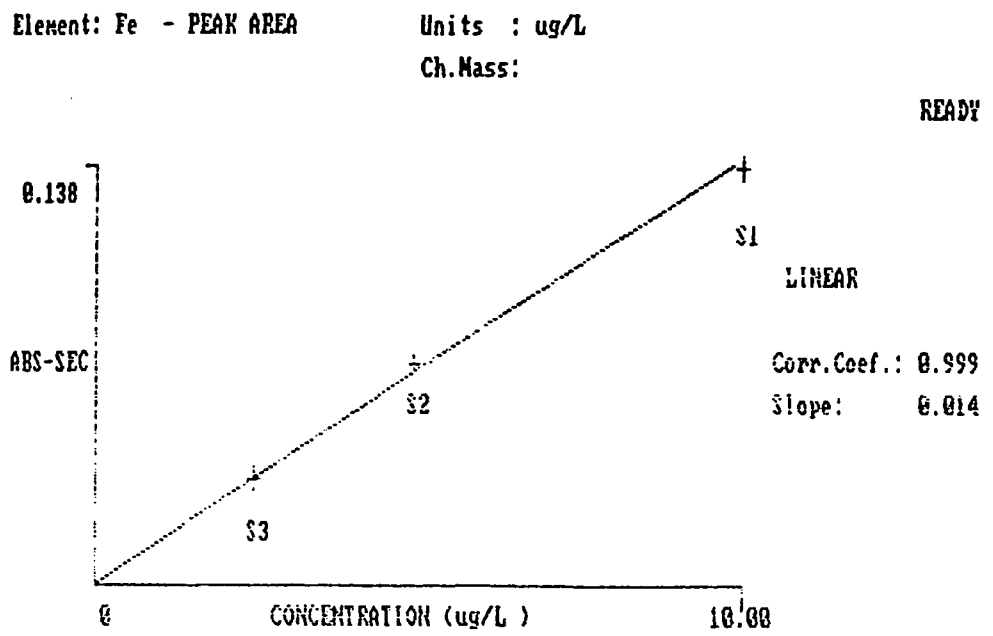
Step	Furnace Temp	Temp Ramp	Time Hold	Internal Gas flow	Read on
1	2650 °C	60s	2s		
2	20 °C	1s	20s		0.0
3	2650 °C	10s	10s		
4	20 °C	1s	20s		
5	2650 °C	10s	10s		
6	20 °C	1s	20s		
7	2650 °C	10s	10s		

2.05.3.2 Standards

Die Kalibrationskurven wurden aus den Standardlösungen verschiedener Konzentrationen der bestimmten Elemente ermittelt.

Kalibrationskurve für Eisen:

Standardlösung: Eisen(III)-Nitrat in HNO_3 0.5 mol /l (Merck)
Aus der Standardlösung wurden Eisenlösungen in 10 ppb, 5 ppb, 2.5 ppb verdünnt und eine
Kalibrationskurve erstellt.

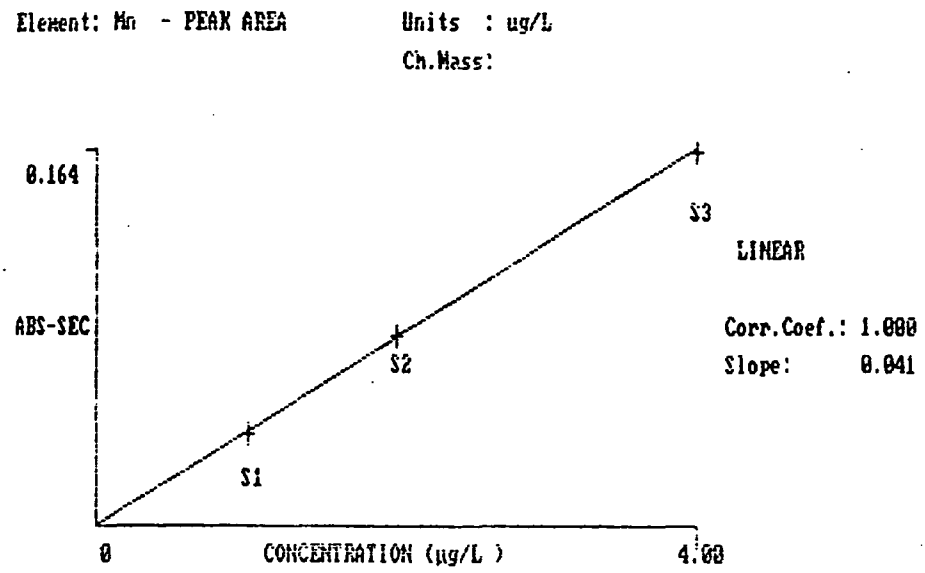


Energy: 51 Wavelenght: 248.4 Slit; 0.2 L Lamp : 4 Current: 20 mA
HGA/AS : OFF STEP of 0 TEMP.: `C TIME: s AS LOC:

Kalibrationskurve für Mangan:

Standardlösung: Mangan (II)-Nitrat in HNO_3 0.5 mol/ L (Merck)

Aus Standardlösung wurden Manganlösungen in 4 ppb, 2 ppb, 1 ppb verdünnt und eine Kalibrationskurve erstellt.

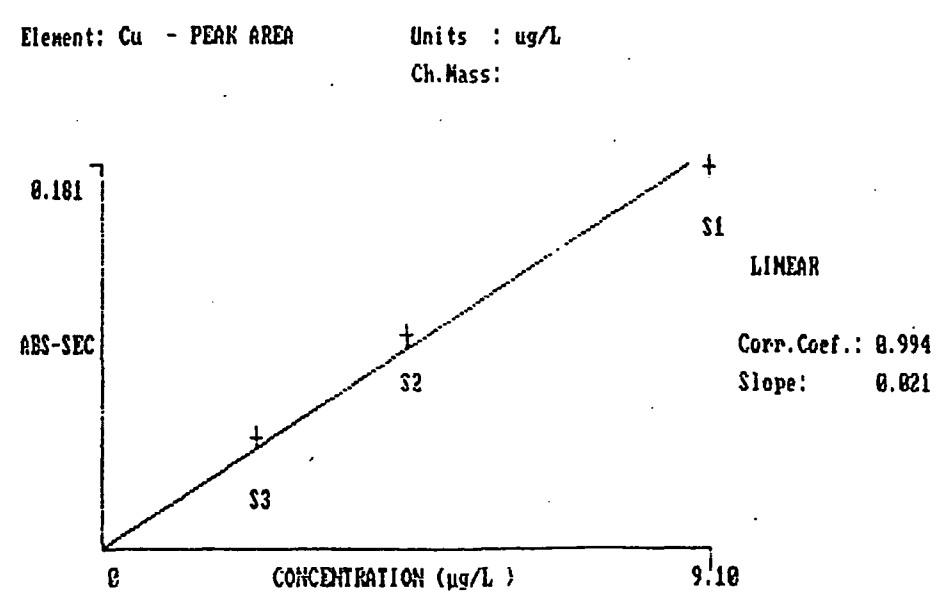


Energy: 58 Wavelenght: 279.5 Slit: 0.2 L Lamp: 3 Current: 15 mA
HGA/AS : Off STEP of 0 TEMP.: `C TIME: s AS LOC:

Kalibrationskurve für Kupfer:

Standardlösung: Kupfer (II)-Nitrat in HNO_3 0.5 mol/ L (Merck)

Aus Standardlösung wurden Kupferlösungen in 9.10 ppb, 4.55 ppb, 2.28 ppb verdünnt und eine Kalibrationskurve erstellt.



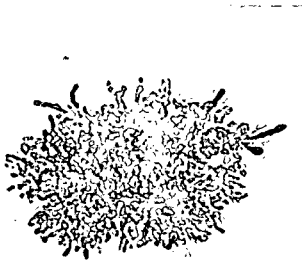
Energy: 49 Wavelenght: 324.5 Slit: 0.7 L Lamp: 4 Current: 10 mA
HGA /AS : Off STEP of 0 TEMP.: `C TIME: s AS LOC:

2.05.3.3 Durchführung

Von dem vorbereiteten Fermentationsmedium vor Zinksulfat- und Antischaummittelzusatz wurde eine Probe für die AAS Bestimmung gezogen und für jede Elementbestimmung entsprechend verdünnt, damit die Konzentration nicht aus der Standardkurve dieses Elements ausweicht. Das Wasser für die Herstellung der Standardlosungen und die Verdünnung der Proben war analytisch rein und mit 0.2%iger Salpetersäure versetzt. Um unerwünschte Kontamination von fremden Metallelementen zu vermeiden, müssen alle Gefäße für die Probenahmen, Verdünnungen und Bestimmungen besonders rein sein. Alle Gefäße sind möglichst aus Kunststoff, und die Glassgefäße wurden mit verdünnter Salpetersäure gekocht und dann mehrmals mit deionisiertem Wasser gespült. Nach den Bestimmungen wurden berechnete Mengen von Eisen- und Mangansalzlösung dem Medium zugesetzt, um die für die Versuche gewünschten Eisen- und Mangankonzentrationen zu erreichen. Dann erst wurde die konzentrierte Zinksulfatlösung und das Antischaummittel zugeben, um die Möglichkeit eines Einflusses von Zink und Öl für die Bestimmungen zu vermeiden.

2.05.3.4 Morphologische Beobachtung

Während der Fermentation wurde der Keimungsverlauf und das Wachstum des Pilzes mittels eines Mikroskops (Reichert) beobachtet. Zur Dokumentation der Pilzmorphologie wurde das Mikroskop DN 45 (PZO Warszawa) mit computergesteuertem Tisch, Messeinrichtung (Lambda, Praha) und Videokamera (Sony SSC-M370P) verwendet.



Aspergillus niger hat deutlich unterschiedliche Morphologie in Abhängigkeit von verschiedenen Elementgehalten des Nährmediums (sh. Schweiger, 1959b; 1961).Die optische Beobachtung der Pellets und die Geschwindigkeit der Filtration der Biomasse zeigt auch ganz deutliche Unterschiede unter den verschiedenen Fermentationsbedingungen. Bei bestimmten Schwermetallgehalten des Nährmediums wurde auch Farbstoffproduktion beobachtet.

III. Versuche und Ergebnisse

Vorbemerkung

Um eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse der Hauptversuchsreihen zu erzielen, wurde im allgemeinen folgende Vorgangsweise gewählt:

Eine erste Abbildung für jede Fermentation zeigt jeweils die Konzentration an Biomasse, Zucker und Citronensäure über der Fermentationszeit; ggf. ist auch die jeweilige 1. Ableitung nach der Zeit, also die Produktivität (g/l.h) eingezeichnet. Dabei wird zur Erleichterung eines Vergleichs zwischen einzelnen Fermentationen das Diagramm über die jeweils gesamte Fermentationszeit dargestellt

Eine zweite Abbildung zeigt Daten der ersten Abbildungen in molaren Konzentrationen als Zuckerverbrauch total; Zuckerverbrauch für Citronensäure gemäß der stöchiometrischen Bildungsgleichung

$$C_6H_{12}0_6 + 1{,}5\ 0_2 = C_6H_80_7 + 2H_2O\ ;$$

und Zuckerverbrauch für Citronensäure und Biomasse gemäß Stöchiometrie, wobei für die Biomasse eine "Molmasse" von 157 (incl. 9% Asche) gemäß einer für die Bildung von Biomasse ermittelten "Bildungsgleichung" (vgl. Muttzall, 1994))

$$2C_6H_{12}0_6 + 5{,}75\ 0_2 + NH_3 = C_6H_{10}0_3N + 6C0_2 + 8{,}5H_20\ ;$$

mit einem Ausbeutefaktor von 0,5 (g TS/g C-Substrat) angenommen wird. Diese Darstellung ermöglicht es, im zeitlichen Verlauf zu beobachten bzw. zu bilanzieren, wieviel des verbrauchten Zuckers als Verlust zu dokumentieren ist. Dieser Verlust kann in erster Linie einer unerwünschten Atmung, also der Bildung von CO_2 zugeschrieben werden, aber es können auch andere Produkte auftreten, z.B. andere Säuren in der Anfangsphase der Fermentation, wie Oxalsäure und Gluconsäure. Letztlich zeigt der Verlauf der Zuckerverbrauchskurve auch, ob bzw. wann der gesamte Zucker innerhalb der beobachteten Fermentationszeit umgesetzt wurde oder ob noch Restzucker vorliegt. Die Differenz zwischen der Kurve des Zuckerverbrauchs für Citronensäure + Biomasse und Citronensäure zeigt dementsprechend den Zuckerverbrauch zur Bildung der Biomasse.

Eine dritte Abbildung zeigt dann die Abhängigkeit der Produktivität von Temperatur oder Sauerstoffsättigung

Eine vierte Abbildung demonstriert das Verhältnis zwischen AuV (Ausbeute der Citronensäure relativ zum verbrauchten Zucker) und Temperatur oder Sauerstoffsättigung

3.1 Einfluss der Temperatur auf Citronensäurebildung und Verluste der Kohlenhydratquelle (15% Glukoselösung)

In den folgenden Versuchen wurde der Einfluss der Temperatur auf die Citronensäurebildung untersucht. Die Versuche 1 und 2 stellen Fermentationen unter uns bekannten Bedingungen dar. Mit den Versuchen 3 – 10 hat man den Einfluss von niedrigeren Temperaturen auf die Citronensäurebildung und auf Verluste der Kohlenstoffquelle untersucht.

Ferm. Nr.	Temp Anfang	Temp. Ende	Fermentation Zeit	Belüftung l/min	%O2 min.	Zucker g/l Anfang	Zucker g/l Ende	CAA g/l Ende	mol/l CAA Ende	mol/l CAA +Biomasse Ende	mol/l Zuckerverbrauch Ende	mol/l Biomasse Ende	mol/l Zucker Veratmet Ende	Ausbeute %
9	26	26	322,0	6,0	70,8	158,3	25,2	48,7	0,254	0,394	0,739	0,140	0,345	**30,8**
10	26	26	323,0	6,0	70,1	153,1	18,9	57,4	0,299	0,431	0,774	0,132	0,343	**37,5**
8	32	26	225,0	6,0	63,0	158,8	0,0	91,7	0,477	0,625	0,871	0,147	0,246	**57,8**
7	32	26	220,0	6,0	63,0	156,8	5,8	90,5	0,471	0,618	0,838	0,147	0,220	**57,7**
3	28	28	188,0	6,0	75,9	140,6	30,1	47,5	0,247	0,395	0,614	0,147	0,219	**33,8**
4	28	28	280,0	6,0	70,8	142,2	33,1	51,1	0,266	0,419	0,597	0,153	0,178	**35,9**
5	32	28	192,0	6,0	53,6	154,0	0,0	99,7	0,519	0,696	0,855	0,178	0,159	**64,7**
6	28	32	218,0	6,0	55,4	162,1	0,0	118,0	0,614	0,773	0,900	0,158	0,127	**72,8**
2	32	32	199,0	6,0	52,5	155,5	0,0	118,8	0,618	0,772	0,873	0,154	0,101	**76,4**
1	32	32	167,0	6,0	43,6	148,6	0,2	118,6	0,617	0,776	0,807	0,158	0,032	**79,8**

Zur Bestätigung dieser Versuche wurde der Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten bei einer höheren Kohlenhydratkonzentration ähnlich dem industriellen Zuckergehalt untersucht. Die Ergebnisse der Vergleichsfermentationen 11 und 1 , 12 und 6, 13 und 5 sind fast identisch.

Ferm. Nr.	Temp Anfang	Temp. Ende	Fermentation Zeit	Belueftung l/min	%O2 min.	Zucker g/l Anfang	Zucker g/l Ende	CAA g/l Ende	mol/l CAA Ende	mol/l CAA +Biomass Ende	mol/l Zuckerverbrauch Ende	mol/l Biomass Ende	mol/l Zucker Veratmet Ende	Ausbeute %
11	32	32	260,0	6,0	39,9	199,8	1,0	156,8	0,816	0,988	1,124	0,172	0,136	**78,5**
12	28	32	285,0	6,0	52,7	198,1	8,4	140,6	0,732	0,911	1,055	0,179	0,144	**71,0**
13	32	28	285,0	6,0	49,3	203,5	8,7	137,2	0,714	0,880	1,082	0,165	0,202	**67,4**

3.1.1 Beschreibung der einzelnen Versuche

3.1.2 Versuche unter optimalen Bedingungen (Fermentation Nr. 1 , 2 , 11)

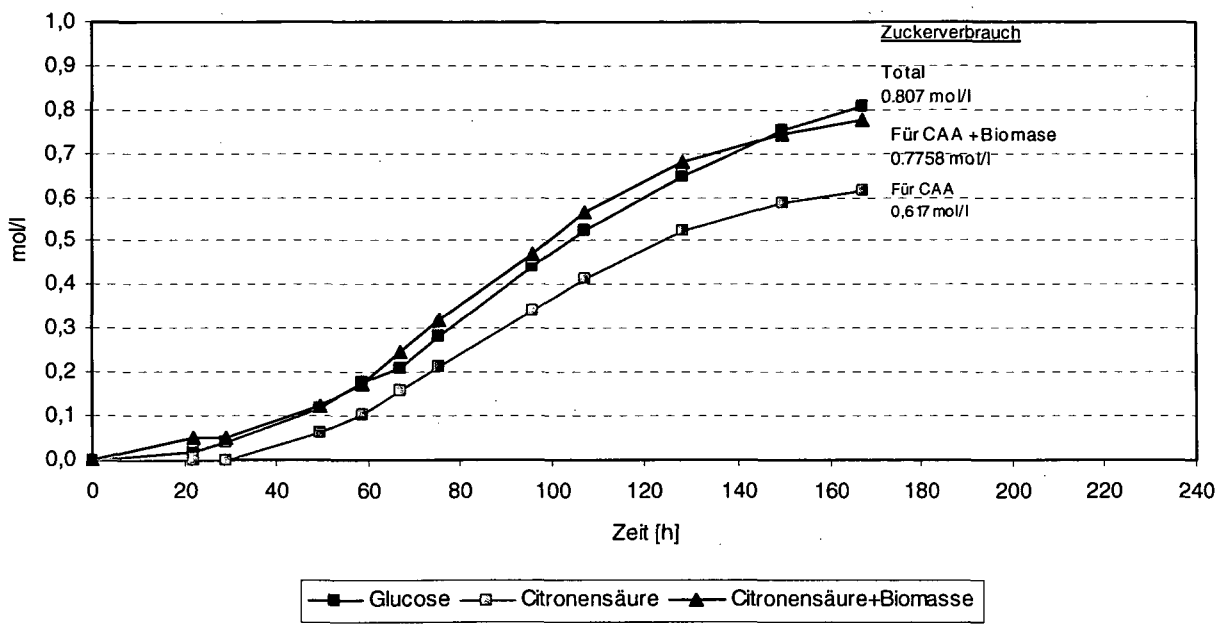
Die Fermentationsversuche 1 und 2 wurden als Vergleichsfermentationen bei optimalen Bedingungen durchgeführt. Beide Versuche waren beinahe identisch. Zum Vergleich wurde auch mit einer Glukosekonzentration von 18% fermentiert (ähnlich dem industriellen Zuckergehalt).

3.1.2.1 Fermentation Nr. 1 , Glukosekonzentration 15%

Tabelle 1.1:

Fermentation bei 32°C

Diagramm 1.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

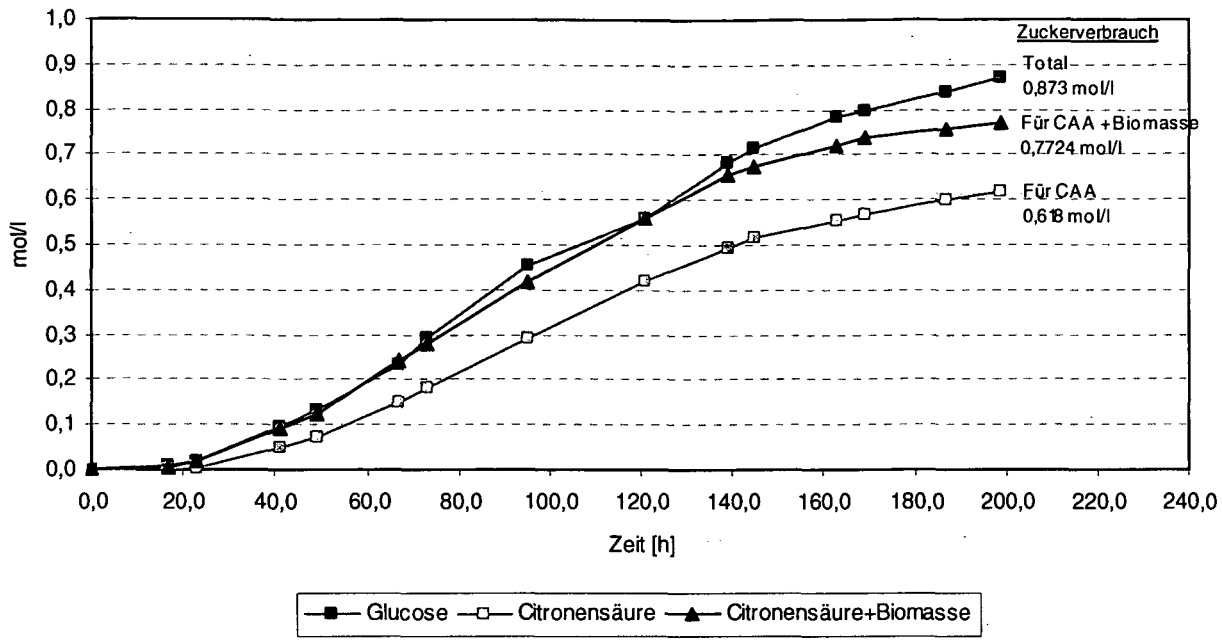


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,0312 mol/l (3,8 %) geringfügig.

3.1.2.2 Fermentation Nr. 2 , Glukosekonzentration 15%

Fermentation bei 32°C

Diagramm 2.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

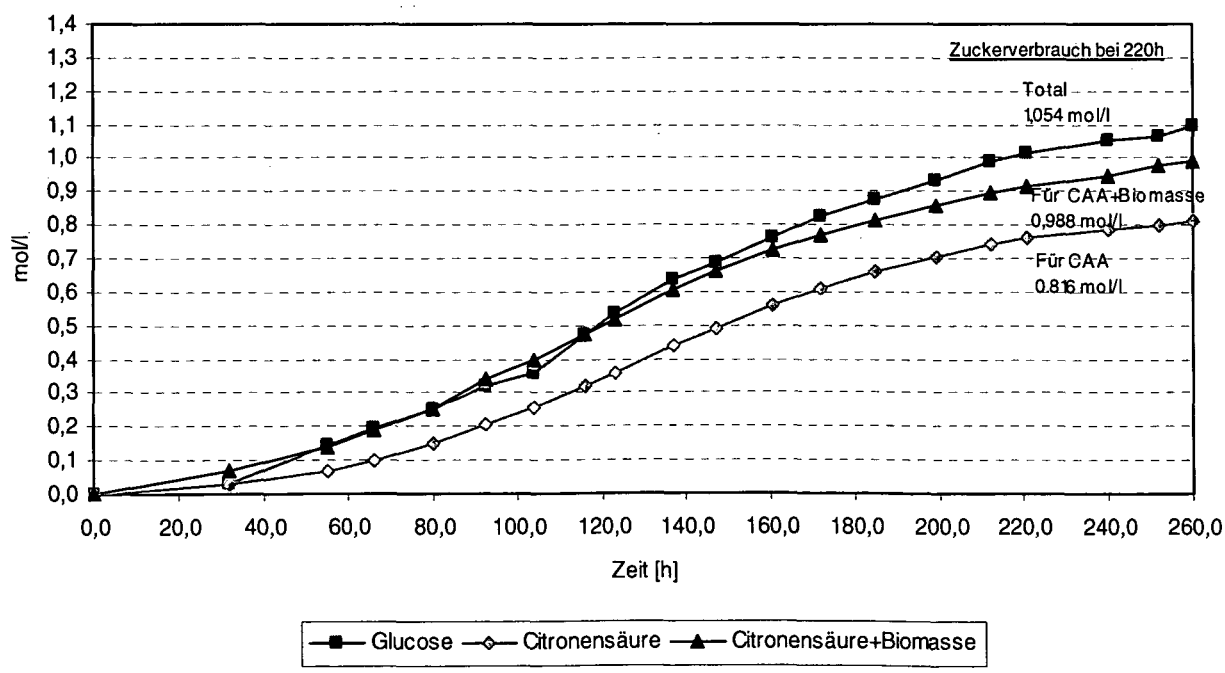


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,101 mol/l (11,5 %) geringfügig

3.1.2.2.1 Fermentation Nr. 11 , Glukosekonzentration 18%

Fermentation bei 32°C

Diagramm 2.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

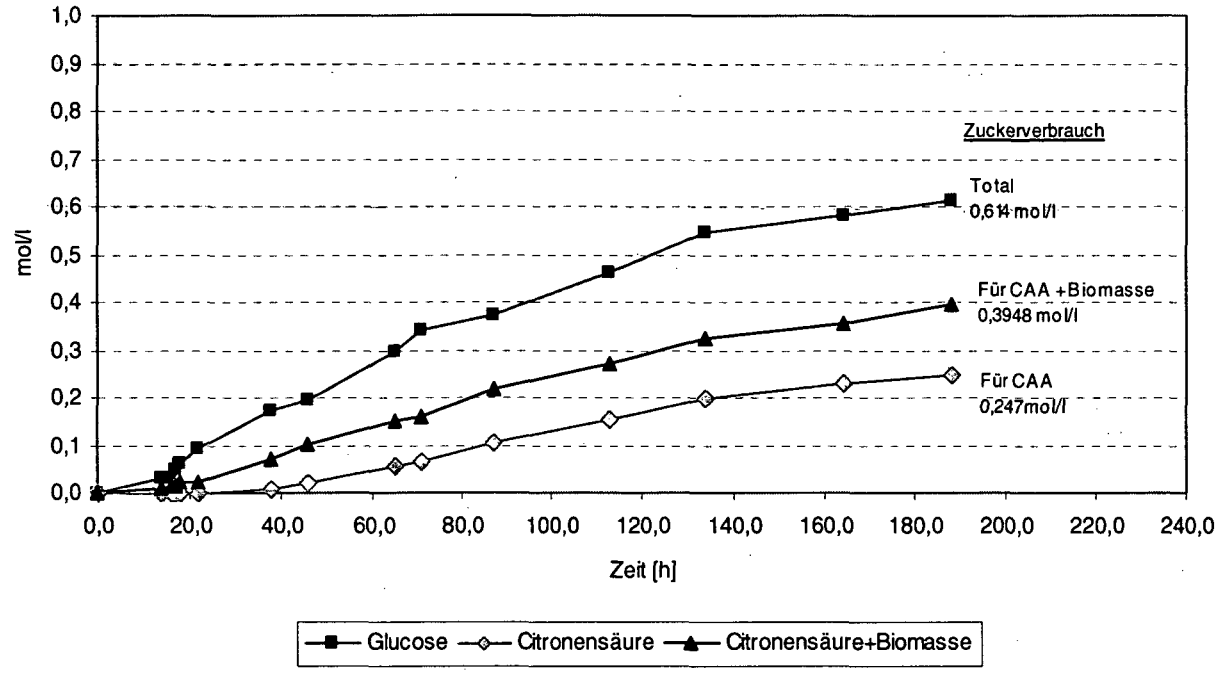


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten 0,106 mol/l (9,6 %) geringfügig.

3.1.2.3 Fermentation Nr. 3

Es wurde bei 28° C fermentiert.

Diagramm 3.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

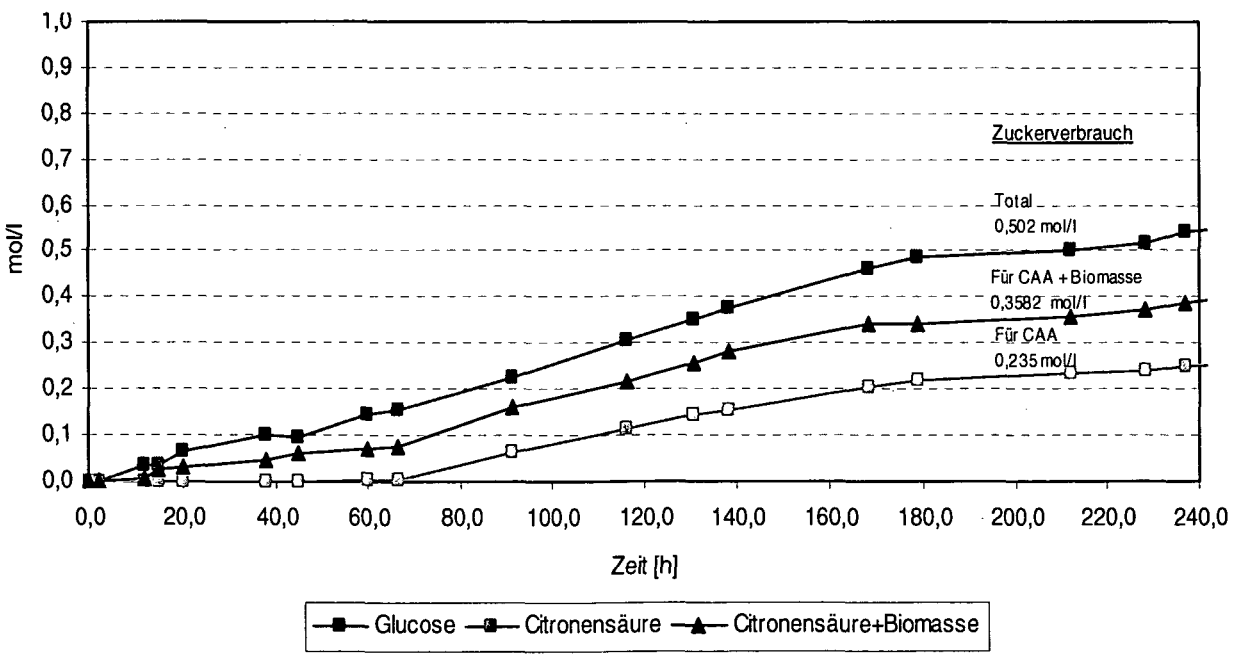


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,219 mol/l (28%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen.

3.1.2.4 Fermentation Nr. 4

Es wurde bei 28° C fermentiert.

Diagramm 4.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

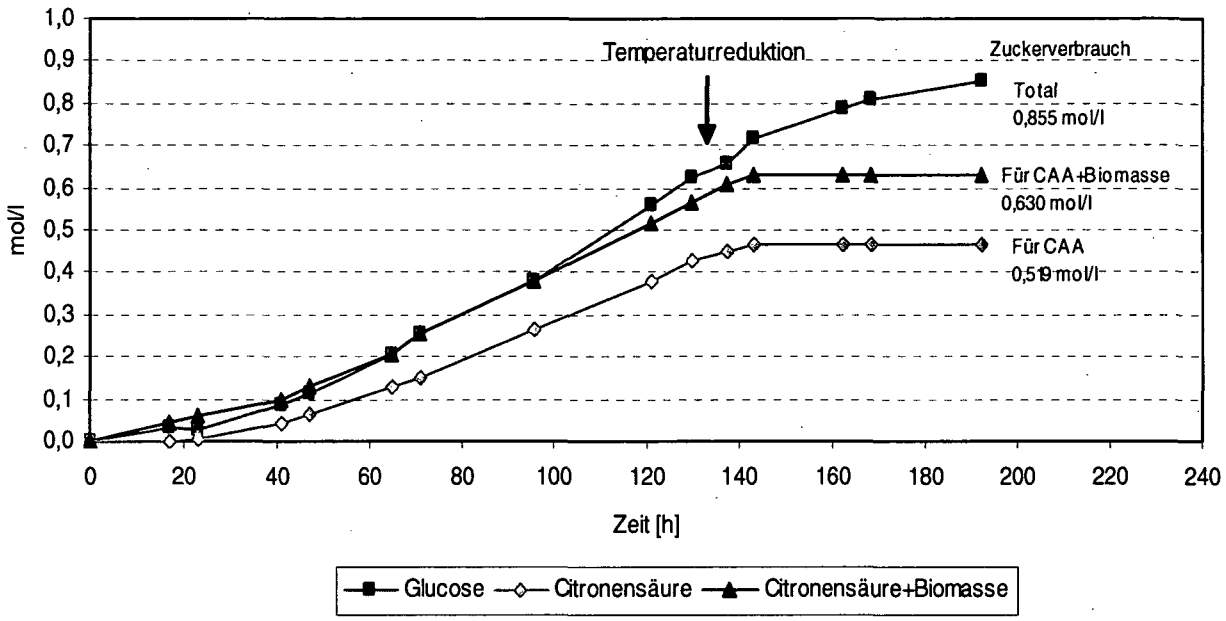


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,187 mol/l . (23,7%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen.

3.1.2.5 Fermentation Nr. 5

3.1.2.5.1 Es wurde mit einer Glukosekonzentration von 15% bei der Anfangstemperatur von 32° C fermentiert, nach 130 Stunden wurde auf 28° C reduziert.

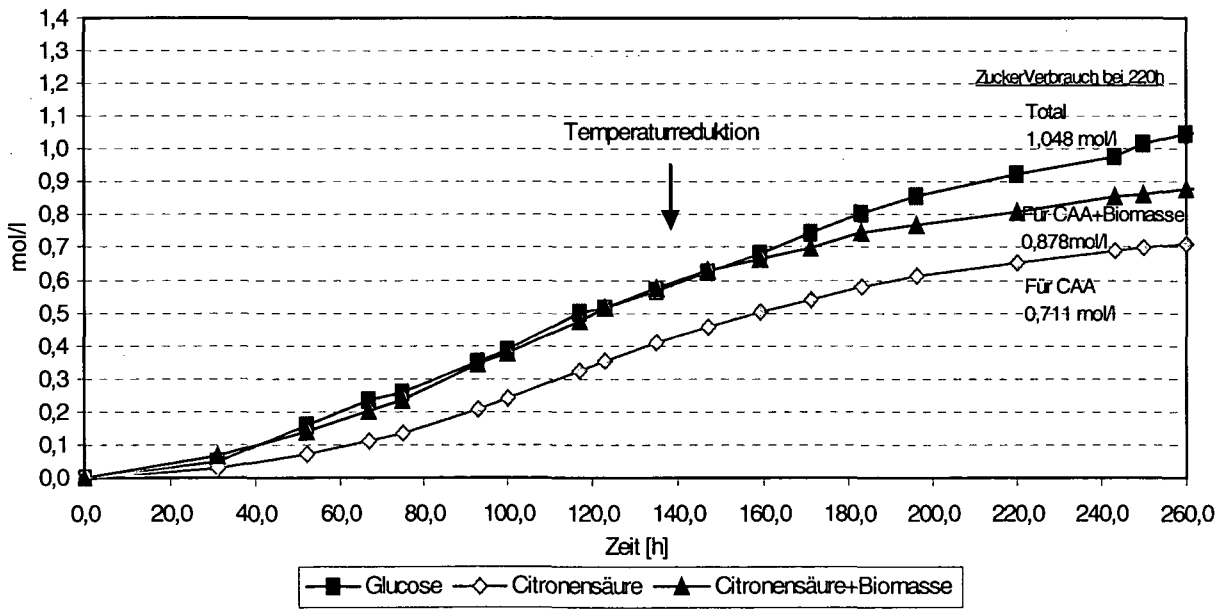
Diagramm 5.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :



Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,225 mol/l (26,3%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen.

3.1.2.5.2 Es wurde mit einer Glukosekonzentration von 18% und bei der Anfangstemperatur von 32° C fermentiert, nach 130 Stunden wurde die Temperatur auf 28° C reduziert (Fermentation 13) .

Diagramm 5.2, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

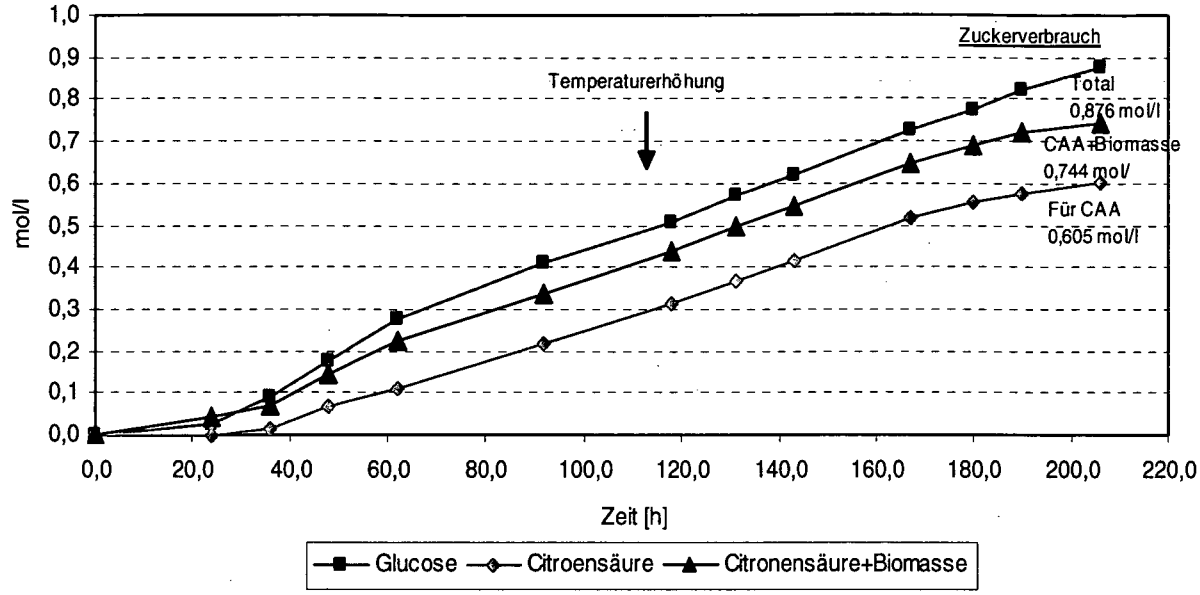


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,202 mol/l (17,9%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen .

3.1.2.6 Fermentation Nr. 6

3.1.2.6.1 Es wurde mit einer Glukosekonzentration von 15% und bei der Anfangstemperatur von 28° C fermentiert, nach 120 Stunden wurde die Temperatur auf 32° C erhöht.

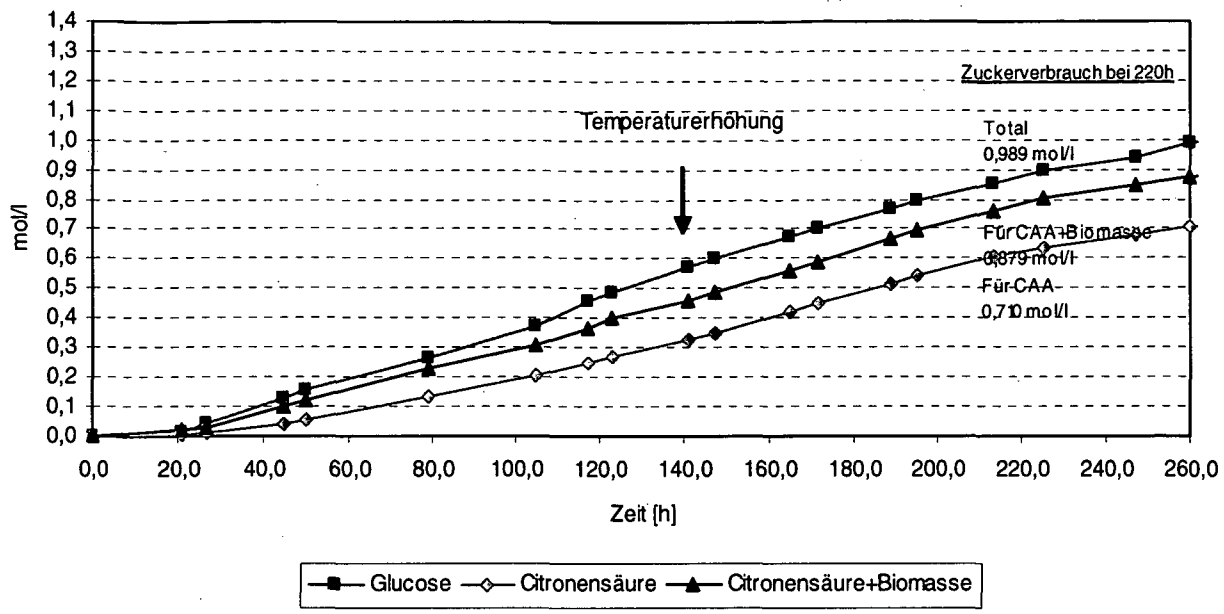
Diagramm 6.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :



Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,132 mol/l (14,6%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen, aber niedriger als bei den Versuchen mit einer Fermentationstemperatur von 28°C. Wie ersichtlich erreicht man mit einer Temperatur-Erhöhung nach einer gewissen Zeit nicht wieder den optimalen Verlauf für die Citronensäuregärung.

3.1.2.6.2 Es wurde mit einer Glukosekonzentration von 18% und bei der Anfangstemperatur von 28° C fermentiert, nach 140 Stunden wurde die Temperatur auf 32° C erhöht (Fermentation 12).

Diagramm 6.2, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

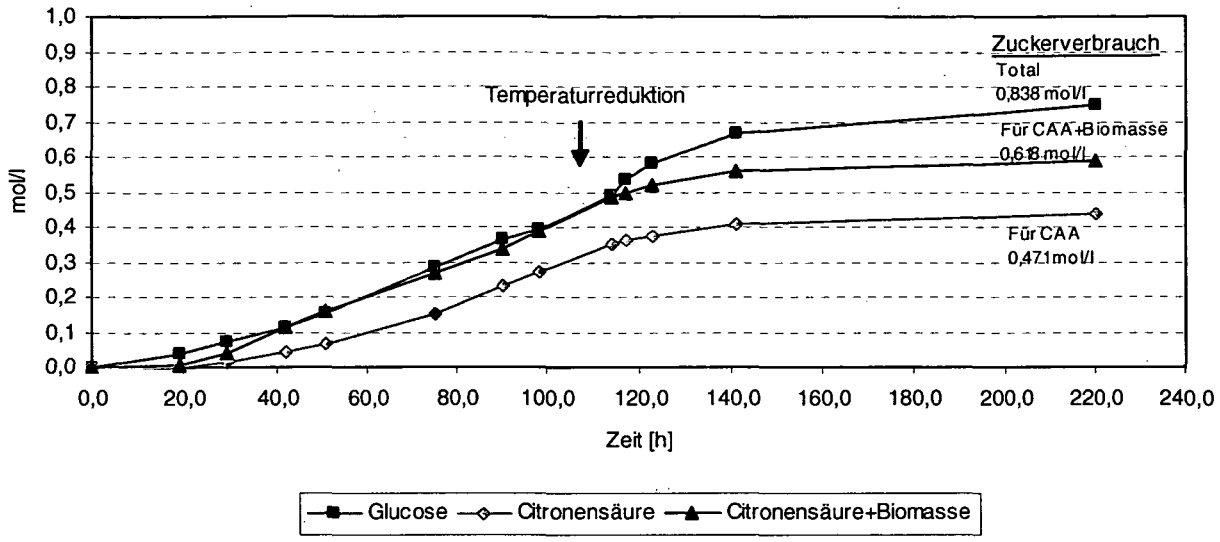


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,144 mol/l (13,1%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen, aber niedriger als bei den Versuchen mit einer Fermentationstemperatur von 28°C.

3.1.2.7 Fermentation Nr. 7

Es wurde bei der Anfangstemperatur von 32° C fermentiert, nach 100 Stunden wurde die Temperatur auf 26° C reduziert.

Diagramm 7.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

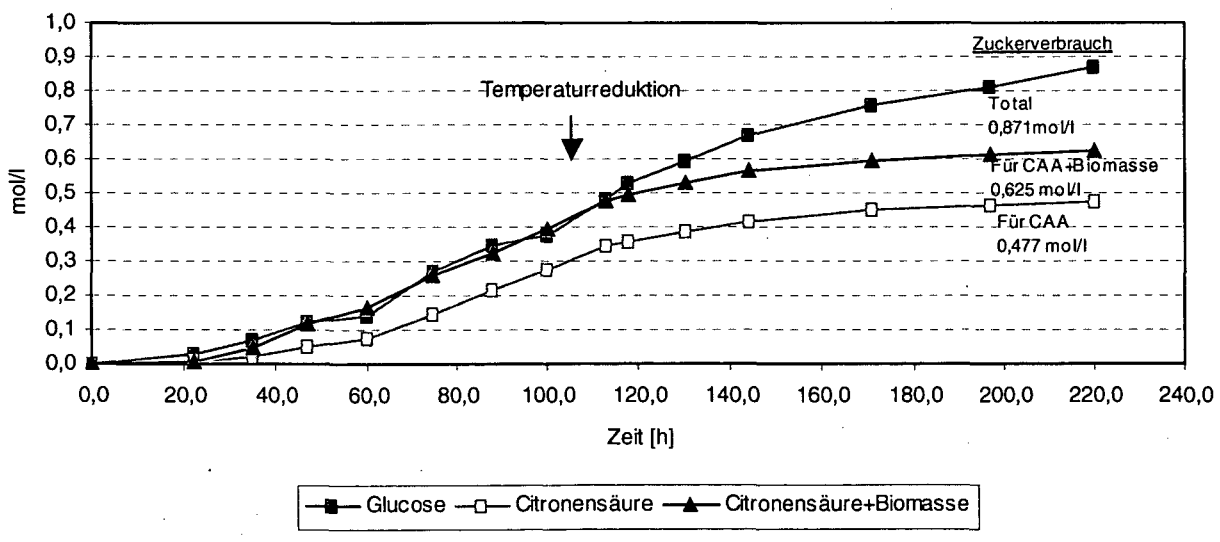


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,220 mol/l (25,3%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen, aber niedriger als bei den Versuchen mit einer Fermentationstemperatur von 26°C.

3.1.2.8 Fermentation Nr. 8

Es wurde bei der Anfangstemperatur von 32° C fermentiert, nach 100 Stunden wurde auf 26° C reduziert.

Diagramm 8.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

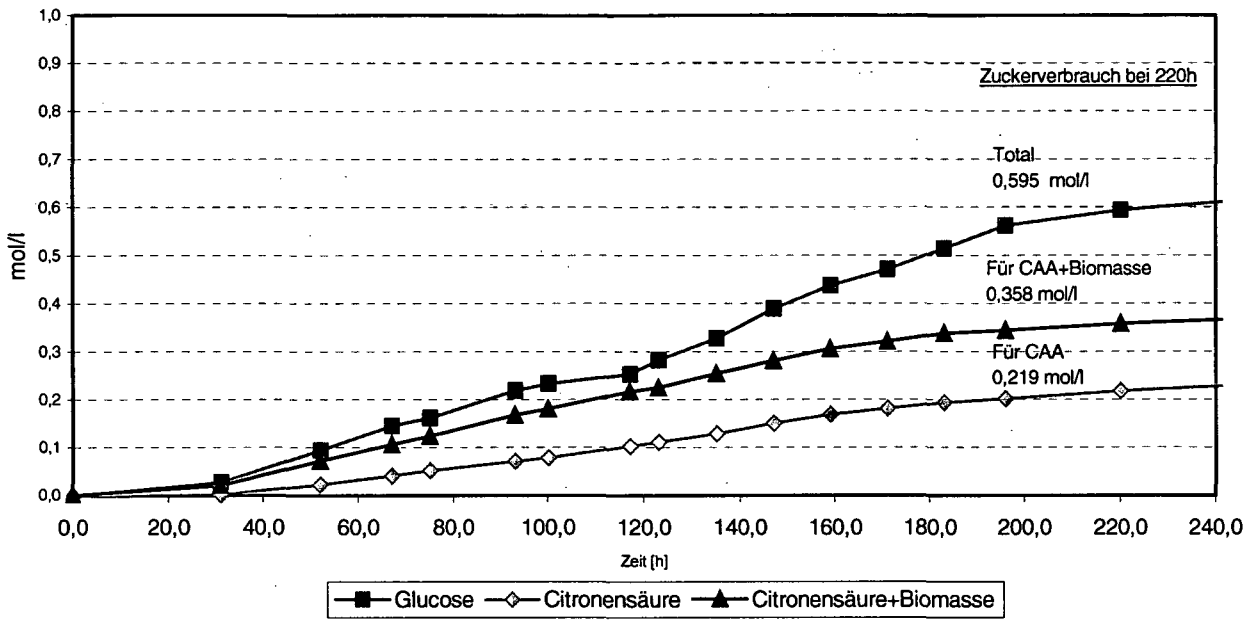


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,257 mol/l (29,2%) höher als bei den Versuchen mit optimalen Bedingungen, aber niedriger als bei den Versuchen mit einer Fermentationstemperatur von 26°C. Wenige Stunden nach der Reduktion der Temperatur auf 26°C wurden höhere Verluste gemessen.

3.1.2.9 Fermentation Nr. 9

Es wurde bei 26° C fermentiert.

Diagramm 9.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :

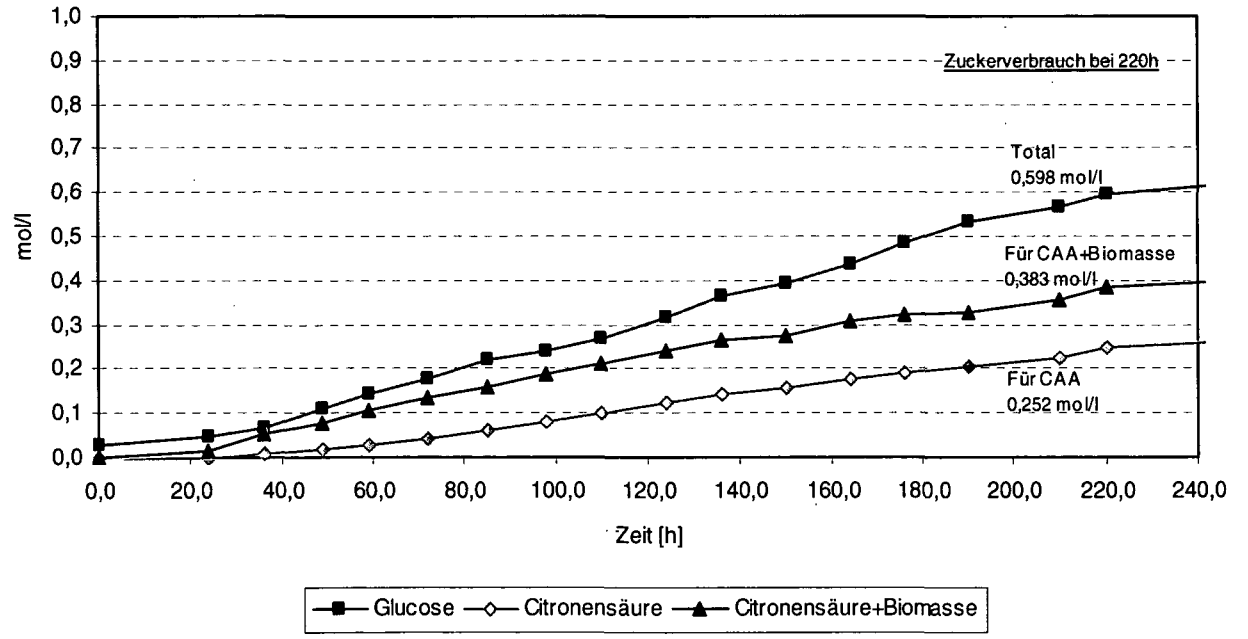


Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,345 mol/l (39,2%) höher als bei allen vorhin beschriebenen Versuchen.

3.1.2.10 Fermentation Nr. 10

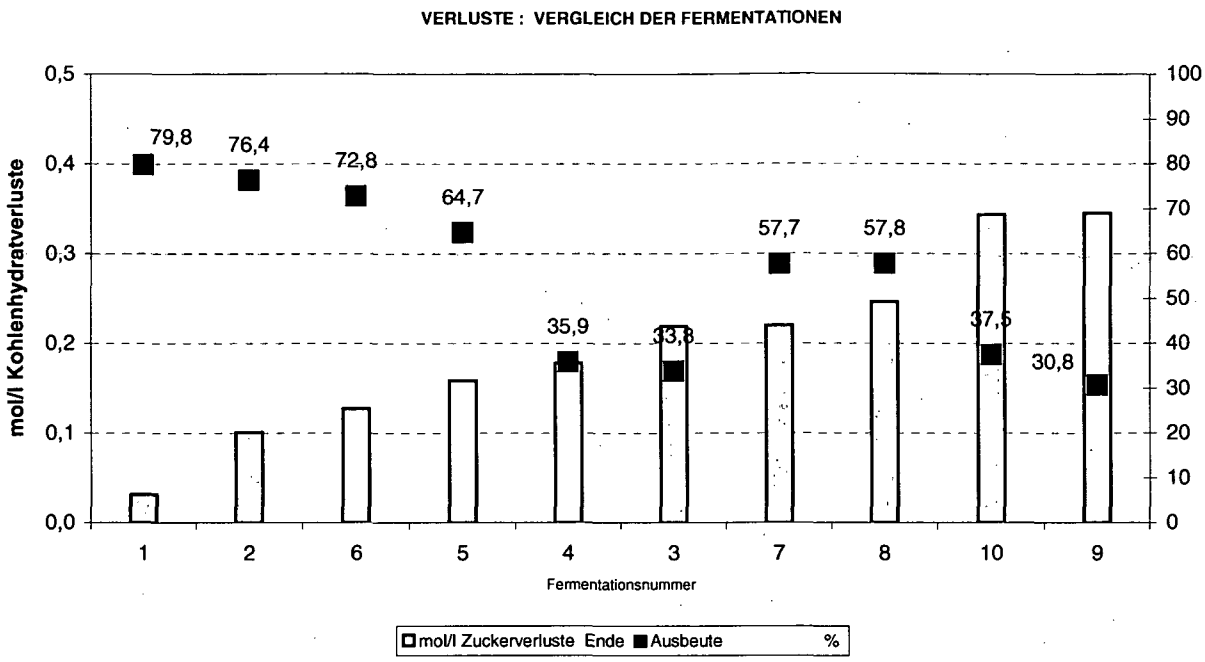
Es wurde bei 26° C fermentiert.

Diagramm 10.1, Einfluss der Temperatur auf die Verluste an Kohlenhydraten :



Wie man daraus ersehen kann, sind die Verluste an Kohlenhydraten mit 0,315 mol/l (37,0%) höher als bei den Versuchen mit einer Fermentationstemperatur von 28°C und 32°C.

Die Ergebnisse sind in nachfolgendem Diagramm nochmals zusammengefasst .



3.2 Einfluss der Sauerstoffsättigung in der Fermentationslösung auf die Citronensäurebildung und die Verluste an Kohlenhydrat.

In der industriellen Praxis der Citronensäurefermentation ist bekannt, dass eine Unterbrechung der Luftversorgung (z.B. durch ein technisches Gebrechen) die Fermentation stark beeinflusst.

Im Allgemeinen kommt es zu einem totalen Fermentationzusammenbruch, aus dem sich das System nur langsam oder unvollkommen erholen kann, abhängig davon wie alt die Fermentation ist. Innerhalb der ersten 100 Stunden (logarithmische Phase) ist dieser Effekt am stärksten zu beobachten. An unserem Institut wurde unter Laboratoriumsbedingungen durch Unterbrechung der Luftversorgung dies untersucht (C.P. Kubicek, O. Zehentgruber (Dissertation) , H. El-Kalak (Diplomarbeit) und M. Röhr)

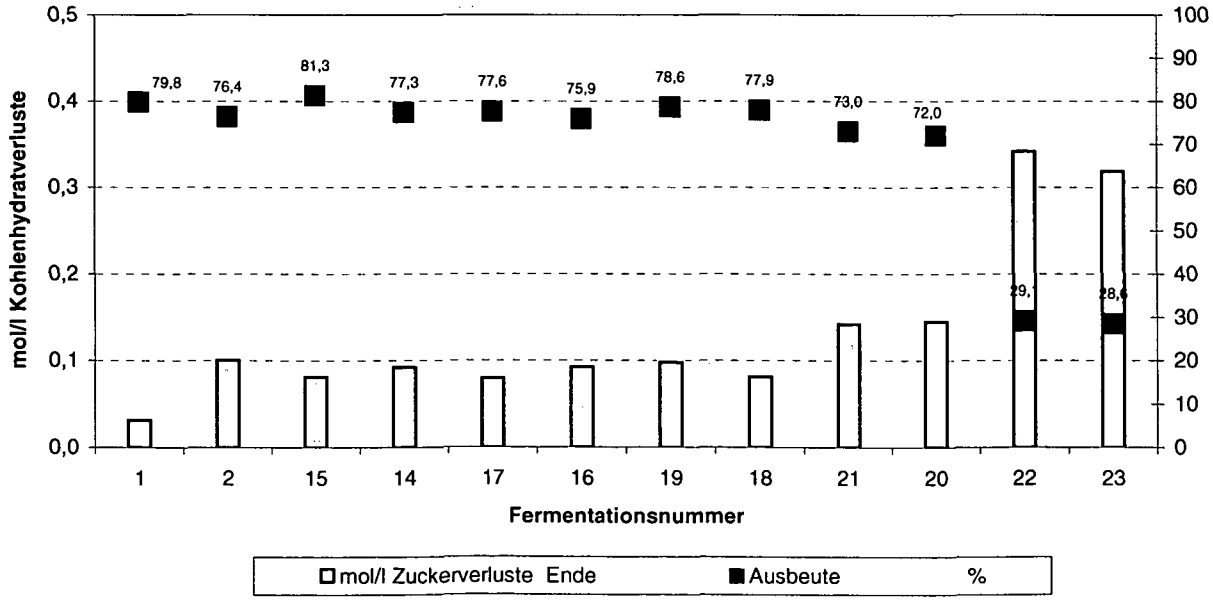
In den folgenden Versuchen wurde nun angestrebt, den Einfluss der Sauerstoffkonzentration in der Fermentationslösung auf die im Vorangegangenen beobachteten und beschriebenen Verluste an Kohlenhydraten zu studieren.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Sauerstoffkonzentration ausgehend von der Sättigungskonzentration mit Einsetzen des Wachstums der Biomasse kräftig abfällt, worauf sich über einen bestimmten Zeitraum eine konstante Sauerstoffkonzentration einstellt, die mit Beendigung des Wachstums der Biomasse wieder ansteigt. Das gilt für alle Belüftungsraten zwischen 6 und 0,3 vvm.

Die Versuche 1 und 2 stellen Fermentationen unter uns bekannten optimalen Bedingungen dar. Mit den Versuchen 14 – 23 hat man die Beeinflussung der Sauerstoffkonzentration in der Fermentationslösung auf die Verluste der Kohlenstoffquellen durch Variation der Belüftungsrate untersucht.

Ferm. Nr.	Temp	Fermentations zeit	Belüftung vvm	$\%O_2$ Sättigung min.	Zucker g/l Anfang	Zucker g/l Ende	CAA g/l Ende	mol/l CAA Ende	mol/l CAA +Biomasse Ende	mol/l Zuckerverbrauch Ende	mol/l Biomasse Ende	mol/l Zucker Veratmet Ende	Ausbeute %
22	32	340,0	0,1	7,3	154,2	28,2	44,9	0,234	0,402	0,743	0,168	0,342	**29,1**
23	32	369,0	0,1	5,9	150,2	31,2	42,9	0,223	0,387	0,706	0,164	0,319	**28,6**
21	32	258,0	0,3	45,9	157,3	0,0	114,8	0,598	0,748	0,890	0,150	0,142	**73,0**
20	32	262,0	0,3	45,9	152,5	0,0	109,8	0,572	0,722	0,867	0,150	0,145	**72,0**
19	32	217,0	0,7	57,0	146,8	0,0	115,4	0,601	0,759	0,857	0,158	0,098	**78,6**
18	32	229,0	0,7	55,5	156,3	2,0	121,7	0,633	0,793	0,874	0,160	0,081	**77,9**
17	32	220,0	1,0	62,4	157,0	0,0	121,8	0,634	0,798	0,877	0,164	0,080	**77,6**
16	32	202,0	1,0	49,5	156,5	0,5	118,8	0,618	0,778	0,871	0,160	0,093	**75,9**
15	32	220,0	3,0	57,0	150,8	0,0	122,6	0,638	0,798	0,880	0,160	0,082	**81,3**
14	32	203,0	3,0	49,6	157,1	0,0	121,5	0,632	0,792	0,885	0,160	0,092	**77,3**
1	32	167,0	6,0	43,6	148,6	0,2	118,6	0,617	0,776	0,807	0,158	0,032	**79,8**
2	32	199,0	6,0	52,5	155,5	0,0	118,8	0,618	0,772	0,873	0,154	0,101	**76,4**

VERLUSTE: VERGLEICH DER FERMENTATIONEN



3.2.1 Beschreibung der einzelnen Versuche

Alle im folgenden beschriebenen Versuchen wurden bei 32°C fermentiert.

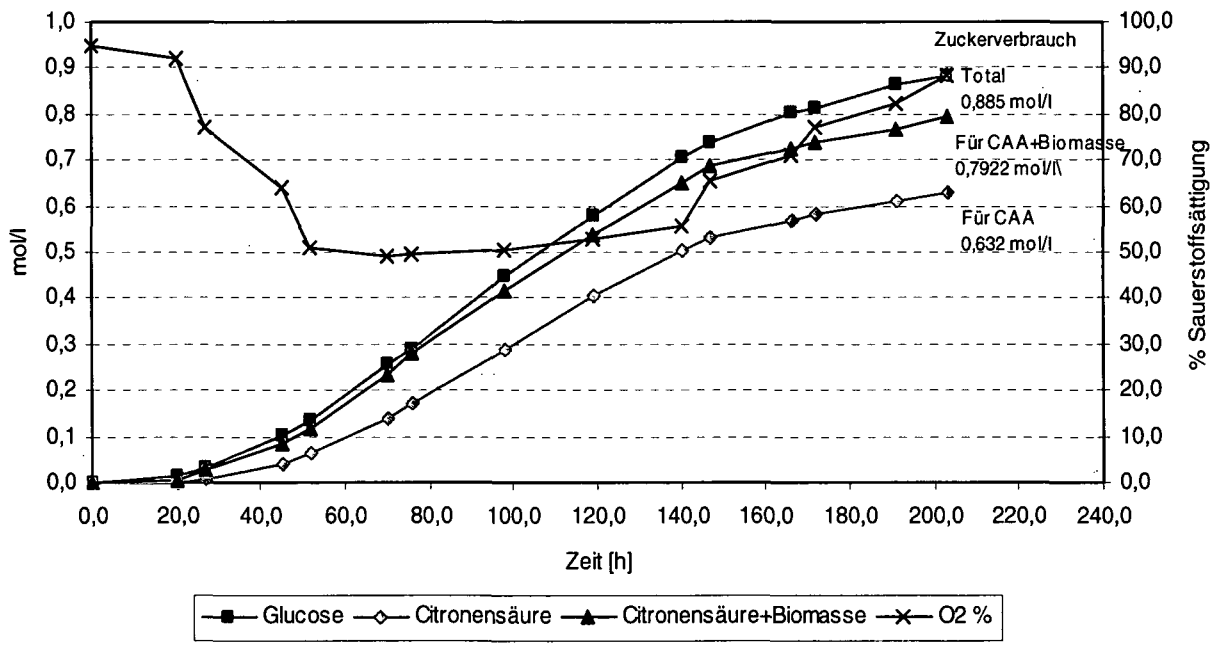
3.2.1.1 Versuche unter optimalen Bedingungen (Fermentation Nr. 1 , 2)

Die Fermetationsversuche 1 und 2 wurden als Vergleichsfermentationen bei optimalen Bedingungen durchgeführt. Dabei wurde mit einer Belüftungsrate von 6 vvm Luft zugeführt und die Sauerstoffkonzentration im Verlauf der Versuche verfolgt. Beide Versuche waren beinahe identisch. Siehe 3.1.2.1 und 3.1.2.2. Wie ersichtlich, ist das System voll funktionsfähig.

3.2.1.2 Fermentation Nr. 14

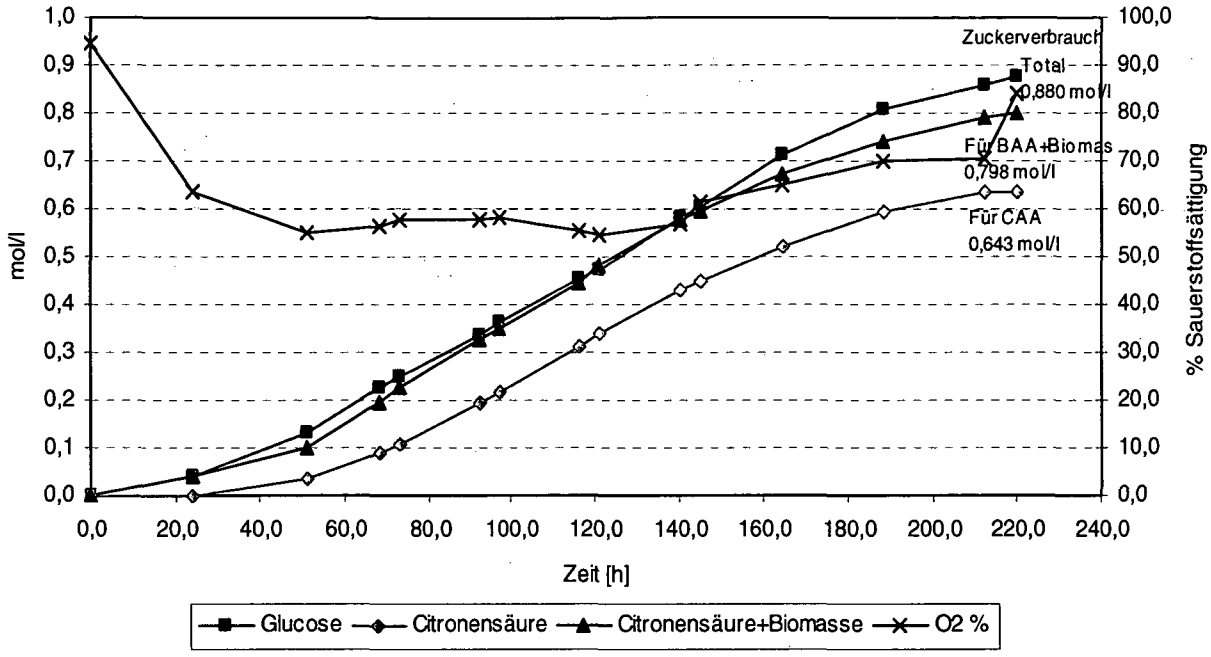
Es wurde mit einer Belüftungsrate von 3 vvm fermentiert. Die minimale Sauerstoffsättigung während der Fermentation lag bei ca. 50% . Dieser Versuch war vergleichbar mit den Fermentationen, die unter optimalen Bedingungen durchgeführt wurden. Die Zuckerverluste lagen mit 10% auch niedrig.

Diagramm 14.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.3 Fermentation Nr. 15

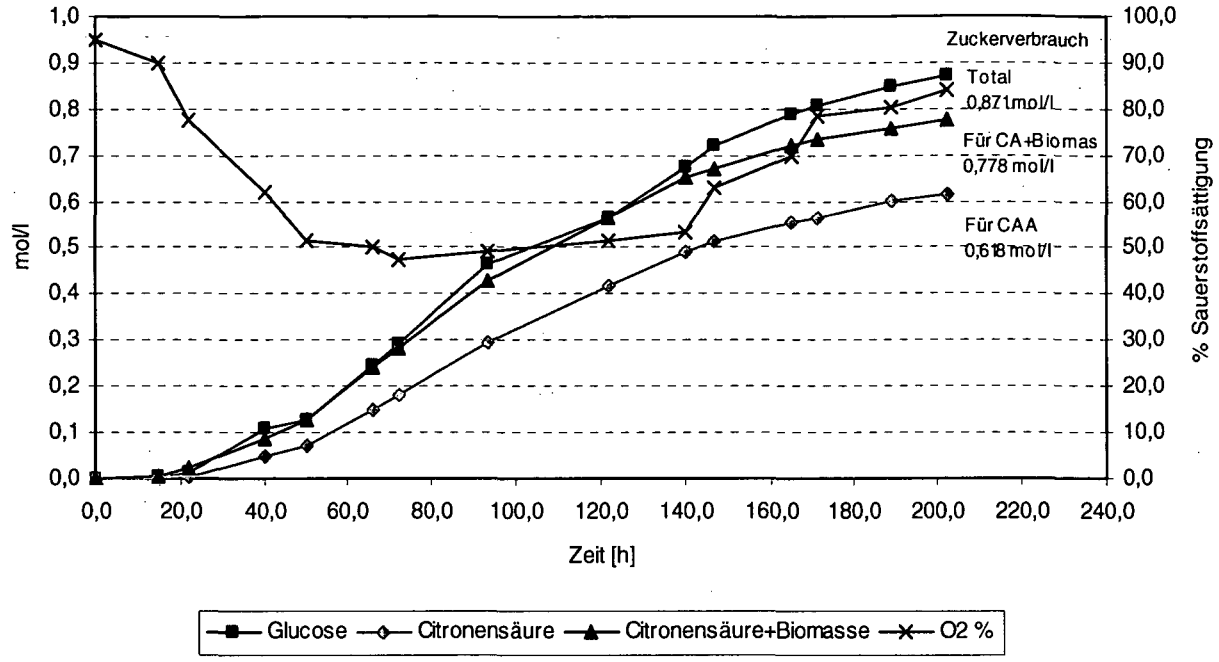
Diagramm 15.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.4 Fermentation Nr. 16

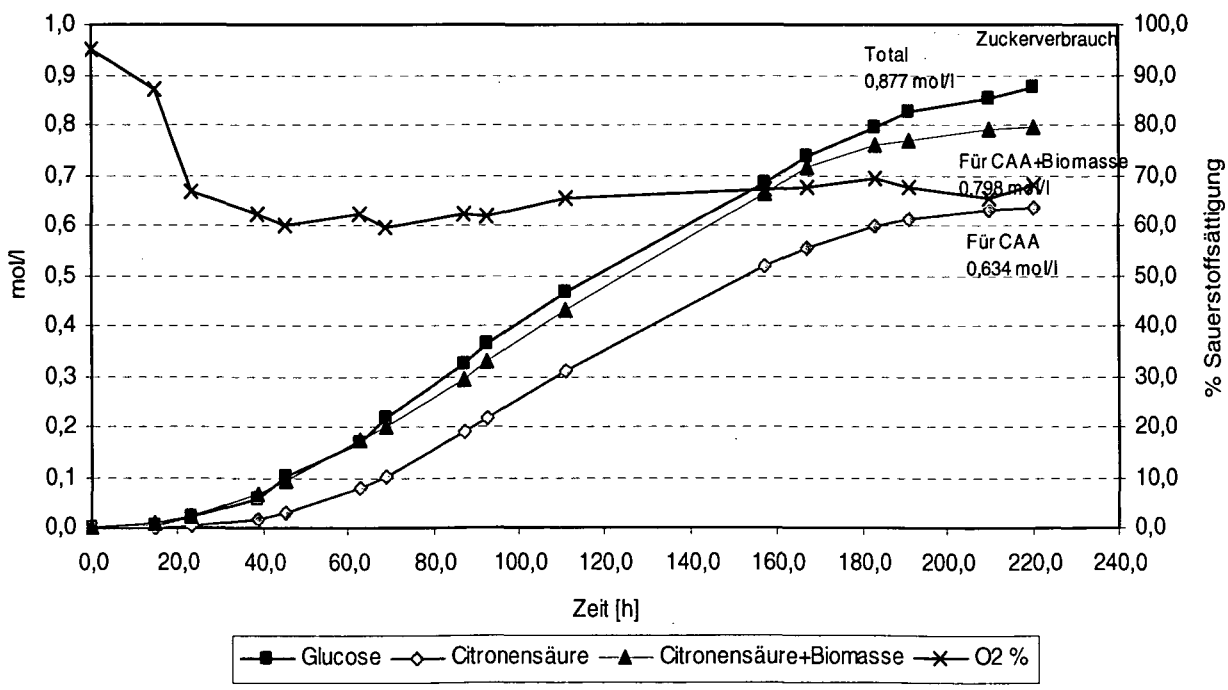
Es wurde mit einer Belüftungsrate von 1 vvm fermentiert. Die minimale Sauerstoffsättigung während der Fermentation lag bei ca. 50% . Dieser Versuch war vergleichbar mit den Fermentationen, die unter optimalen Bedingungen durchgeführt wurden. Zuckerverluste lagen mit 10% niedrig.

Diagramm 16.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.5 Fermentation Nr. 17

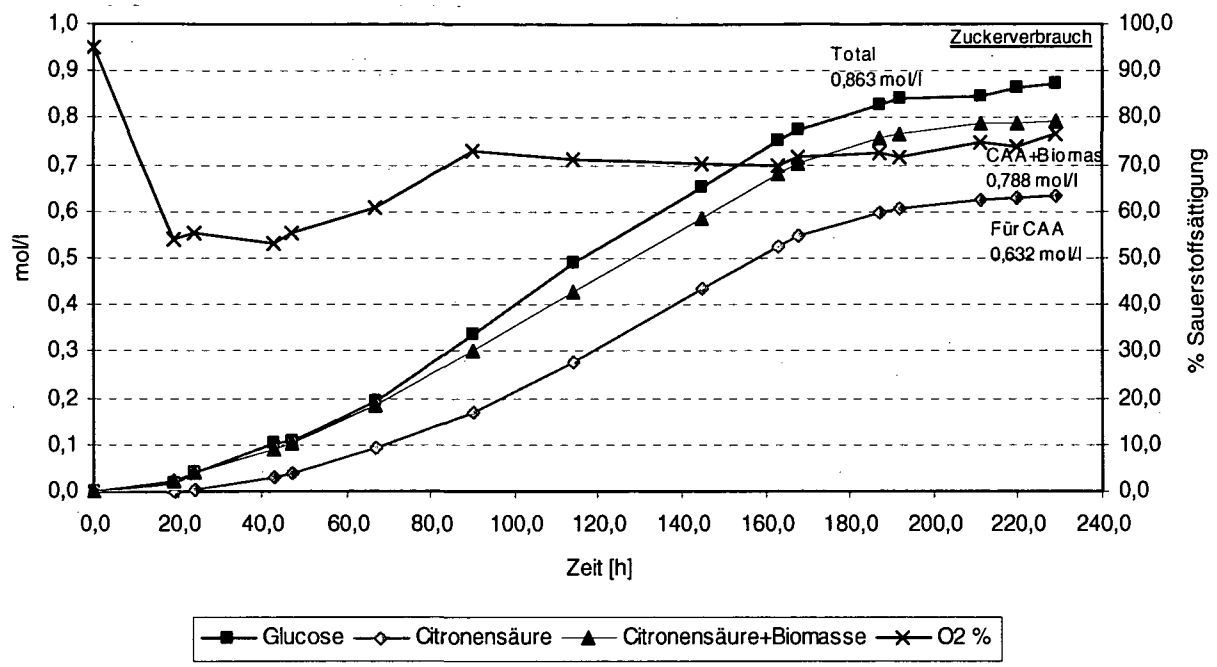
Diagramm 17.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.6 Fermentation Nr. 18

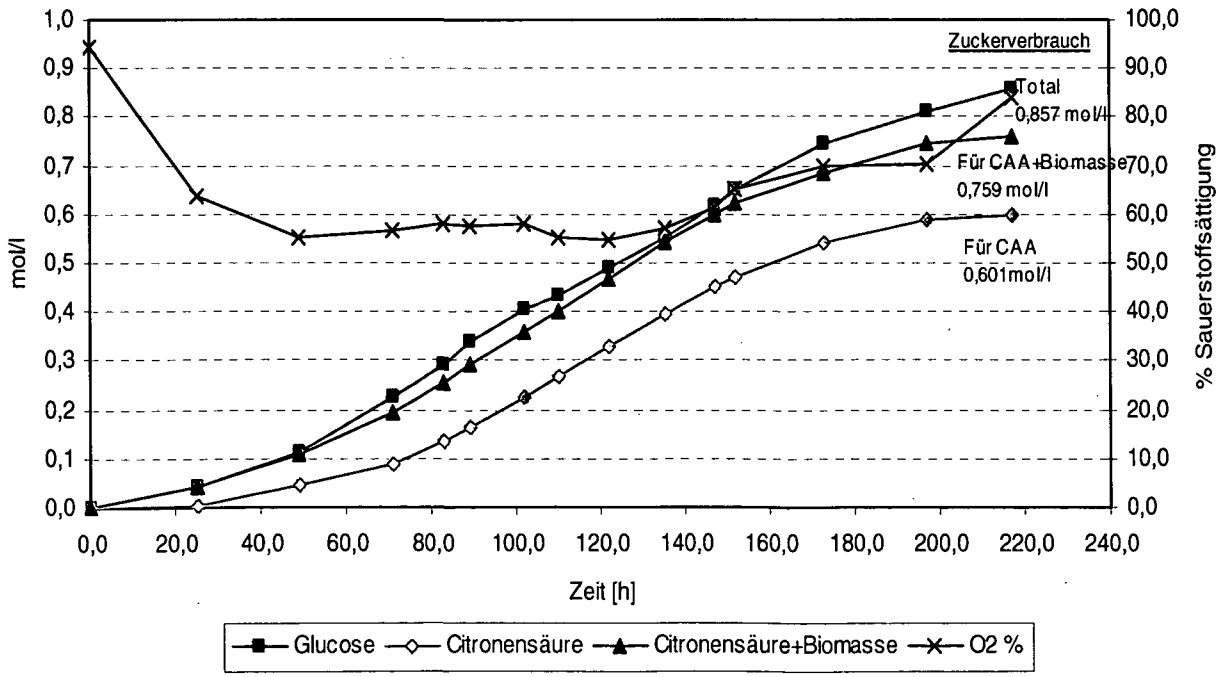
Es wurde mit einer Belüftungsrate von 0,7 vvm fermentiert. Die minimale Sauerstoffsättigung während der Fermentation lag bei ca. 50%. Dieser Versuch war vergleichbar mit den Fermentationen, die unter optimalen Bedingungen durchgeführt wurden. Die Zuckerverluste lagen mit 10% auch niedrig.

Diagramm 18.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.7 Fermentation Nr. 19

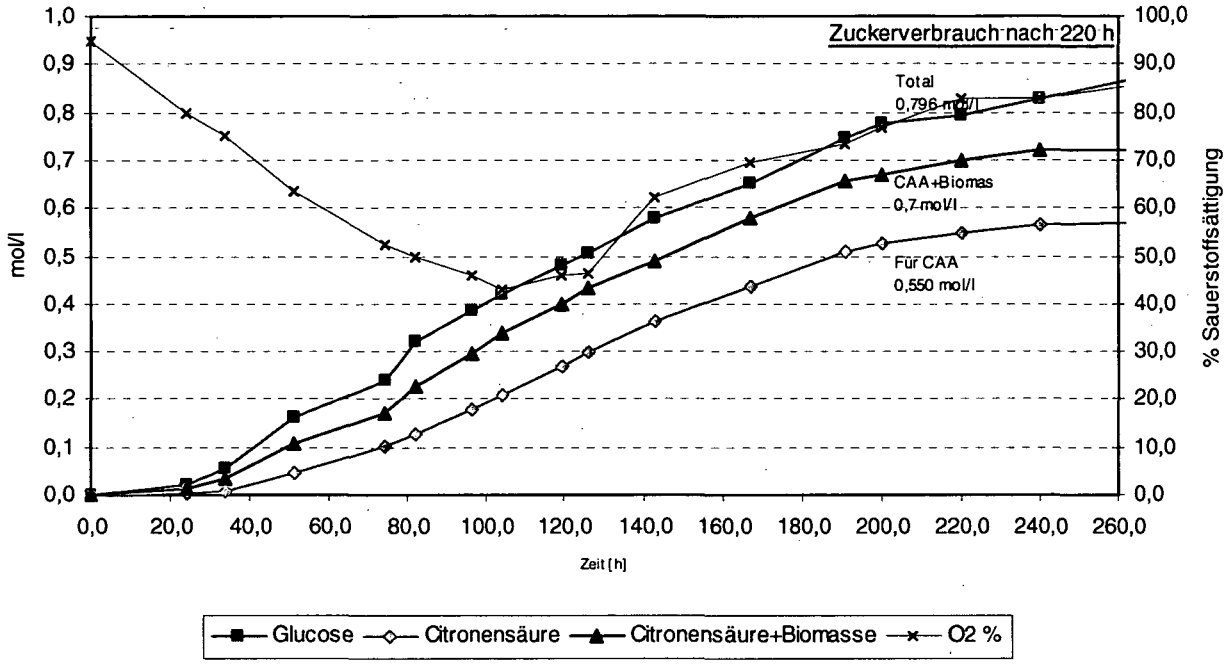
Diagramm 19.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.8 Fermentation Nr. 20

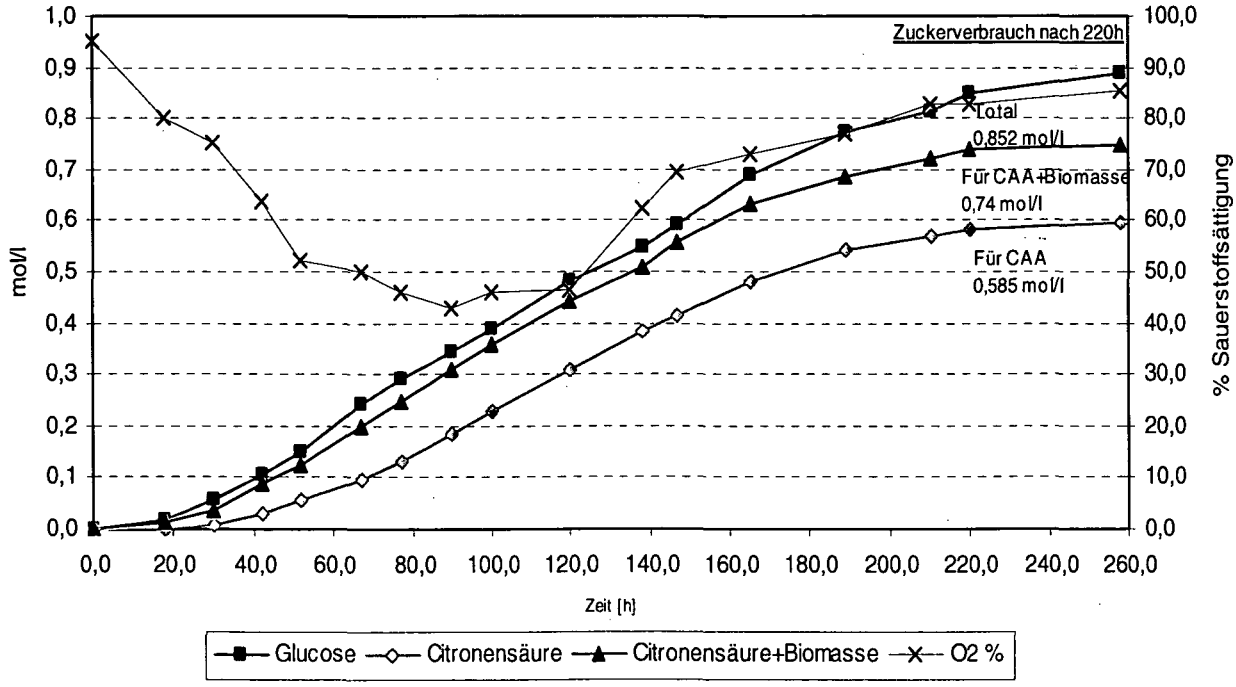
Es wurde mit einer Belüftungsrate von 0,3 vvm fermentiert. Sowohl die Ausbeute als auch die am niedrigsten gemessene Sauerstoffsättigung während der Fermentation war mit ca. 45% niedriger als vorhin beschriebene Versuche. Die Zuckerverluste waren mit ca. 17% höher als bei den vorhin beschriebenen Versuchen.

Diagramm 20.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.9 Fermentation Nr. 21

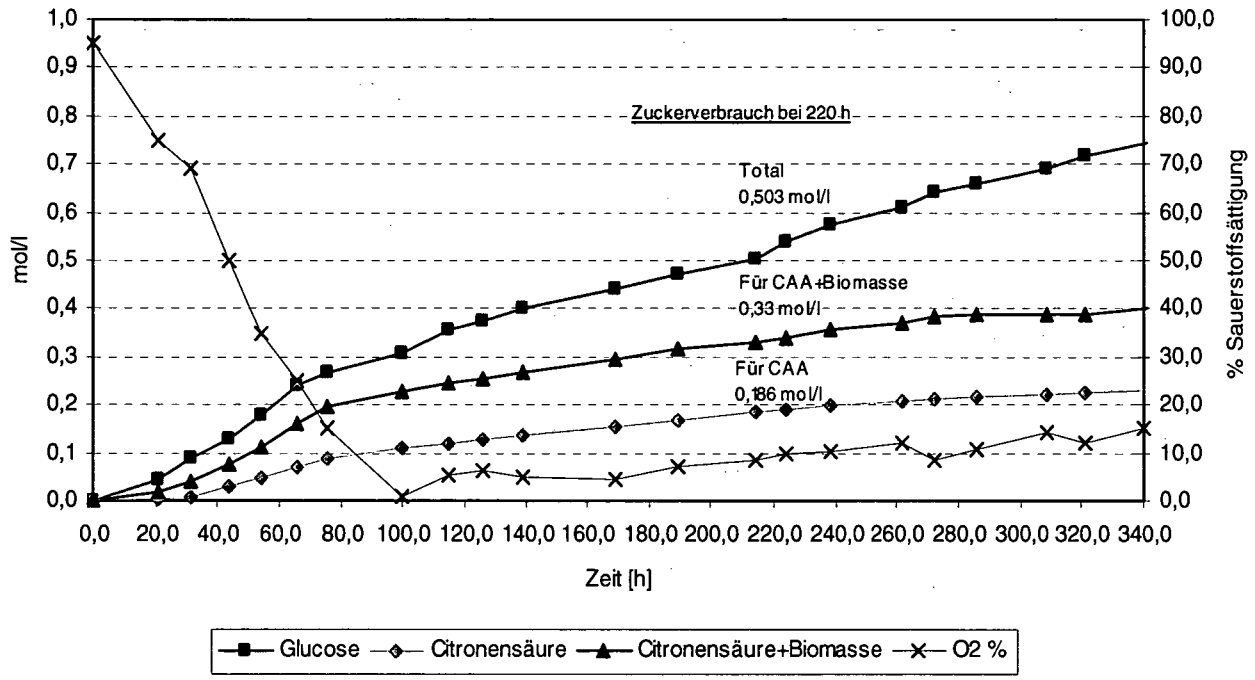
Diagramm 21.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.10 Fermentation Nr. 22

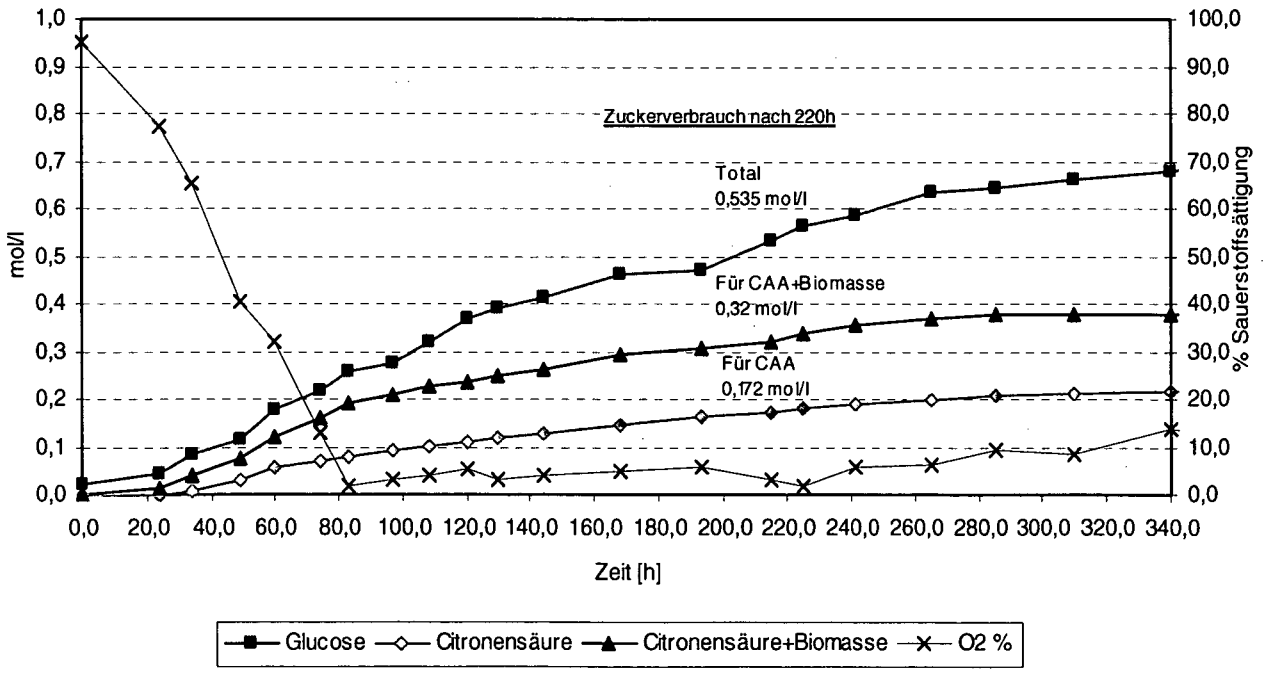
Es wurde mit einer Belüftungsrate von 0,1 vvm fermentiert. Sowohl die Ausbeute als auch die am niedrigsten gemessene Sauerstoffsättigung während der Fermentation war mit ca. 5% außerhalb der Genauigkeit der Messung . Die Zuckerverluste waren mit 35% weitaus höher als bei den vorhin beschriebenen Versuchen.

Diagramm 22.1, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :



3.2.1.11 Fermentation Nr. 23

Diagramm 23.2, Einfluss der Sauerstoffsättigung auf die Kohlenhydratverluste :

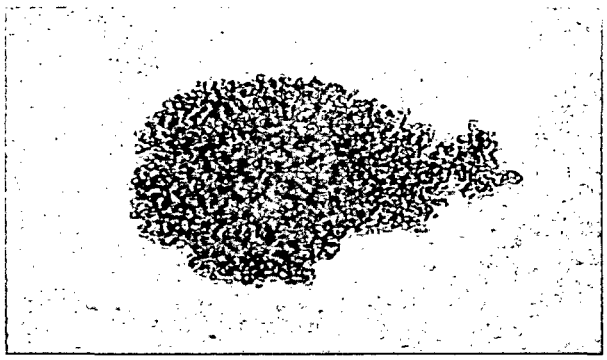


3.3 Morphologische Veränderungen bei Versuche mit variierter Sauerstoffkonzentration

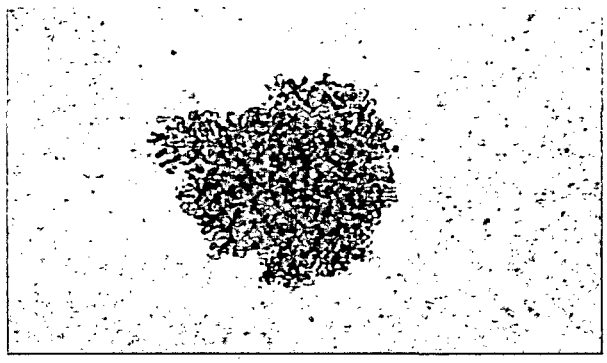
Wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen, bewirkt eine Verringerung des Sauerstoffangebotes deutliche morphologische Veränderungen des Mycels.

Dies äußert sich darin, dass bei extrem niedriger Belüftungsrate die Pellets extrem kompakt wurden.

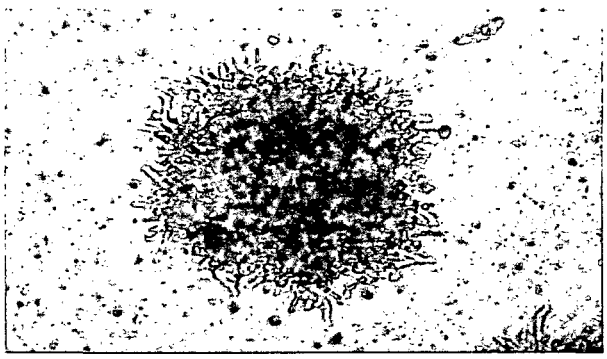
Nach 28 Stunden



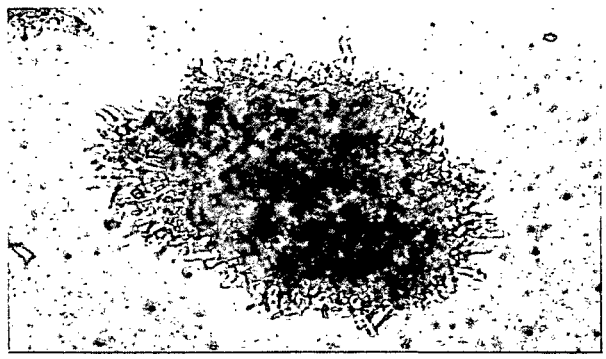
Nach 50 Stunden



Nach 100 Stunden



Nach 220 Stunden



IV. Diskussion

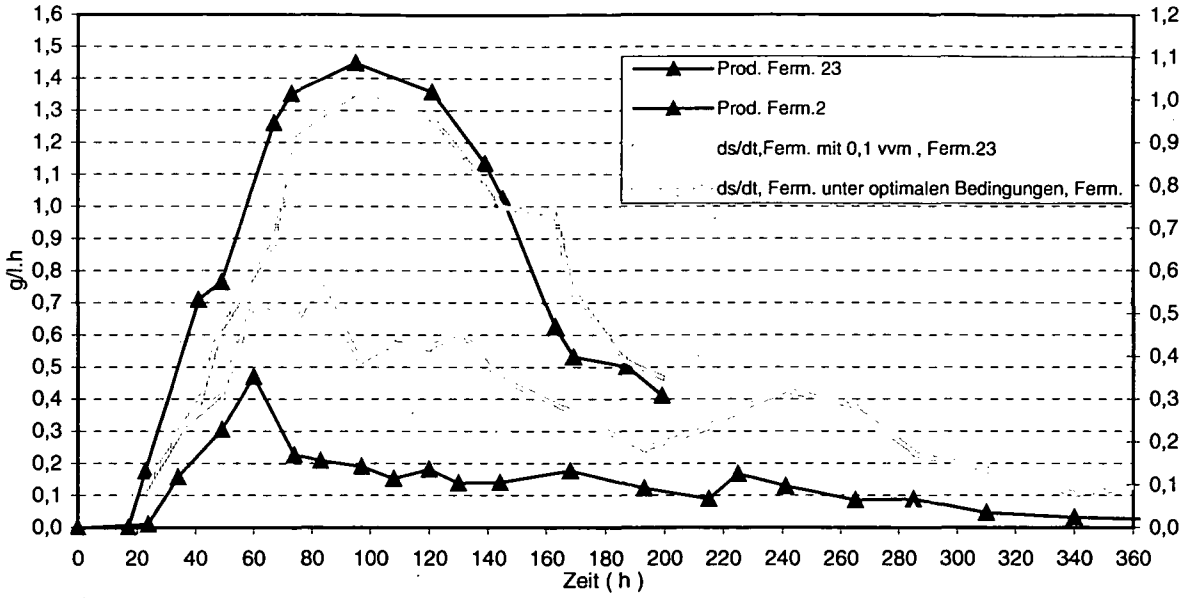
Der Einfluss der Temperatur auf Fermentationen ist bereits lange bekannt, Mykologen wissen, dass die meisten Pilze sich bei etwa 25°C wohler fühlen als über 30°C. Wie die hier dargelegten Versuche zeigen, wird diese Vorstellung deutlich bestätigt. Temperaturen über 30°C bedeuten hier eine deutliche Stresssituation, die der Pilz in der Weise bewältigt, dass er Citronensäure produziert. Im Gegensatz hierzu ist die für ein Pilz optimale Temperatur von etwa 25°C eine Bedingung, unter der der Pilz die ihm charakteristischen metabolischen Aktivitäten zeigt, nämlich Wachstum mit reichlicher Energieproduktion durch einen respiratorischen Stoffwechsel.

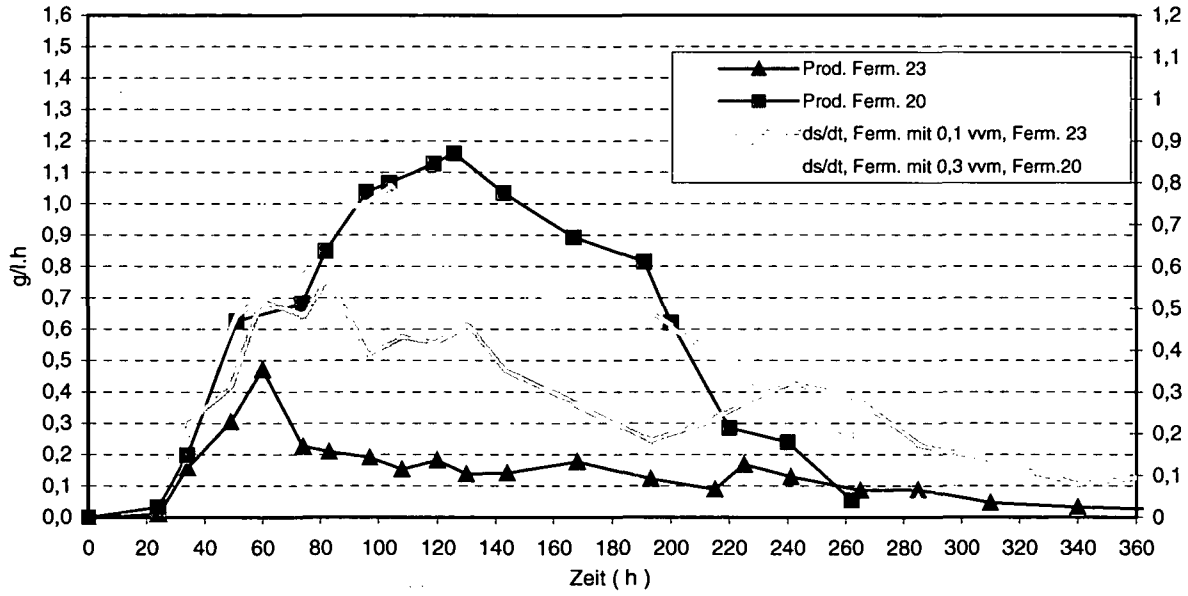
Umgekehrt kann man vermuten, oder entscheiden, dass eine Temperatur über 30°C eine Stresssituation entweder in Richtung Zuckerverwertung oder Atmung darstellt. Für diese Hypothese spricht einerseits die Tatsache, dass bei Absenkung der Temperatur von 32°C auf 26°C das System relativ schnell reagiert und eben Zucker veratmet, umgekehrt aber auch die Tatsache, dass das System, wenn es aus seiner optimalen Temperatur von etwa 26°C auf über 32°C gestellt wird, nicht in umgekehrte Weise reagiert.

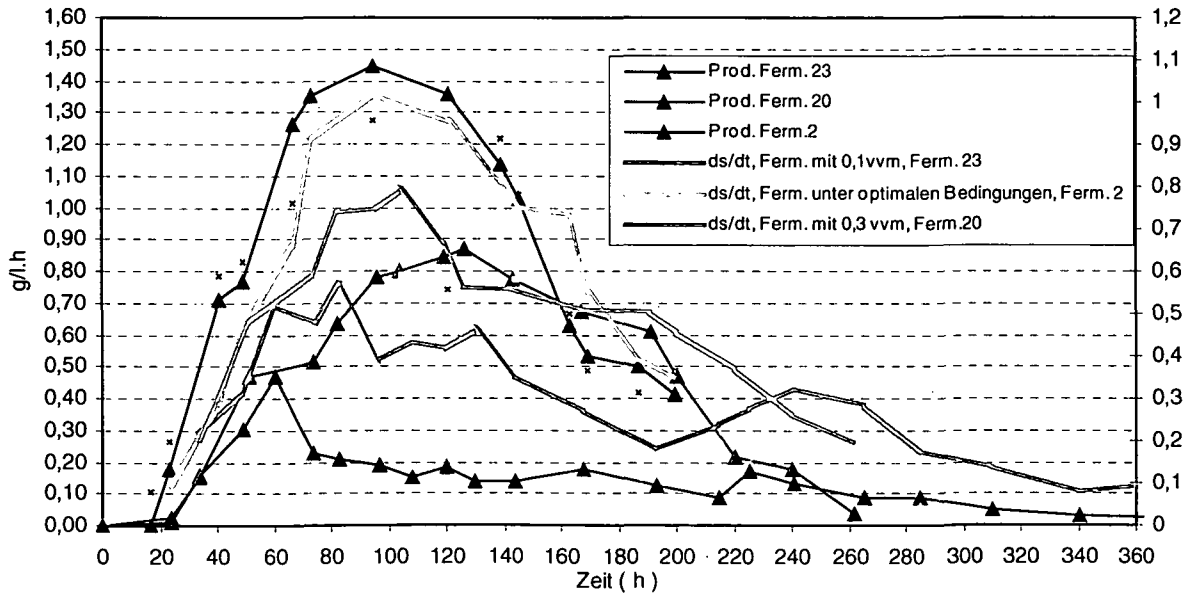
Eine ähnliche Stresssituation kann man erzeugen, wenn man die Sauerstoffkonzentration von einem Sättigungszustand ausgehend stark absenkt. Hier ist es so, dass ein deutliches Unterschreiten einer bestimmten Sauerstoffkonzentration für den Organismus limitierende Bedingungen erzeugt. Dies äußert sich in einer deutlich verlangsamten Zuckerumsetzung, wobei die Citronensäureproduktion nicht gänzlich zusammenbricht. Vielmehr ist eine mäßige Citronensäurebildung gegeben und es lässt sich beobachten, dass ein Teil des Zuckers unausgewiesen verloren geht, wahrscheinlich durch Veratmung.

Die vielfach geäußerte Frage nach einer "echten" Sauerstofflimitierung der einzelnen Vorgänge durch Unterschreiten einer kritischen Sauerstoffkonzentration lässt sich jedoch auch in dieser Arbeit nicht beantworten.

In den unten gezeigten Diagrammen sind die Unterschiede zwischen den drei Situationen deutlich ersichtlich.


Prod. Ferm. 23
Prod. Ferm.2
ds/dt,Ferm. mit 0,1 vvm , Ferm.23
ds/dt, Ferm. unter optimalen Bedingungen, Ferm.
g/l.h
Zeit (h)


Prod. Ferm. 23
Prod. Ferm. 20
ds/dt, Ferm. mit 0,1 vvm, Ferm. 23
ds/dt, Ferm. mit 0,3 vvm, Ferm.20
g/l.h
Zeit (h)


Prod. Ferm. 23
Prod. Ferm. 20
Prod. Ferm.2
ds/dt, Ferm. mit 0,1vvm, Ferm. 23
ds/dt, Ferm. unter optimalen Bedingungen, Ferm. 2
ds/dt, Ferm. mit 0,3 vvm, Ferm.20
g/l.h
Zeit (h)

V. Literaturverzeichnis

[1] MIRMINACHI, F., ZHANG, A., ROEHR, M.: Citric acid fermentation and heavy metal ions. Effects of iron, manganese and copper. Acta Biotechnol. **22** (2002), 363–373.

[2] ZHANG, A., ROEHR, M.: Citric acid fermentation and heavy metal ions. II. The action of elevated manganese ion concentrations. Acta Biotechnol. **22** (2002), 375–382.

[3] ZHANG, A., ROEHR, M.: Effects of varied phosphorus concentrations on citric acid fermentation by *Aspergillus niger*. Acta Biotechnol. **22** (2002), 3–4.

[4] MUTZALL, K.: Modellierung von Bioprozessen. Hamburg: Behr's Verlag, 1994, 243–250.

[5] ROEHR, M., KUBICEK, C. P., KOMINEK, J.: Citric Acid. In: Biotechnology, 2nd ed. (REHM, H.-J.REED, G., PÜHLER, A., STADLER, P., eds.). Vol. 6 (ROEHR, M., ed.). Weinheim: VCH, 1996, 307–345.

[6] ROEHR, M.: A century of citric acid fermentation and research. Food Technol. Biotechnol.36 (1998), 163–171.

[7] Kubicek, C.P., Zehentgruber, O., El-Kalak, H., Roehr, M. (1980), Regulation of citric acid production by oxygen: effect of dissolved oxygen tension on adenylate levels and respiration in Aspergillus niger, Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 9, 101 - 116.

[8] Kubicek, C.P. Roehr, M. (1986), Citric Acid Fermentation, CRC Crit. Rev. Biotechnol. 3, 331 - 373.

[9] M.W. Dawson, J. S. Maddox, J. D. Brooks, Biotechnol. Bioeng. 33 (1989) 1500

VI. Anhang

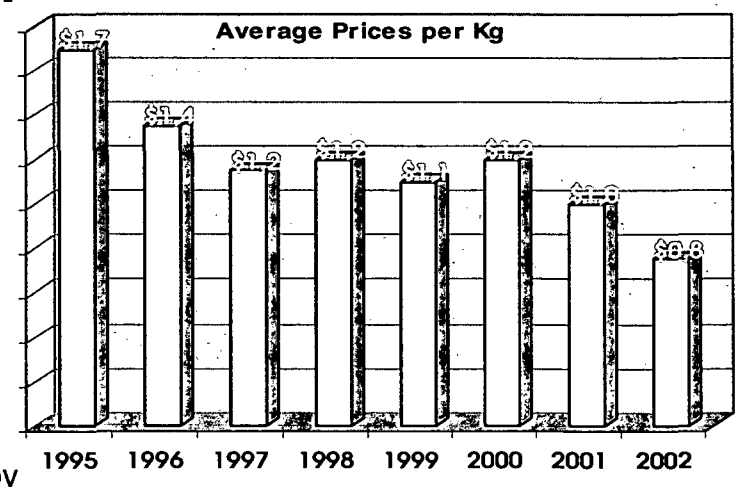
6.01 General information of citric acid world market

World annual consumption of citric acid is estimated to be around 1 million tons(300 thousand MT of which is said to be consumed in Europe completely and nearly the same quantity in the USA) with increasing trend 3 % per year approx. This offers a very good opportunity for stable sales of this commodity in future, with long term prospects.

The annual trend of citric acid consumption growth world-wide during nineties of 20th century was estimated at 4 – 5 %, with slightly lower increase in the economically most advanced countries (Western Europe, America), while expansion of citric acid application due to the conditions of rapidly expanding economies and industries in Asia and Eastern Europe was much more aggressive (even topping 10 – 20% per year).

Slower growth of consumption (1-2%) can be observed at the beginning of the 3rd millennium, due to general recession of world economy.

In nineties, prices of citric acid in the market were relatively stable and they even increased in the conditions of economical conjuncture in the years 1997 – 2000, also thanks to the fact, that construction of new facilities lagged behind the average growth of consumption within the time range 1990 - 1998.



Uncontrolled capacity expansions and erections of new facilities worldwide in the end of 2nd millennium (Canada, USA, Brazil, China) resulted into redundant capacity and saturation in the market , commencing year 2001. Consequently, prices have fallen even by some 40% in average in the course of latest 5 years.

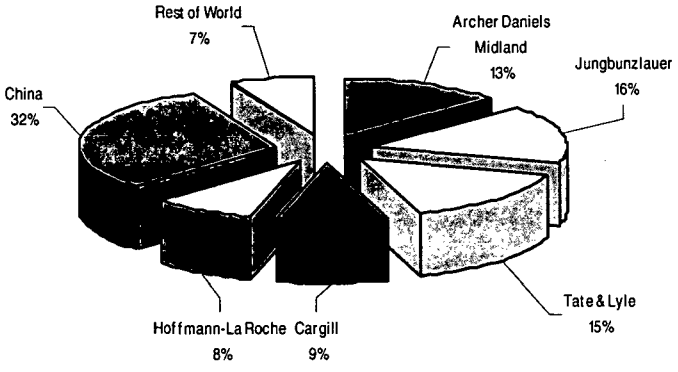
6.02 Market analysis , situation

World market is essentially ruled by several dominant manufacturers :

Swiss company Jungbunzlauer AG with two large facilities in Pernhofen / Austria and Port Colborne / Canada, reaching together more than 200 thousand MT of annual capacity, followed by Chinese BBCA, Tate & Lyle, having plants in USA, Great Britain, Mexico, Brazil and Columbia , ADM (Archer Daniels Midland) with the production in USA and Ireland , Cargill in USA and Citrique Belge in Tienen Belgium (owned by Dutch DSM from 2002) – each of these manufacturers having a possibility to produce over 100.000 MT citric acid per year. There are several middle size producers world-wide, with capacities 15 – 40 thousand MT, especially in rapidly growing citric acid manufacture in China. Middle East production is represented by Gadot in Israel and Central Europe by Aktiva, a.s.

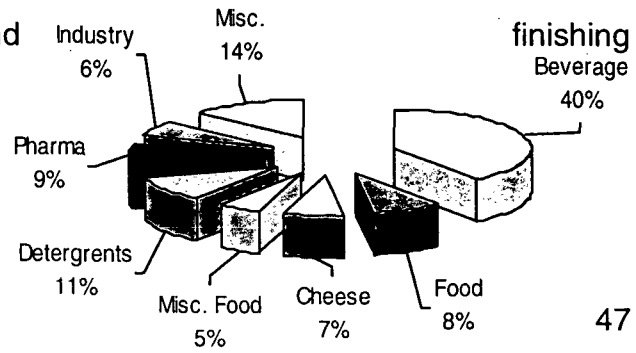
In general, China and five major Western players dominate this industry.

6.03 Major Global Citric Acid Producer



6.04 Applications

The main centre of demand is the food industry, especially for the production of non-alcoholic sparkling and non-sparkling beverages, and the proportion of application branches is roughly 70% food industry, 20% detergents and 10% other uses (such as pharmacy, cosmetics, metal cleaning and finishing etc).



6.05 Dokumentation der einzelne Versuche

6.05.1 Versuch 1

Tabelle 1.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 1									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	h	g / L	g / L	g / l.h	g / lx10		%	%	%	°C		
1	0	148.6	0.0	0.00	0.00	3.34	95.5	0.00	0.00	29.5	Sporen	$1{,}9.10^6$
2	22.0	142.2	0.0	0.00	0.36	2.33	80.0	0.00	0.00	32.5		2ml Antischaum
3	29.0	138.4	0.3	0.04	0.36	1.87	65.6	0.20	2.83	33		
4	49.5	124.2	13.1	0.62	0.45	1.63	62.1	8.81	53.64	31		2ml Fe-Lsg.
5	59.0	113.2	22.1	0.95	0.50	2.01	61.2	14.87	62.39	32		(4µg)
6	67.0	107.5	33.4	1.41	0.63	1.94	58.1	22.47	81.23	31		Gesamtvolumen : 900 ml
7	75.5	94.9	45.1	1.38	0.76	1.98	43.6	30.35	83.95	29	Luft	6 l/min
8	95.5	65.6	72.3	1.36	0.92	1.65	68.7	48.65	87.09	31	Fe	10 µg / L
9	107.0	51.4	87.0	1.28	1.08	1.74	69.5	58.54	89.49	31	Mn	0,28 µg / L
10	128.0	29.1	110.1	1.10	1.12	1.75	69.4	74.08	92.12	31		
11	149.5	10.0	123.5	0.62	1.13	1.80	81.4	83.10	89.09	31		
12	167.0	0.2	129.8	0.36	1.14	1.86	79.3	87.30	87.42	31		

Diagramm 1.1, Allgemeine Daten:

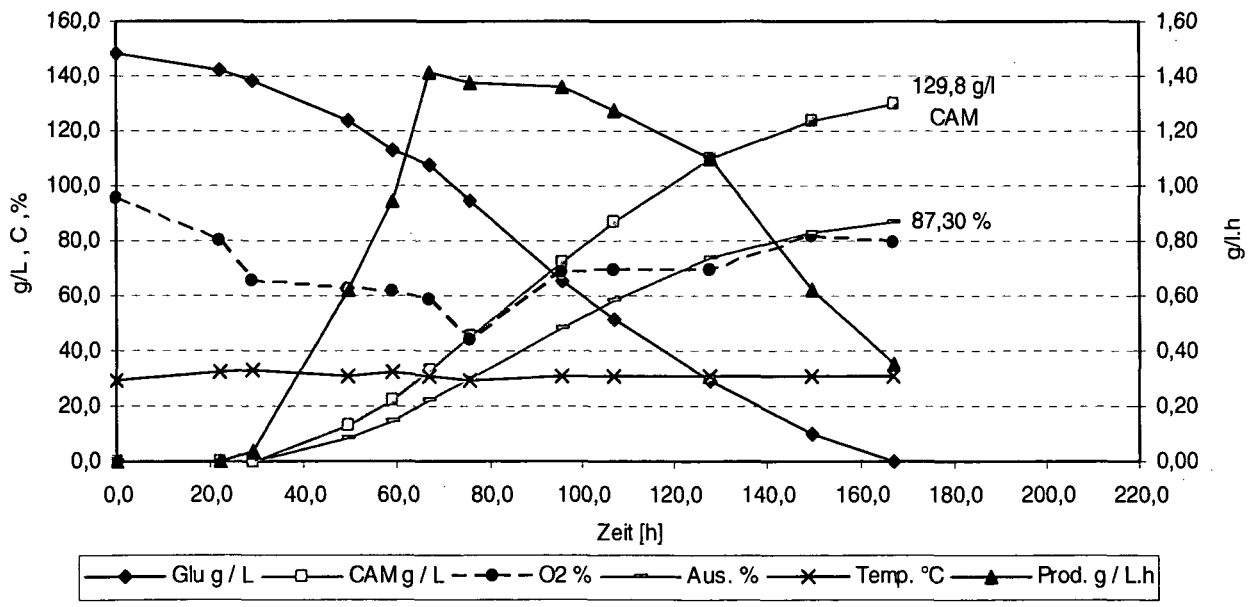


Diagramm 1.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

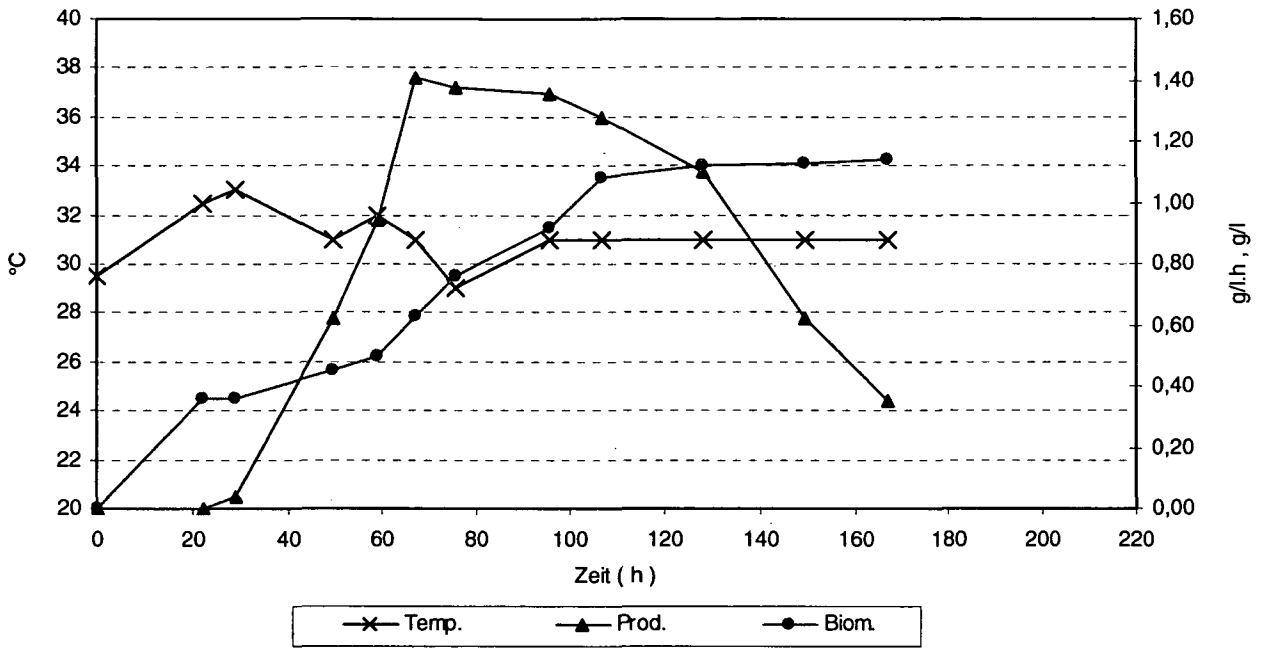
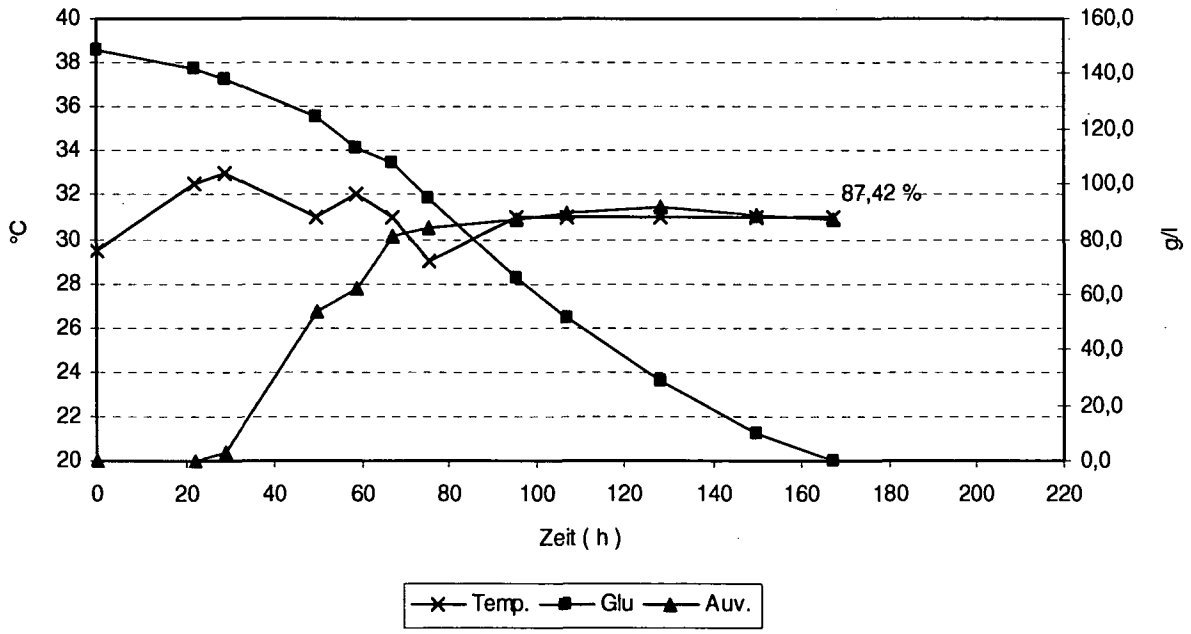


Diagramm 1.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.2 Versuch 2

Tabelle 2.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 18									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
0	0	157,3	0,0	0,00	0,00	3,25	95	0,00	0,00	32	Sporen	5.10^6
1	17,0	155,5	0,0	0,00	0,03		93,0	0,00	0,00	32		3,4 g Antischaum
2	23,0	153,9	0,8	0,13	0,11	2,48	79,1	0,51	23,53	32,2		(20µg) Fe zugesetzt
3	41,0	139,7	10,4	0,53	0,30	1,60	66,1	6,61	59,06	32,3		Gesamtvolumen : 900 ml
4	49,0	133,0	15,0	0,58	0,37	1,79	53,0	9,54	61,78	32,2	Luft	6 l/min
5	67,0	114,8	32,0	0,95	0,66	1,73	51,1	20,36	75,33	32,2	Fe	25 µg / L
6	73,0	104,0	38,1	1,02	0,72	2,02	49,6	24,23	71,55	32	Mn	0,29 µg / L
7	95	75,9	62,0	1,09	0,90	1,70	52,5	39,43	76,20	32,3		
8	121,0	56,6	88,6	1,02	1,00	1,81	51,6	56,29	87,92	32,1		
9	139,0	34,6	103,9	0,85	1,15	1,8	59,5	66,05	84,67	32,4		
10	145,0	28,4	108,5	0,77	1,13	1,97	68,9	68,99	84,16	31,9		
11	163,0	16,4	117,0	0,47	1,18	2,06	72,8	74,38	83,02	31,6		
12	169,0	13,5	119,4	0,40	1,21	1,84	79,2	75,91	83,00	32,1		
13	187,0	5,9	126,2	0,38	1,14	1,80	82,6	80,23	83,36	31,4		
14	199,0	0,0	129,9	0,31	1,11	1,79	89,2	82,59	82,59	32,3		

Diagramm 2.1, Allgemeine Daten:

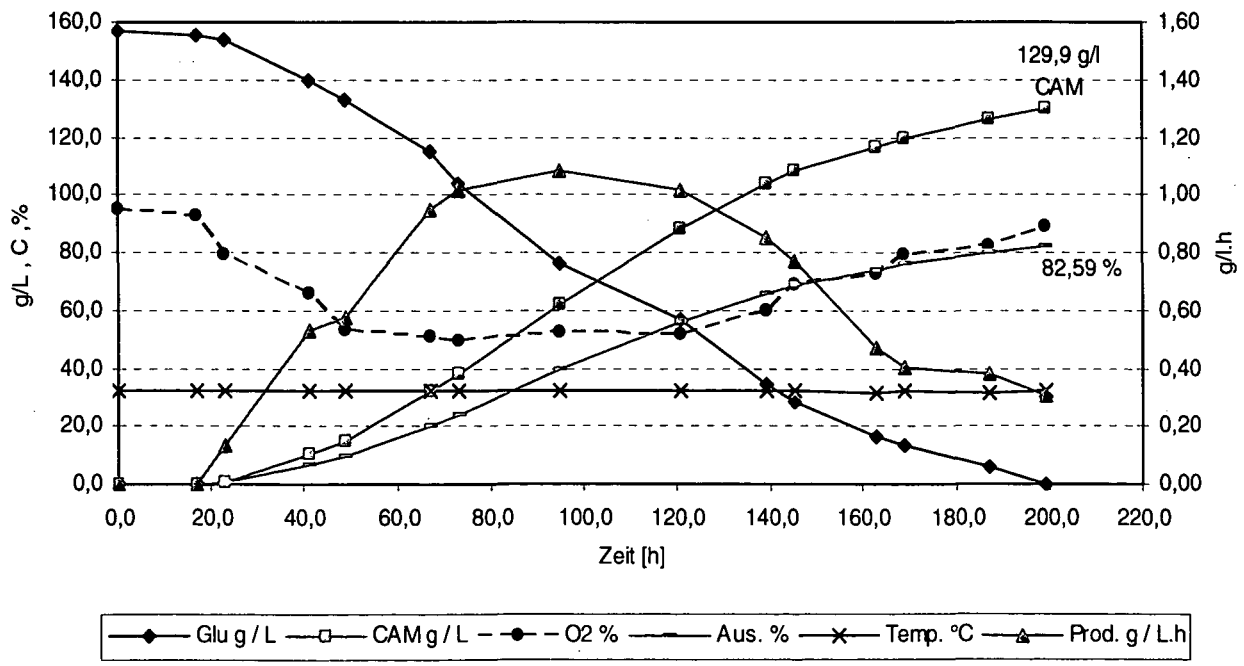


Diagramm 2.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

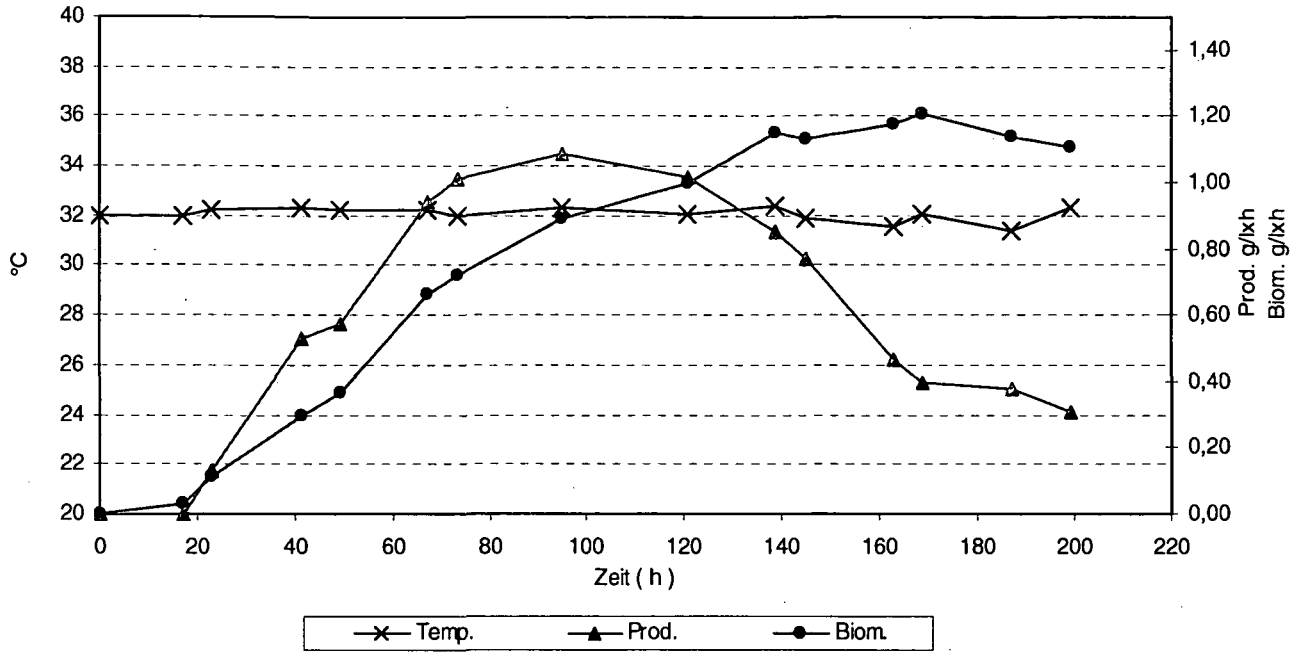
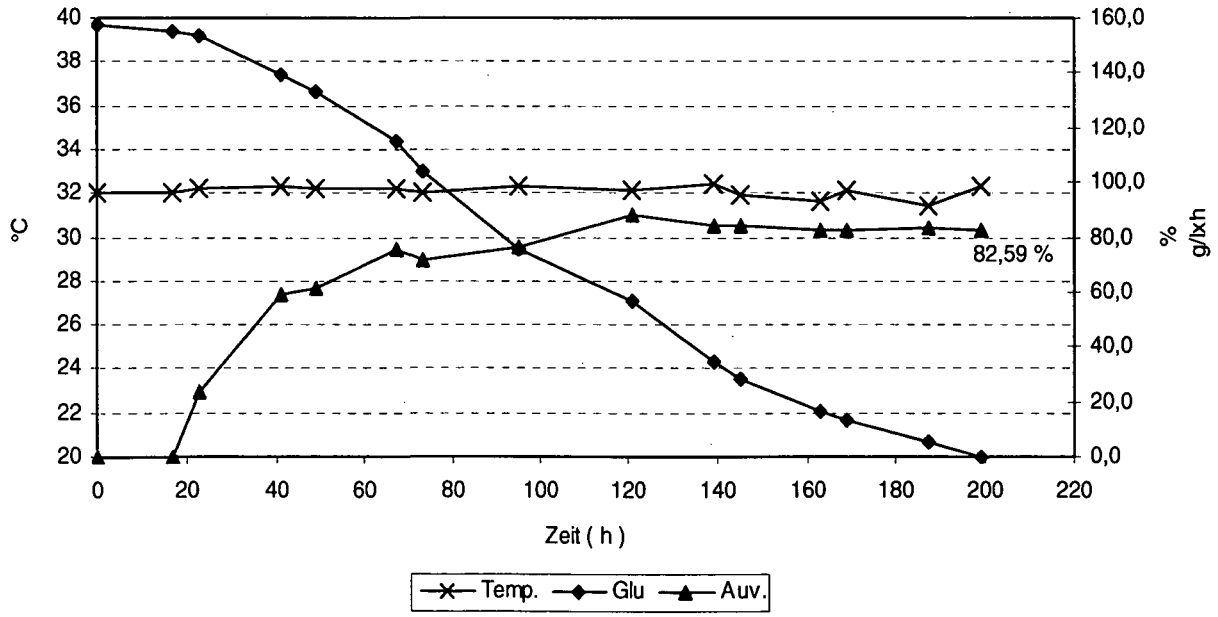


Diagramm 2.3 : Einfluss von Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.3 Versuch 3

Tabelle 3.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 3									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkung**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g /l.h**	**g/l.10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
1	0,0	140,6	0,0	0,00	0,00		95,0	0,00	0,00	30	Sporen	4,1.106
2	0,0	140,6	0,0	0,00	0,00	3,20	95	0,00	0,00	30		3,0 g Antischaum
3	14,0	134,7	0,0	0,00	0,05		92	0,00	0,00	30		20 ppb Eisenzugabe
4	16,0	134,8	0,0	0,00	0,09	2,78	88,6	0,00	0,00	28		Gesamtvolumen : 900
5	17,0	132,0	0,0	0,00	0,10		87,8	0,00	0,00	27,5	Luft	6 l/min
6	18,0	129,0	0,0	0,00	0,15		84	0,00	0,00	27	Fe	53,8 µg / L
7	22	123,8	0,0	0,00	0,17	2,35	82,1	0,00	0,00	27,5	Mn	0,54 µg / L
8	38,0	109,2	1,6	0,10	0,45	1,81	76,1	1,14	5,09	28,5		
13	46,0	105,1	4,5	0,36	0,59	1,98	75,9	3,20	12,66	28		
15	65,0	87,0	12,3	0,41	0,66	1,92	76,1	8,75	22,93	28,5		
16	71,0	79,3	14,1	0,30	0,67	1,84	76,1	10,03	22,98	28		
17	87,0	73,5	22,1	0,50	0,81	2,01	76,6	15,72	32,95	28,0		
18	113,0	57,3	33,0	0,42	0,83	1,81	78,5	23,47	39,62	28,0		
19	134,0	42,3	42,3	0,44	0,89	2,07	79,4	30,10	43,04	28,0		
21	164,0	35,6	48,8	0,21	0,88	1,95	78,5	34,68	46,43	27,5		
22	188,0	30,1	52,0	0,14	1,06		78,9	36,98	47,04	28,0		

Diagramm 3.1, Allgemeine Daten:

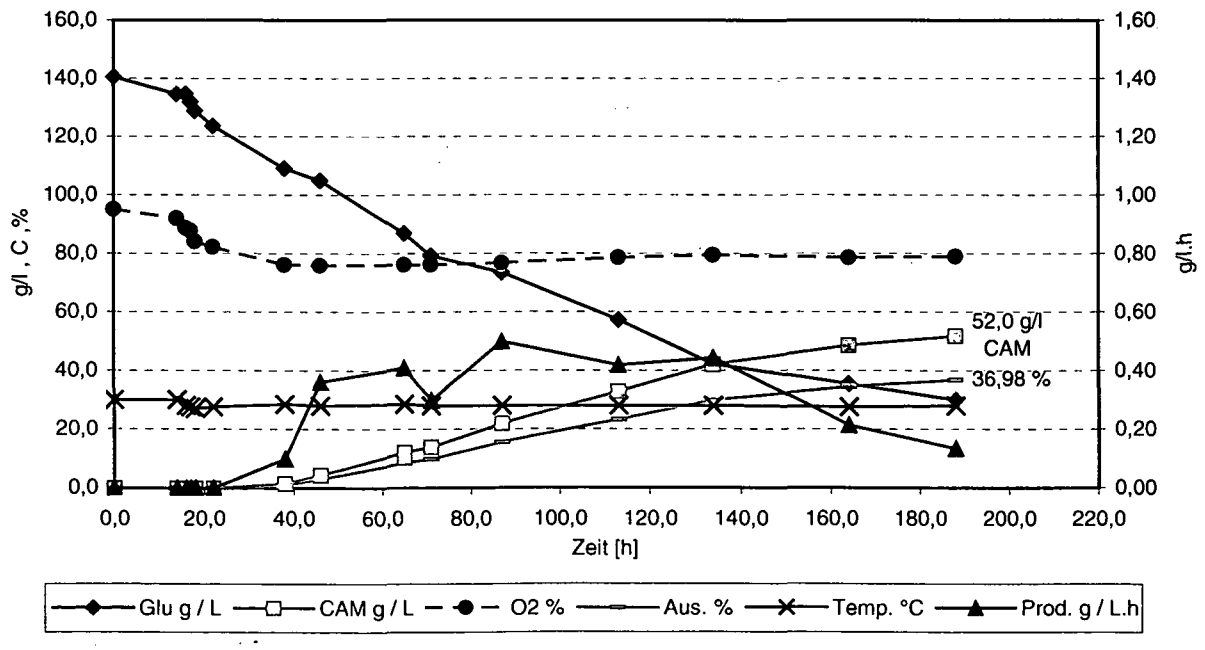


Diagramm 3.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

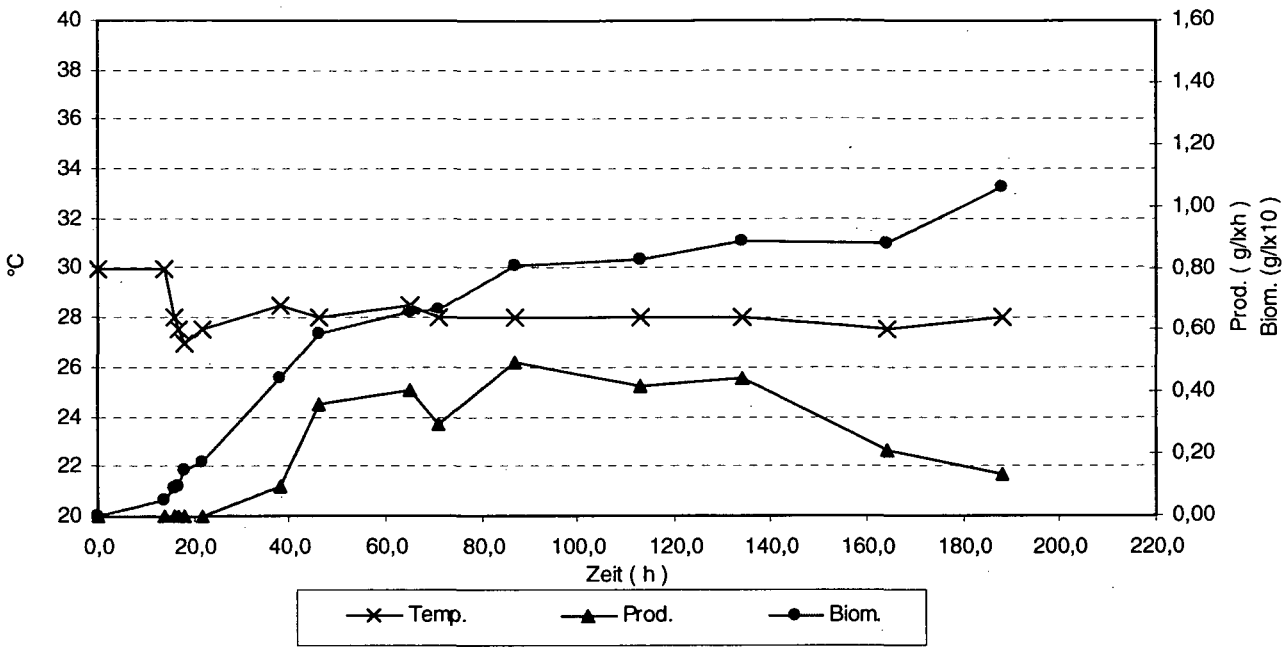
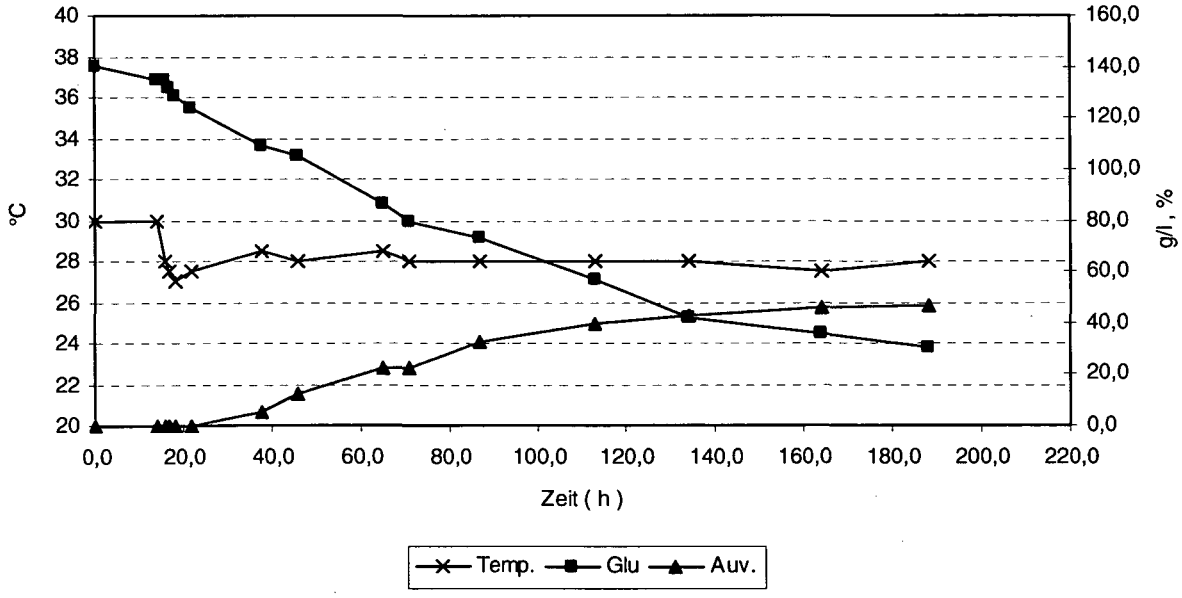


Diagramm 3.3 : Einfluss von Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.4 Versuch 4

Tabelle 4.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 4									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkung	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
1	0,0	142,2	0,0	0,00	0,00	3,32	95	0,00	0,00	26,4	Sporen	4,1.10^9 Sporen/l
2	2,0	136,3	0,0	0,00	0,00	3,32	95	0,00	0,00	26,5		3,0 g Antischaum
3	12,0	134,1	0,0	0,00	0,05	3,20	92,3	0,00	0,00	27		30 ppb Eisenzugabe
4	15,0	134,0	0,0	0,00	0,17	3,15	91,5	0,00	0,00	28,2		Gesamtvolumen : 900 ml
5	20,0	129,0	0,0	0,00	0,23	2,80	89,8	0,00	0,00	28	Luft	6 l/min
6	38	122,8	0,1	0,00	0,33	2,16	82	0,04	0,26	27,2	Fe	16 µg / L
7	45,0	123,1	0,5	0,06	0,40	2,13	80,1	0,37	2,62	28	Mn	0,23 µg / L
8	60,0	114,7	1,0	0,03	0,49	1,94	76	0,73	3,63	28		
9	66,5	112,2	1,3	0,04	0,51	1,99	71,3	0,92	4,17	28		
10	91,5	100,1	14,1	0,51	0,69	1,85	70,8	10,34	33,49	28		
11	116,5	85,0	24,5	0,42	0,73	2,10	75,9	17,98	42,83	28,2		
12	130,5	77,0	30,5	0,43	0,80	1,98	75,6	22,38	46,78	27,7		
13	138,0	72,3	33,0	0,33	0,90	1,93	75,1	24,21	47,21	28,0		
14	168,5	57,5	43,6	0,35	0,95	1,94	75,9	31,99	51,48	28,0		
15	179,0	53,1	46,9	0,31	0,87	1,91	76,2	34,41	52,64	28,0		
16	212,0	50,1	49,3	0,07	0,89	1,84	76,5	36,17	53,53	28,0		
17	228,0	47,2	51,2	0,12	0,92	2,13	56,7	37,56	53,90	27,8		
18	237,0	43,2	52,8	0,18	0,99	2,01	74,7	38,74	53,33	28,0		
19	254,0	40,2	53,9	0,06	1,07	2,01	74,1	39,55	52,84	28,2		
20	258,5	37,2	54,7	0,18	1,09	2,01	74,4	40,13	52,10	28,0		
21	275,0	36,1	55,4	0,04	1,10	1,97	77,9	40,65	52,21	28,0		
22	280,0	33,1	55,9	0,10	1,10	1,95	78,9	41,01	51,24	28,0		

Diagramm 4.1, Allgemeine Daten:

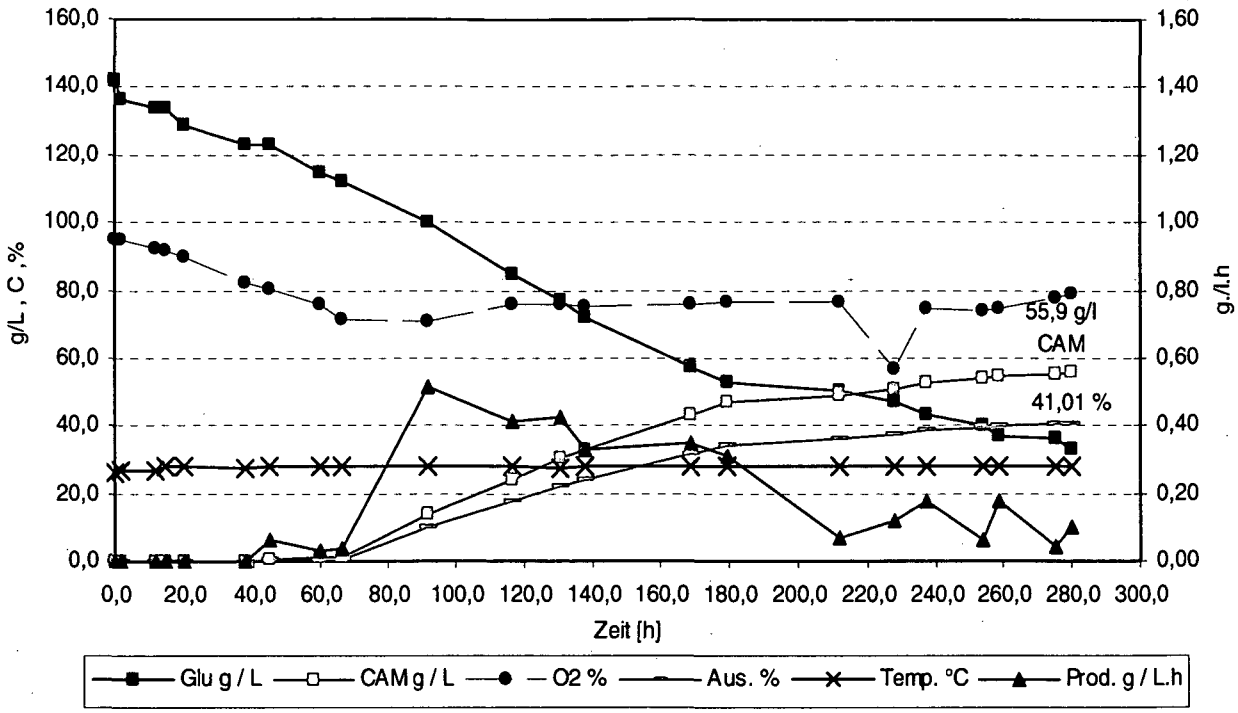


Diagramm 4.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

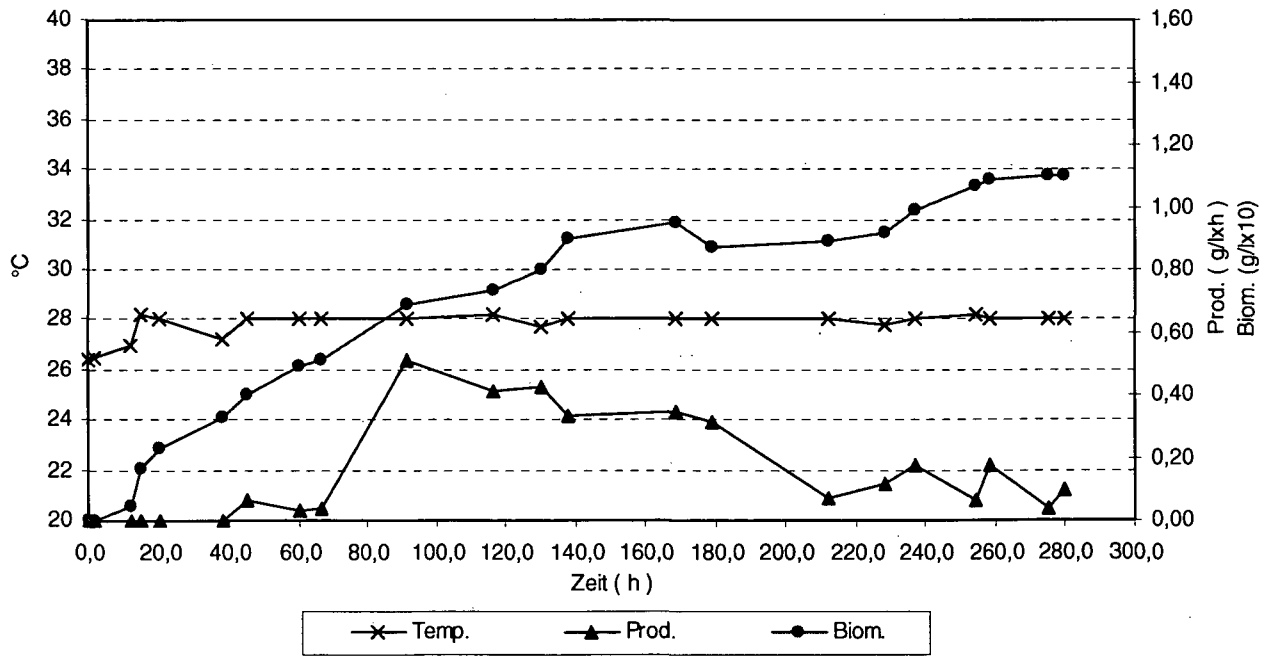
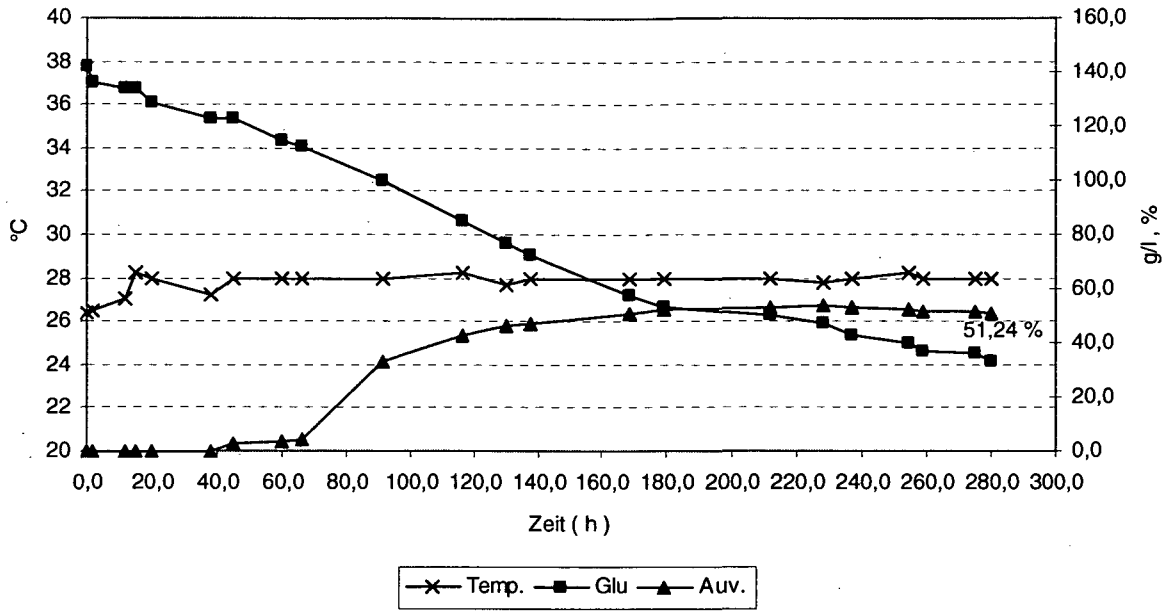


Diagramm 4.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.5 Versuch 5

Tabelle 5.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 5									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkung	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
1	0,0	154,0	0,0	0,00	0,00	3,25	95,5	0,00	0,00	30,1	Sporen	$4,1.10^6$
2	17,0	148,1	0,0	0,00	0,32		82	0,00	0,00	30,9		2,5 g Antischaum
3	23,0	148,6	1,5	0,25	0,36	2,10	67,8	0,97	27,83	30,9		20 ppb Eisenzugabe
4	41,0	138,2	9,5	0,44	0,39	1,63	54,3	6,17	60,16	31,1		
5	47,0	133,2	13,5	0,67	0,47		53,6	8,77	64,94	31	Luft	6 l/min
6	65,0	117,2	27,0	0,75	0,56	2,20	54	17,53	73,39	32,1	Fe	40,2 µg / L
7	71,0	107,9	32,4	0,90	0,73	2,12	53,9	21,04	70,30	31,9	Mn	0,67 µg / L
8	96,0	85,9	55,8	0,94	0,82	2,18	56,1	36,24	81,95	31,3		
9	121,0	52,7	80,3	0,98	0,98	1,97	55	52,15	79,28	31,5		
10	130,0	41,6	89,8	1,06	1,01		56,2	58,32	79,90	31,1		
11	137,0	35,1	94,3	0,88	1,15	2,00	69,5	61,24	79,32	28,2		
12	143,0	24,3	97,9	0,60	1,18		71,8	63,58	75,49	28,3		
13	162,0	12,0	106,4	0,45	1,28	1,86	69,5	69,10	74,93	28,5		
14	168,0	8,3	108,0	0,27	1,29		75,7	70,13	74,13	27,9		
15	192,0	0,0	109,0	0,04	1,28		79,4	70,78	70,78	28,2		

Diagramm 5.1, Allgemeine Daten:

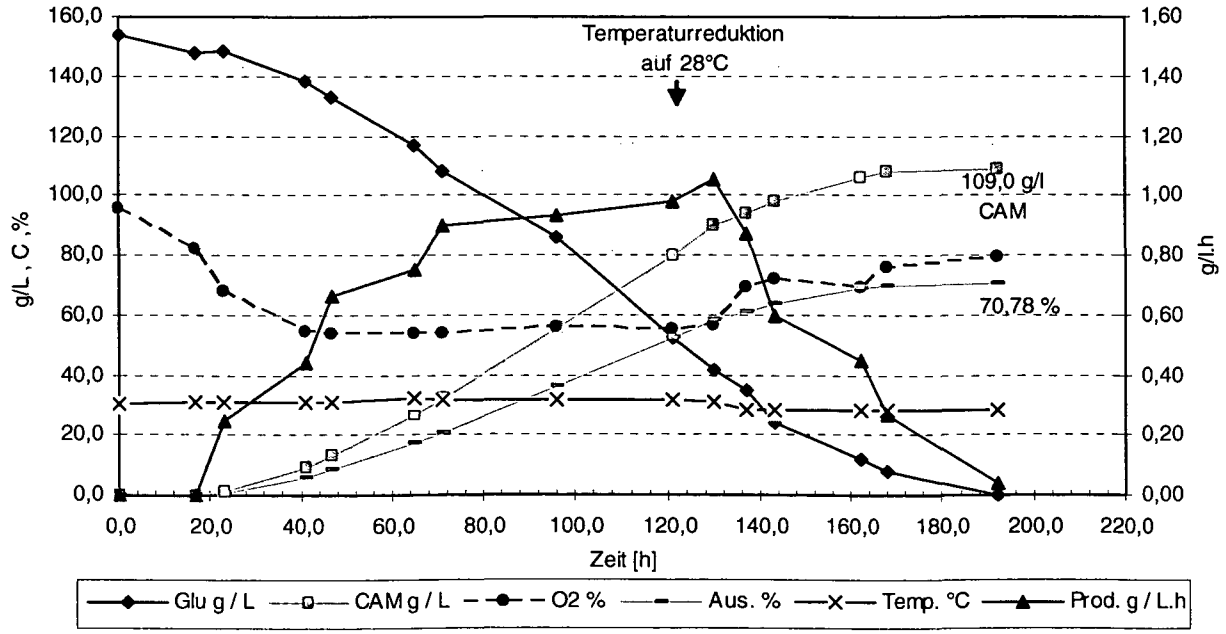


Diagramm 5.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

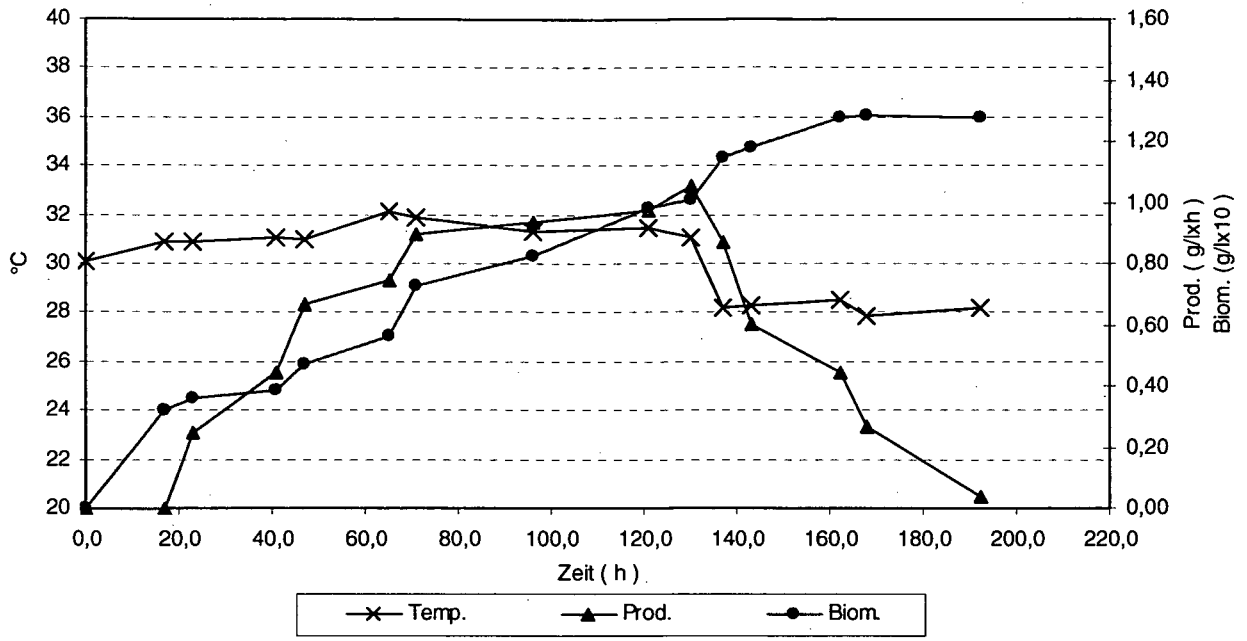
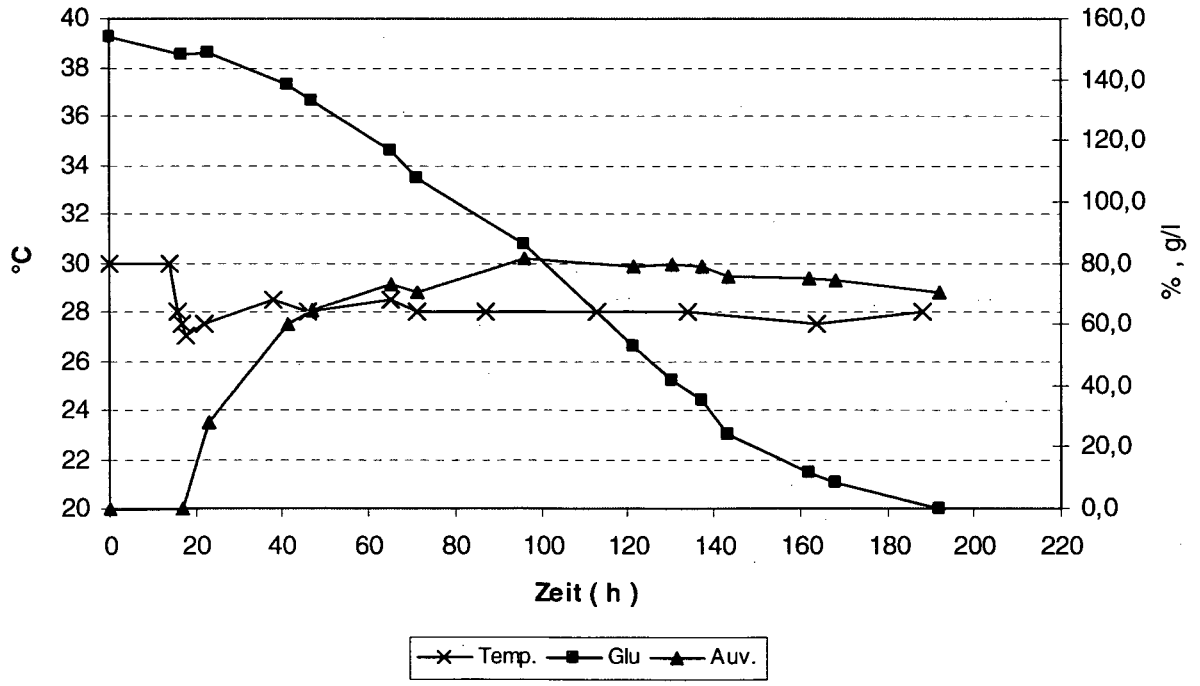


Diagramm 5.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.6 Versuch 6

Tabelle 6.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 6									
Pr.	**Ferm.**	**Gluc.**	**CAM**	**Prod.**	**Biom:**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkung**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / L.10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
1	0,0	162,1	0,0	0,00	0,00	3,4	95,5	0,00	0,00	28,0	Sporen /l	$4,1.10^6$
2	24,0	156,8	0,1	0,00	0,32	2,54	85	0,06	1,89	28,3		2,5 g Antischaum
3	36,0	145,2	3,1	0,25	0,40	2,31	80,3	1,91	18,34	28,1		30 ppb Eisenzugabe
4	48,0	129,9	14,5	0,60	0,53	1,91	75,9	8,95	45,03	28,7		
5	62,0	111,6	23,5	0,64	0,80	1,70	70,2	14,50	46,53	28,2	Luft	6 l/min
6	92,0	87,5	46,5	0,77	0,82	2,30	66,9	28,69	62,33	28,0	Fe	23,0 µg / L
7	118,0	70,4	66,3	0,76	0,88	2,14	60,5	40,90	72,30	32,1	Mn	0,35 µg / L
8	131,0	59,1	77,9	0,89	0,92	1,9	59,5	48,06	75,63	31,9		
9	143,0	50,1	88,0	0,84	0,90	2,24	59,5	54,29	78,57	31,9		
10	167,0	31,3	108,7	0,86	0,95	2,14	55,4	67,06	83,10	31,8		
11	180,0	22,2	117,0	0,64	0,97	2,08	62,9	72,18	83,63	31,5		
12	190,0	13,7	121,9	0,49	1,02	1,98	68,8	75,20	82,14	32,3		
13	206,0	4,4	127,0	0,32	1,01	1,94	73,3	78,35	80,53	32,7		
13	218,0	0,0	129,1	0,18	1,14	1,87	79,9	79,64	79,64	32,0		

Diagramm 6.1, Allgemeine Daten:

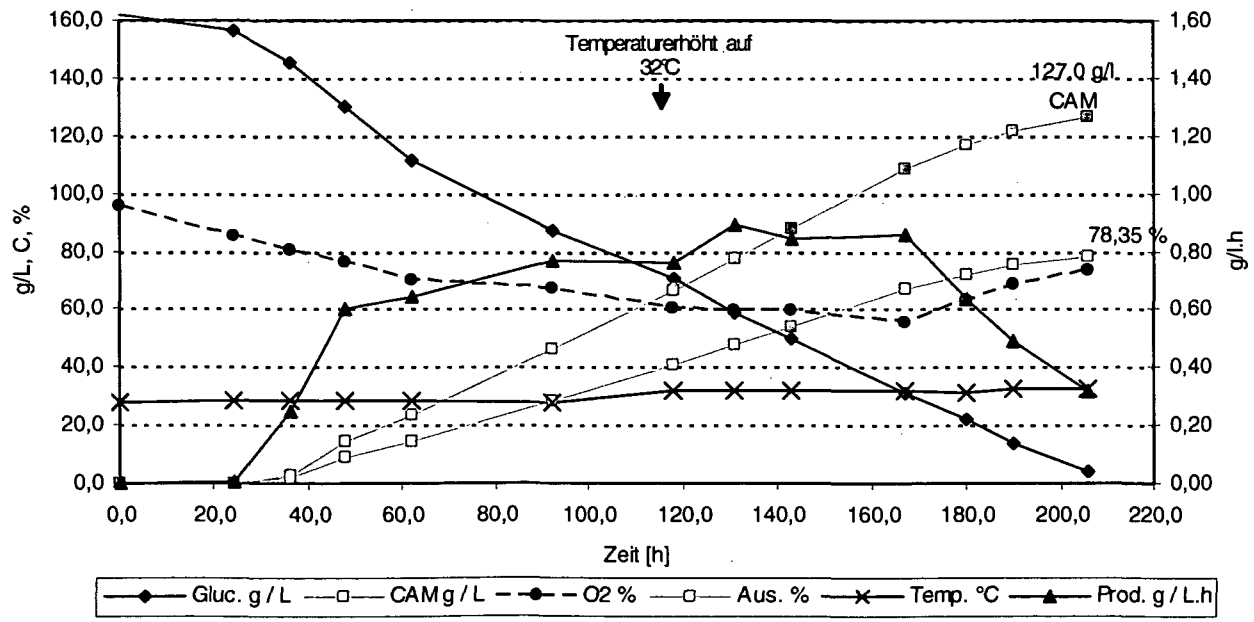


Diagramm 6.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

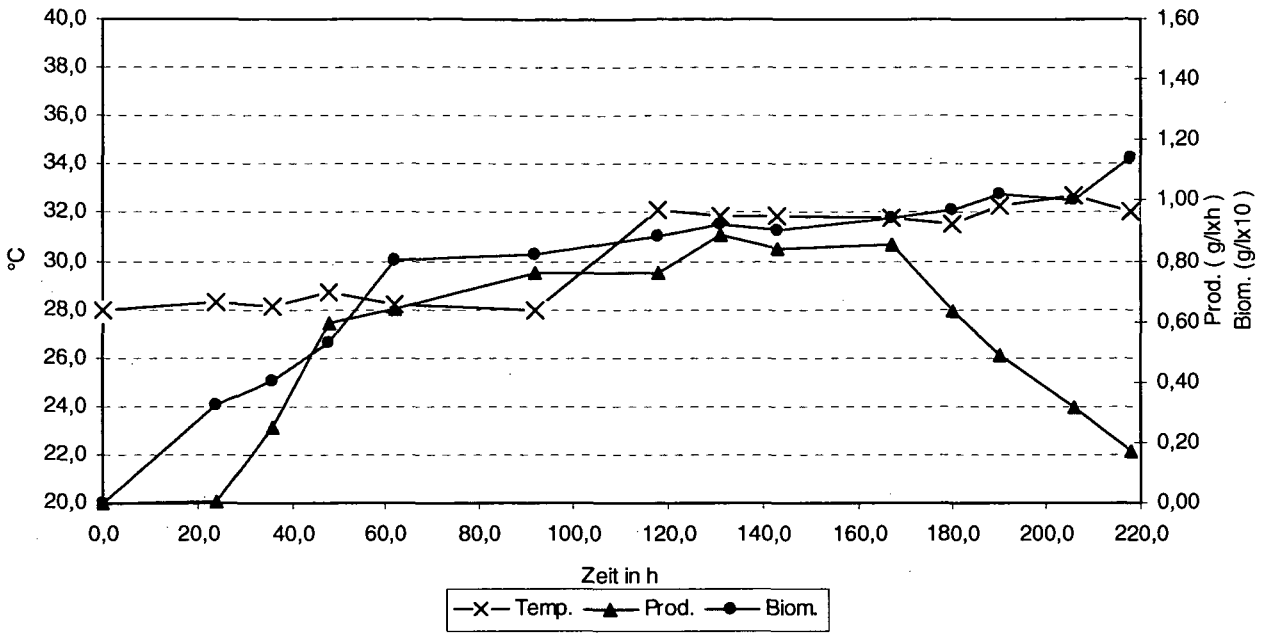
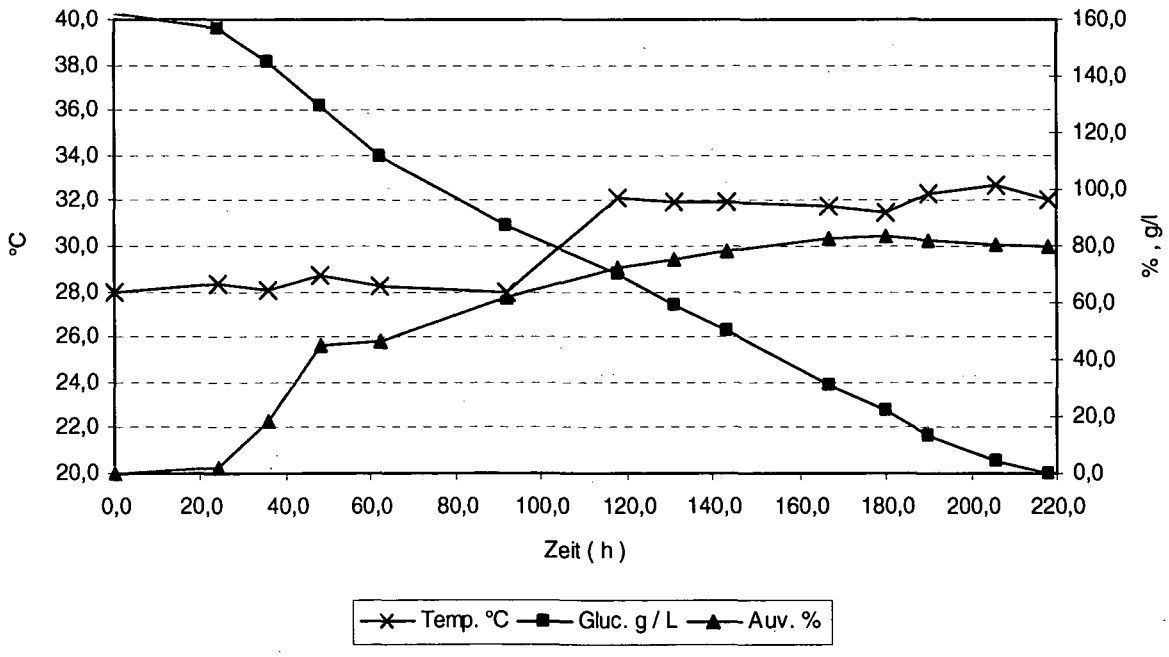


Diagramm 6.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.7 Versuch 7

Tabelle 7.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 7									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / Lx10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
1	0,0	156,8	0,0	0,00	0,00	3,35	95,5	0,00	0,00	31,9	Sporen/	5,9.109
2	19,0	149,0	0,1	0,01	0,03	2,98	76,5	0,06	1,28	31		0.063 g Sporen
3	29,0	143,7	3,9	0,38	0,15	2,13	71,5	2,49	29,77	32		2,5g Antischaum
4	42,0	136,2	9,6	0,41	0,50	1,88	64,2	6,12	46,60	32,4		30 ppb Eisenzugabe
5	51,0	128,5	15,0	0,60	0,64	1,68	64,9	9,57	53,00	32,1	Luft	6 l/min
6	75,0	105,3	32,6	0,73	0,80	1,74	66,9	20,79	63,30	32,7	Fe	30,0 µg / L
7	90,0	90,9	48,8	1,08	0,77	1,88	63	31,12	74,05	32,3	Mn	0,2 µg / L
8	98,0	85,6	57,3	1,06	0,82	1,9	66	36,54	80,48	31,9		
9	114,0	68,5	73,9	1,04	0,95	1,85	64,5	47,13	83,69	26,8		
10	117,0	60,3	76,9	1,00	0,96	1,84	69,5	49,04	79,69	26,8		
11	123,0	51,9	79,2	0,38	1,04	1,82	72	50,51	75,50	26,1		
12	141,0	36,4	86,2	0,39	1,07	2,06	72,7	54,97	71,59	26,0		
13	169,0	21,8	92,7	0,23	1,05	1,93	71,6	59,12	68,67	26,7		
14	196,0	13,6	97,0	0,16	1,03	1,70	74,7	61,86	67,74	26,4		
15	220,0	5,8	99,0	0,08	1,06	1,79	76,6	63,14	65,56	26,3		

Diagramm 7.1, Allgemeine Daten:

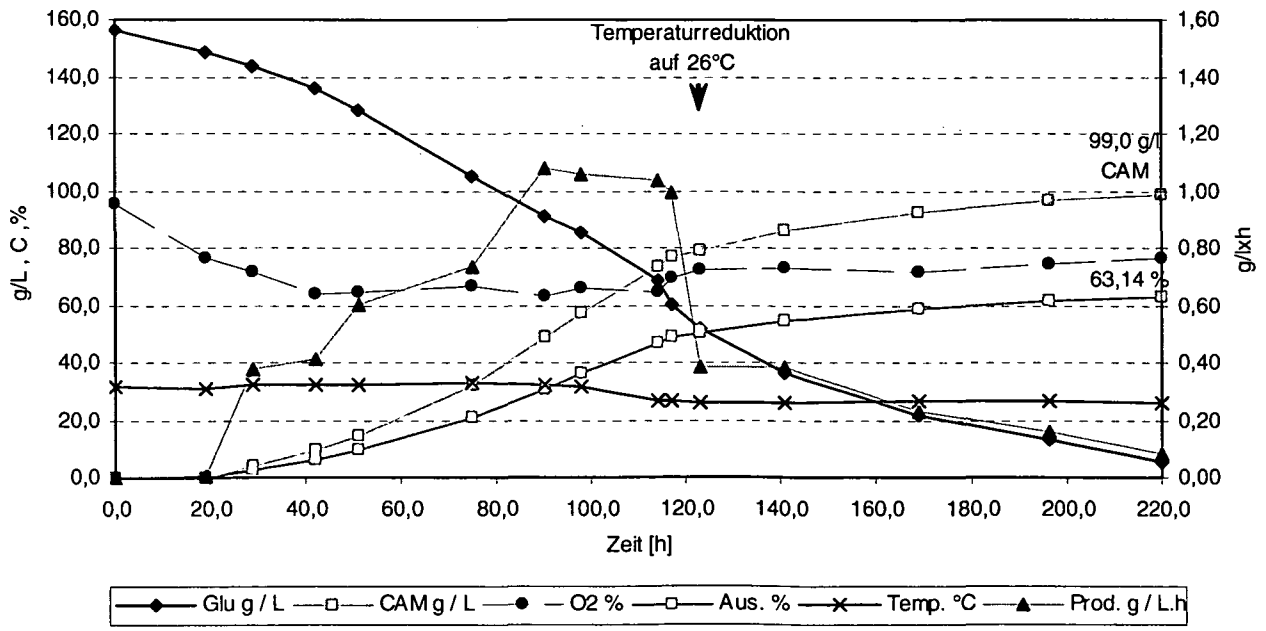


Diagramm 7.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

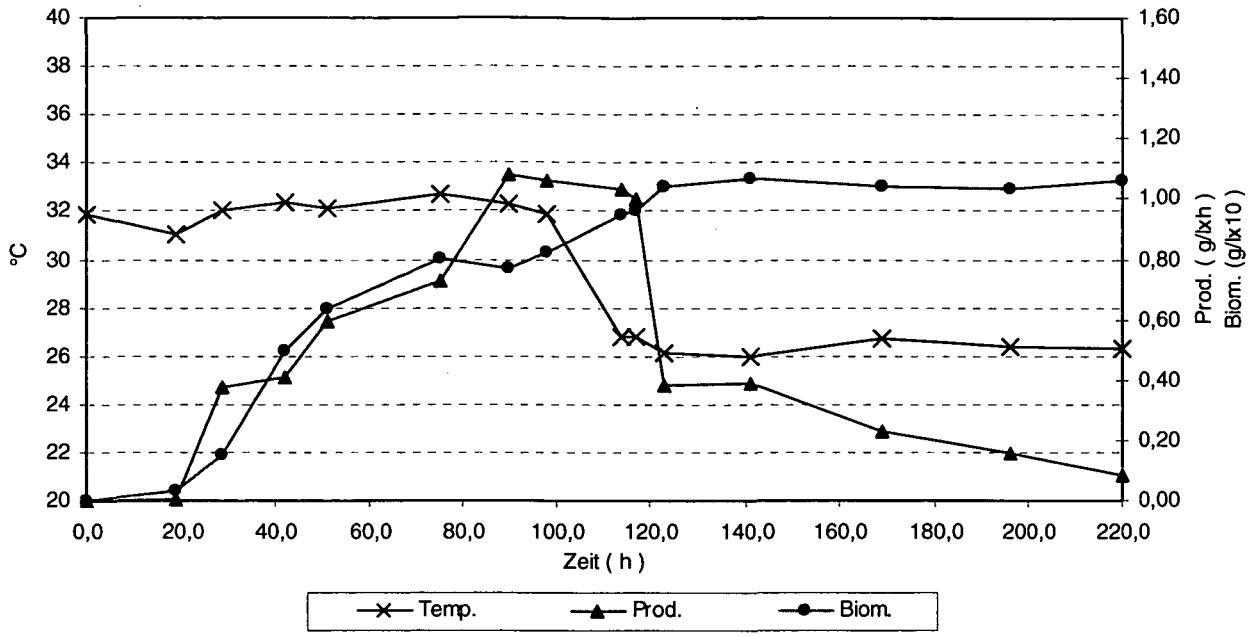
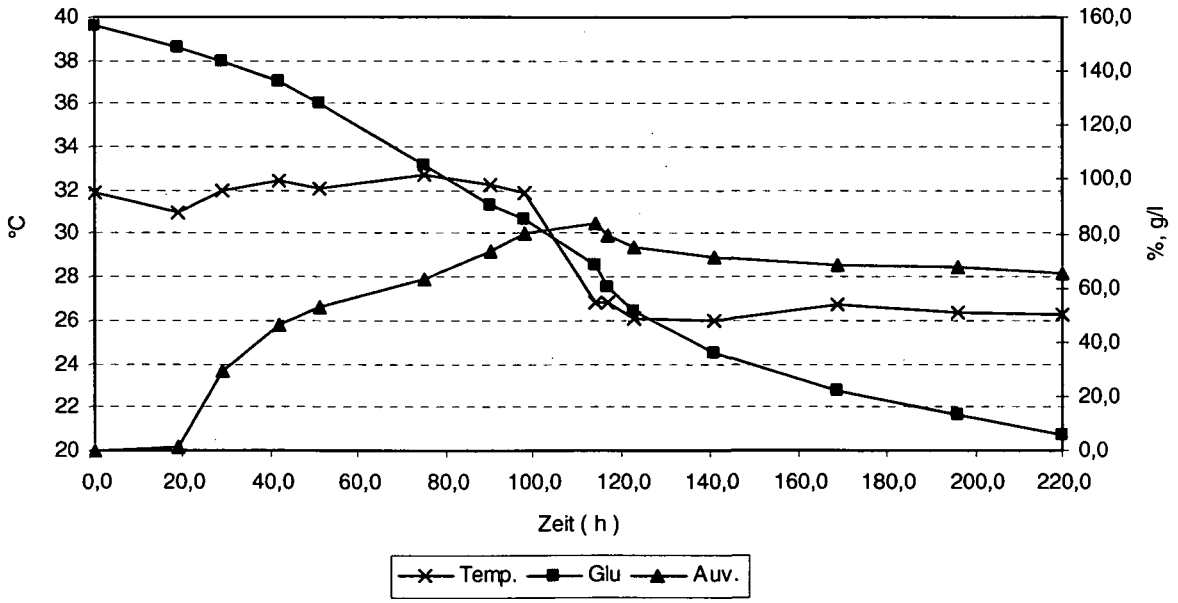


Diagramm 7.3 :Einfluss von Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.8 Versuch 8

Tabelle 8.1:

Sporen: A. Niger					Versuch 8							
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
1	0,0	158,8	0,0	0,00	0,00	3,35	95,5	0,00	0,00	32,0	Sporen / l	$4.1.10^9$
2	22,0	151,0	0,9	0,04	0,03	2,88	76,5	0,57	11,54	31,4		3,0g Antischaum
3	35,0	143,7	4,9	0,31	0,15	2,05	71,5	3,09	32,45	32,5		30 ppb Eisenzugabe
4	47,0	134,1	10,6	0,39	0,50	1,82	64,2	6,68	42,91	31,8	Luft	6 l/min
5	60,0	131,2	15,9	0,41	0,64	1,62	64,9	10,01	57,61	31,9	Fe	19,9 µg / L
6	75,0	108,1	30,4	0,97	0,80	1,79	66,9	19,14	59,96	31,5	Mn	0,37 µg / L
7	88,0	93,9	45,3	1,15	0,77	1,86	63,0	28,53	69,80	32,6		
8	100,0	88,8	58,5	1,10	0,82	1,85	66,0	36,84	83,57	32,0		
9	113,0	69,9	72,4	1,07	0,95	1,78	64,5	45,59	81,44	26,0		
10	118,0	61,0	75,2	0,56	0,96	1,70	69,5	47,36	76,89	26,1		
11	130,0	49,7	81,3	0,51	1,04	1,82	72,0	51,20	74,52	26,0		
12	144,0	35,8	87,9	0,47	1,07	1,75	72,7	55,35	71,46	26,3		
13	171,0	20,1	94,8	0,26	1,05	1,89	71,6	59,70	68,35	26,0		
14	197,0	10,6	98,2	0,13	1,03	1,76	74,7	61,84	66,26	26,4		
15	220,0	0,0	100,3	0,09	1,06	1,86	76,6	63,16	63,16	26,1		

Diagramm 8.1, Allgemeine Daten:

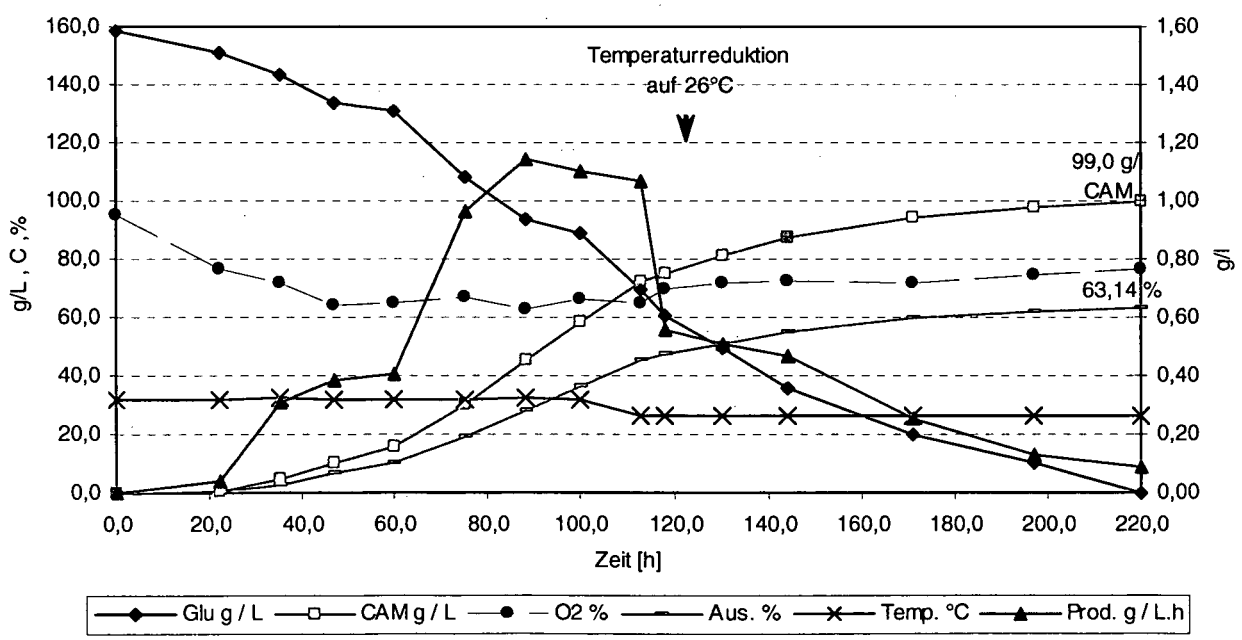


Diagramm 8.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

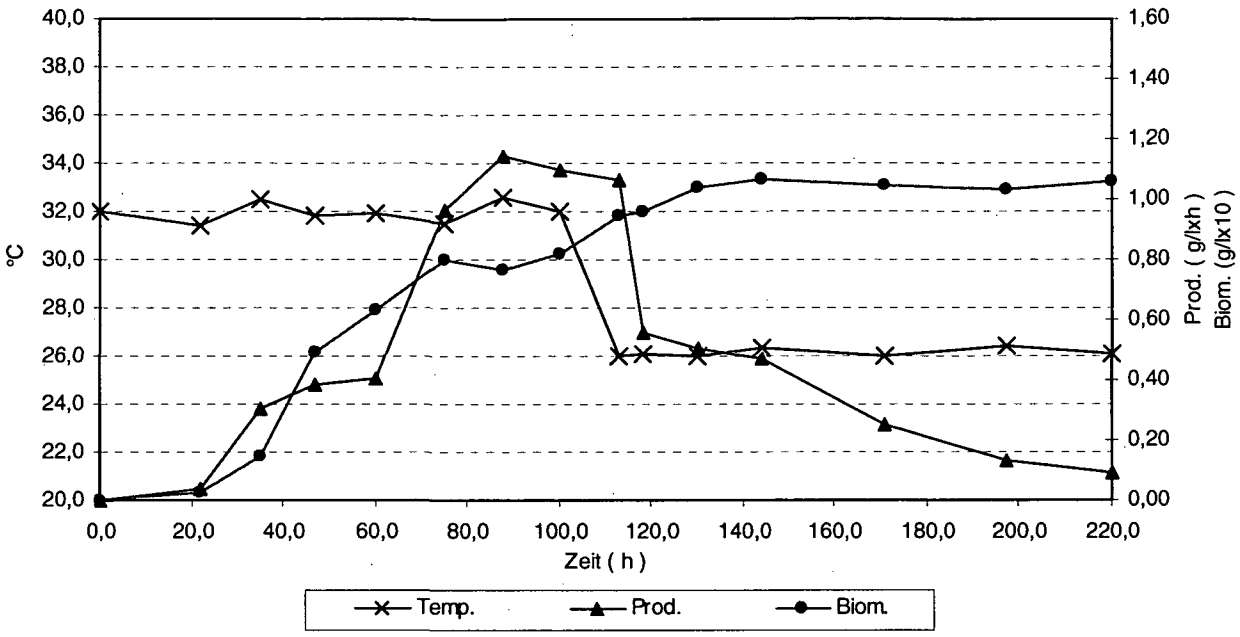
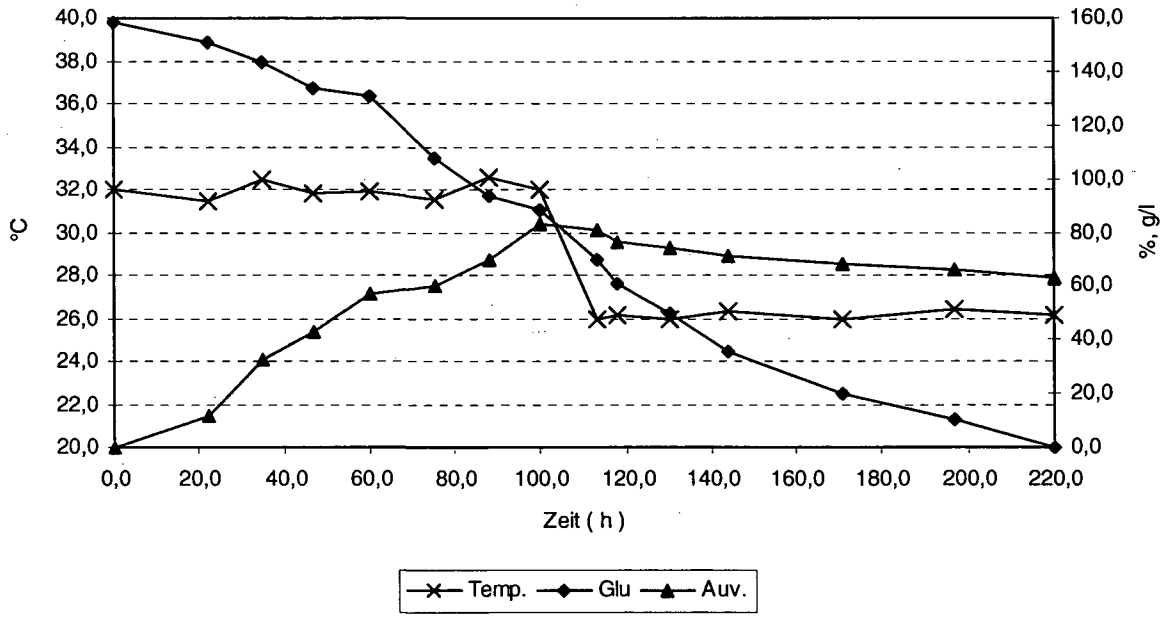


Diagramm 8.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.9 Versuch 9

Tabelle 9.1:

Sporen: A. Niger					Versuch 9							
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
1	0,0	158,3	0,0	0,00	0,00	3,41	95,0	0,00	0,00	26,4	Sporen/l	$5.1.10^9$
2	31,0	153,3	0,5	0,02	0,13	2,72	85,3	0,33	10,00	26,5		0.093 g Sporen
3	52,0	141,1	5,0	0,21	0,35	2,10	75,9	3,26	29,14	26,0		4,0g Antischaum
4	67,0	132,0	8,9	0,26	0,46	2,00	70,8	5,81	33,84	26,2		20 ppb Eisenzugabe
5	75,0	129,0	11,2	0,29	0,51	1,92	72,7	7,31	38,23	26,7	Luft	6 l/min
6	93,0	118,7	15,3	0,23	0,68	1,88	71,7	9,98	38,67	26,3	Fe	19,0 µg / L
7	100,0	116,2	16,9	0,23	0,72	1,79	70,1	11,02	40,11	26,9	Mn	0,31 µg / L
8	117,0	112,7	21,9	0,29	0,81	1,94	76,0	14,29	47,97	27,2		
9	123,0	107,2	23,6	0,28	0,81	1,85	71,3	15,39	46,22	27,3		
10	135,0	99,1	27,4	0,32	0,89	1,75	70,8	17,87	46,28	27,1		
11	147,0	88,0	31,9	0,38	0,93	2,10	75,9	20,81	45,38	26,3		
12	159,0	79,3	35,8	0,33	0,97	1,98	75,6	23,35	45,32	26,0		
13	171,0	73,3	38,5	0,23	0,99	1,87	75,1	25,11	45,29	26,3		
14	183,0	65,5	40,9	0,20	1,03	1,85	75,9	26,68	44,07	26,6		
15	196,0	56,9	42,8	0,15	1,01	1,91	76,2	27,92	42,21	26,2		
16	220,0	51,2	46,1	0,14	1,00	1,84	76,5	30,07	43,04	26,1		
17	243,0	47,9	48,5	0,10	0,98	1,78	75,2	31,64	43,94	26,9		
18	250,0	45,2	49,2	0,10	1,02	1,91	74,7	32,09	43,50	26,7		
19	260,0	40,2	50,5	0,13	0,97	1,89	78,1	32,94	42,76	27,3		
20	285,0	34,9	52,1	0,06	0,95	1,85	79,4	33,99	42,22	27,0		
21	309,0	29,5	53,2	0,05	0,98	1,81	82,5	34,70	41,30	26,1		
22	322,0	25,2	53,3	0,01	1,01	1,81	85,2	34,77	40,05	26,3		

Diagramm 9.1, Allgemeine Daten:

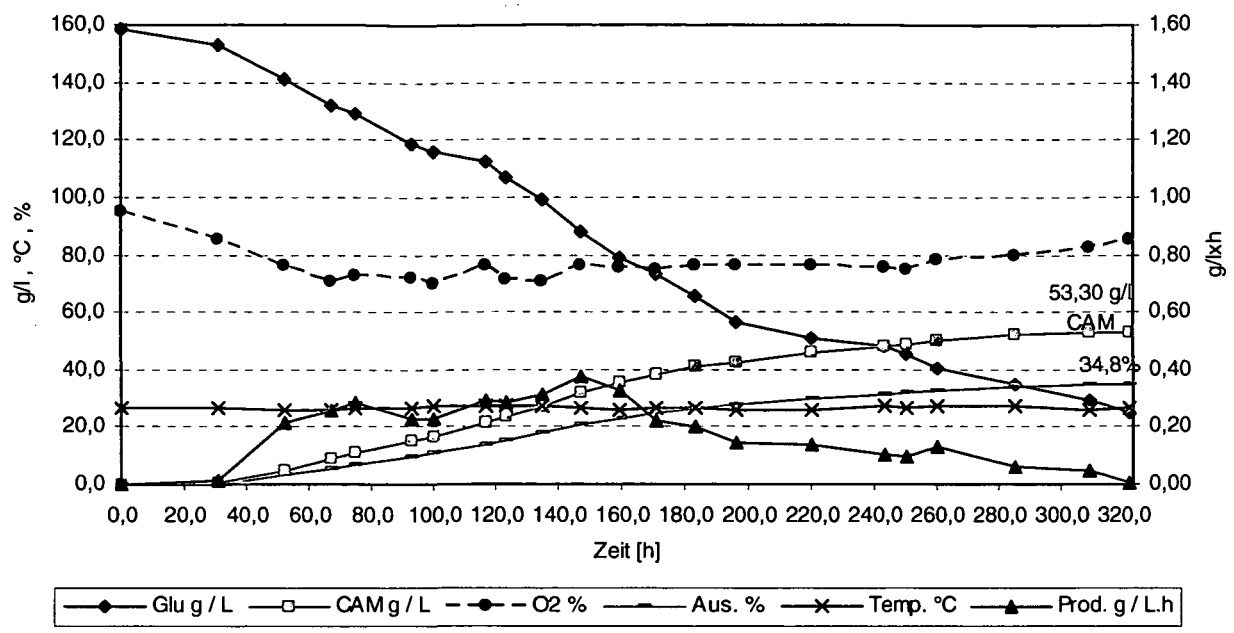


Diagramm 9.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

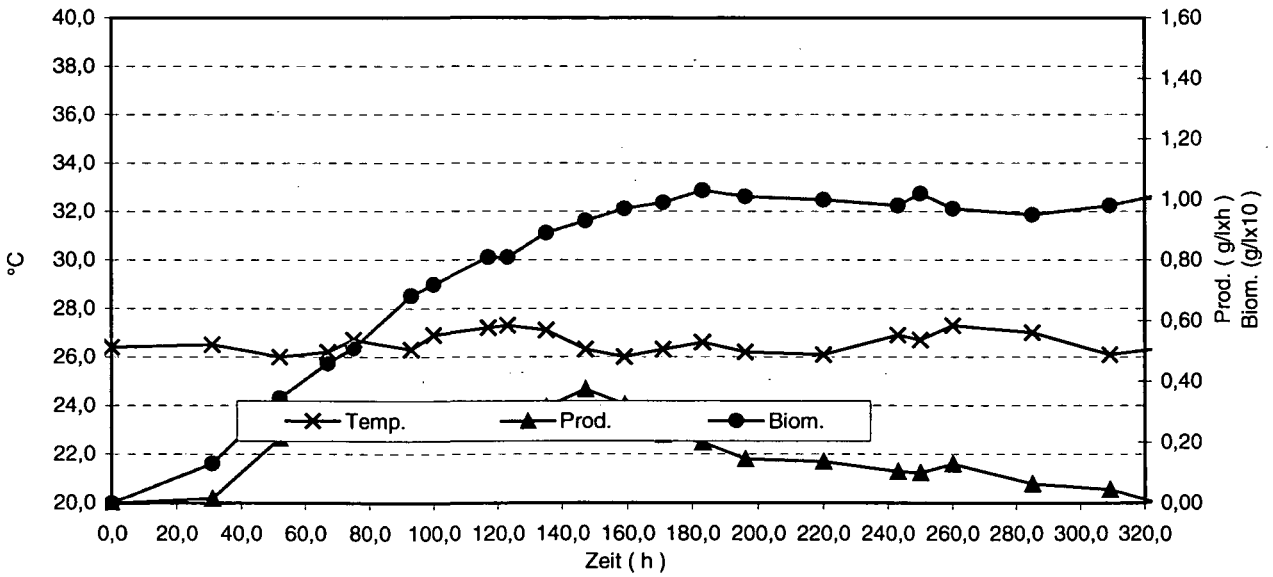
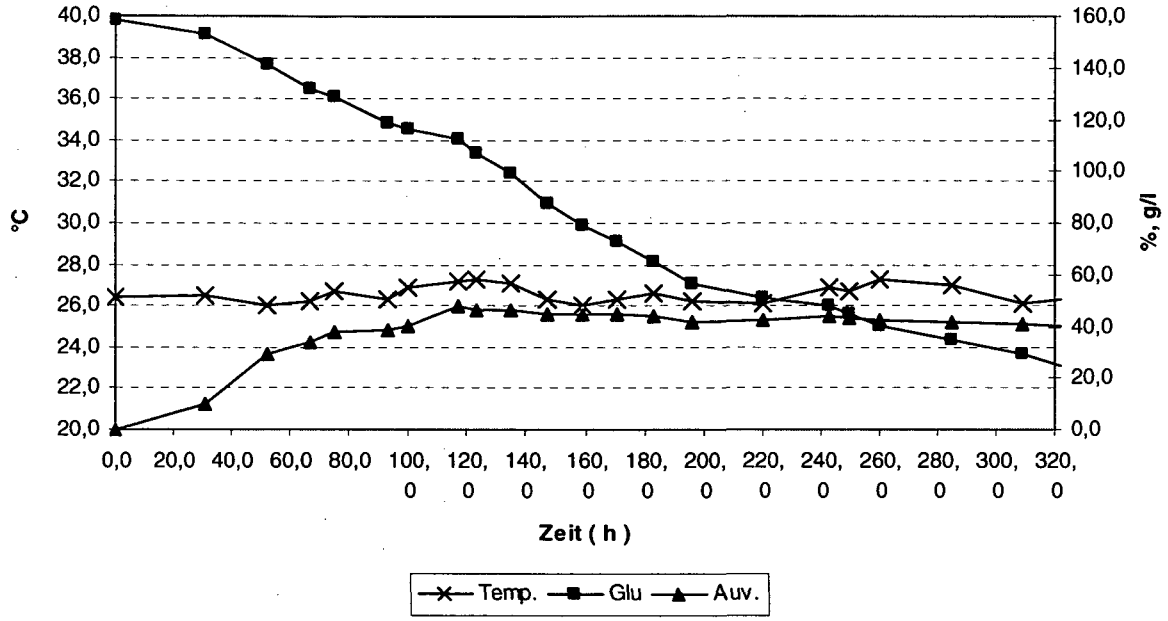


Diagramm 9.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.10 Versuch 10

Tabelle 10.1:

Sporen: A. Niger					Versuch 10							
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g /		%	%	%	°C		
1	0,0	153,1	0,0	0,00	0,00	3,31	95,0	0,00	0,00	26,0	Sporen/l	$6.91.10^9$
2	24,0	149,3	0,2	0,01	0,10	2,69	85,3	0,13	5,26	26,5		0.099 g Sporen
3	36,0	146,1	1,8	0,13	0,31	2,21	75,9	1,21	25,86	26,0		3,50g Antischaum
4	49,0	138,2	3,9	0,16	0,41	2,00	70,8	2,61	26,17	26,2		20 ppb Eisenzugabe
5	59,0	132,0	5,7	0,18	0,56	1,91	72,7	3,82	27,01	26,9	Luft	6 l/min
6	72,0	125,9	9,4	0,28	0,64	1,85	71,7	6,30	34,56	27,1	Fe	23,0 µg / L
7	85,0	118,8	12,7	0,25	0,69	1,77	70,1	8,51	37,03	26,2	Mn	0,37 µg / L
8	98,0	114,7	16,9	0,32	0,76	1,98	76,0	11,32	44,01	26,4		
9	110,0	109,7	21,1	0,35	0,81	1,83	71,3	14,13	48,62	26,7		
10	124,0	101,3	25,8	0,34	0,84	1,73	70,8	17,28	49,81	26,4		
11	136,0	92,4	29,9	0,34	0,88	1,97	75,9	20,03	49,26	26,9		
12	150,0	86,9	33,2	0,24	0,85	1,87	75,6	22,24	50,15	25,9		
13	164,0	79,5	37,5	0,31	0,92	1,79	75,1	25,12	50,95	26,5		
14	176,0	70,8	40,9	0,28	0,91	1,70	75,9	27,39	49,70	26,0		
15	190,0	62,4	43,7	0,20	0,87	1,91	76,2	29,27	48,18	26,0		
16	210,0	55,7	47,6	0,20	0,93	1,83	76,5	31,88	48,87	26,1		
17	220,0	50,6	53,0	0,54	0,94	1,78	75,2	35,50	51,71	26,9		
18	260,0	45,1	56,1	0,08	0,97	1,94	74,7	37,58	51,94	26,7		
19	285,0	35,2	59,0	0,12	0,91	1,87	78,1	39,52	50,04	26,2		
20	297,0	30,1	60,3	0,11	0,87	1,83	79,4	40,39	49,02	26,0		
21	313,0	23,7	61,7	0,09	0,92	1,80	82,5	41,33	47,68	26,5		
22	323,0	18,9	62,8	0,11	0,95	1,77	85,2	42,06	46,80	26,2		

Diagramm 10.1, Allgemeine Daten:

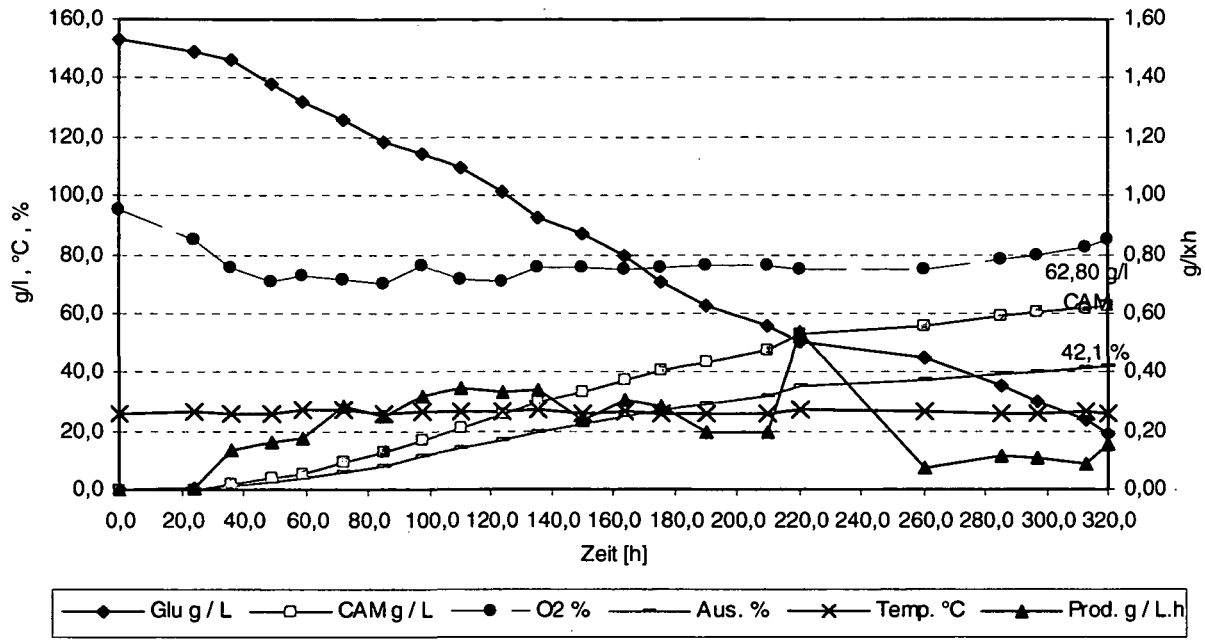


Diagramm 10.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

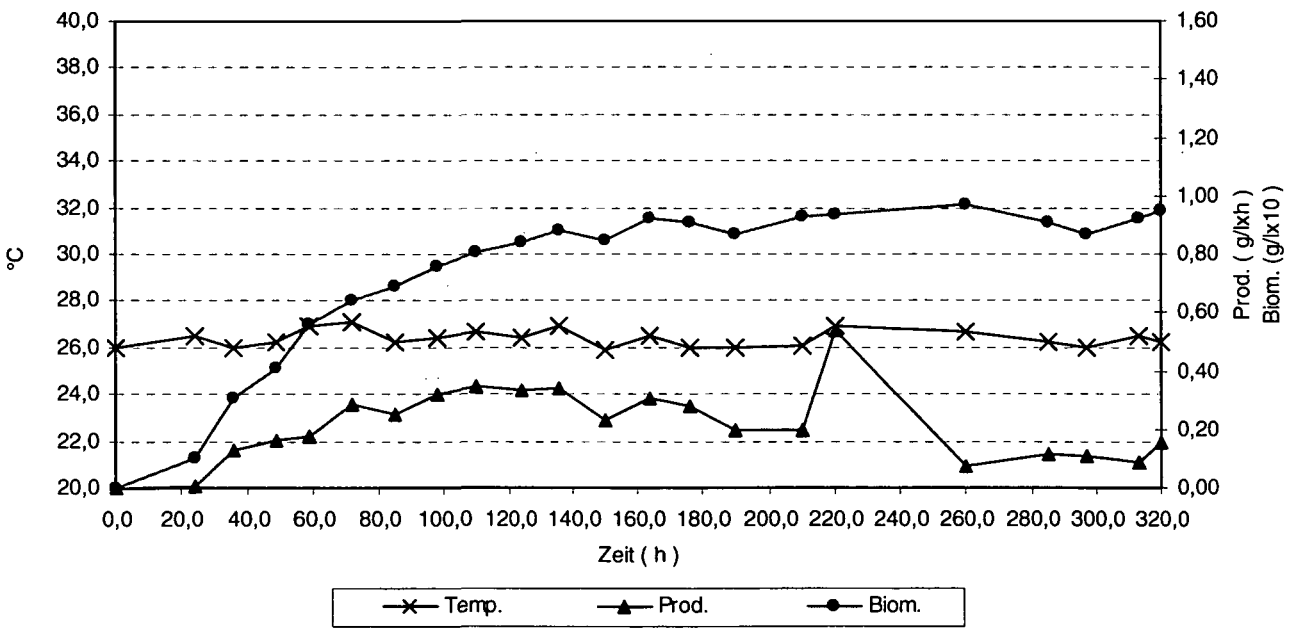
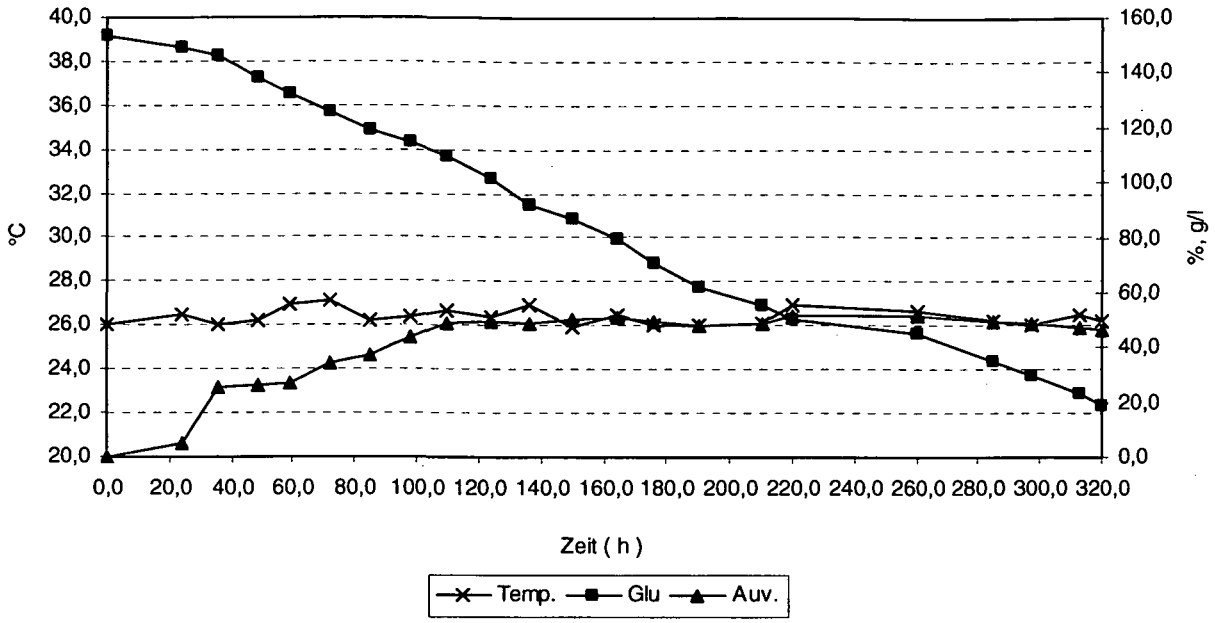


Diagramm 10.3:Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.11 Versuch 11

Tabelle 10.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 11		Zuckerkonz. 18 Gew %							
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g /Lx10		%	%	%	°C		
0	0,0	199,8	0,0	0,00	0,00	3,39	95,0	0,00	0,00	33,0	Sporen	$1,09.10^8$ Sporen
1	32,0	192,0	6,7	0,21	0,26	1,95	67,1	3,35	85,90	32,8		(ca. 18,7%ige Lösung)
2	55,0	172,1	14,2	0,33	0,49	1,65	55,7	7,11	51,26	32,0		2.5 g Antischaum
3	66,0	162,3	21,3	0,65	0,65	1,97	52,6	10,66	56,80	31,7		20 µg Fe zudosiert
4	80,0	153,0	32,0	0,76	0,71	1,80	51,4	16,02	68,38	33,2	Luft	6 l/min
5	92,5	140,1	43,3	0,90	0,97	1,97	52,4	21,67	72,49	32,5	Fe	22,2 µg / L
6	104,0	133,6	54,8	1,00	1,00	1,78	52,3	27,43	82,74	31,6	Mn	0,31 µg / L
7	116,0	112,9	67,5	1,06	1,08	1,85	49,3	33,78	77,68	32,0		
8	123,0	102,0	75,6	1,16	1,15	2,04	42,0	37,84	77,30	32,3		
10	137,0	83,5	92,4	1,20	1,18	1,94	43,0	46,25	79,45	31,3		
11	147,0	74,6	103,7	1,13	1,21		41,0	51,90	82,83	32,0		
12	160,5	60,9	118,5	1,10	1,16	1,84	39,9	59,31	85,31	32,5		
13	172,0	49,7	128,4	0,86	1,13	1,60	45,0	64,26	85,54	33,2		
14	185,0	40,6	138,9	0,81	1,10		44,7	69,52	87,25	31,8		
15	199,0	29,9	148,5	0,69	1,09		59,0	74,32	87,40	31,4		
16	212,0	20,2	155,9	0,57	1,09	1,85	67,0	78,03	86,80	32,6		
17	220,5	14,9	159,9	0,47	1,12		70,2	80,03	86,48	32,0		
18	240,0	8,9	166,3	0,33	1,11		75,0	83,23	87,11	31,5		
19	252,0	5,9	168,9	0,22	1,26		78,5	84,53	87,11	31,2		
20	260,0	1,0	171,5	0,32	1,24		76,2	85,84	86,27	33,0		

Diagramm 11.1, Allgemeine Daten:

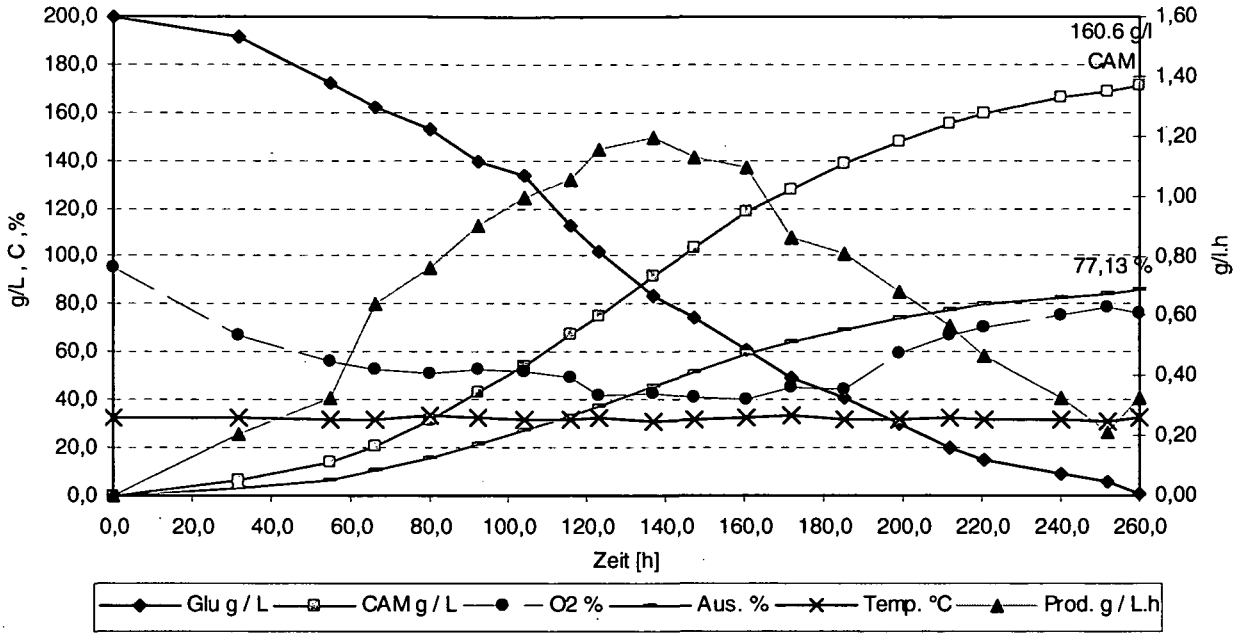


Diagramm 11.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

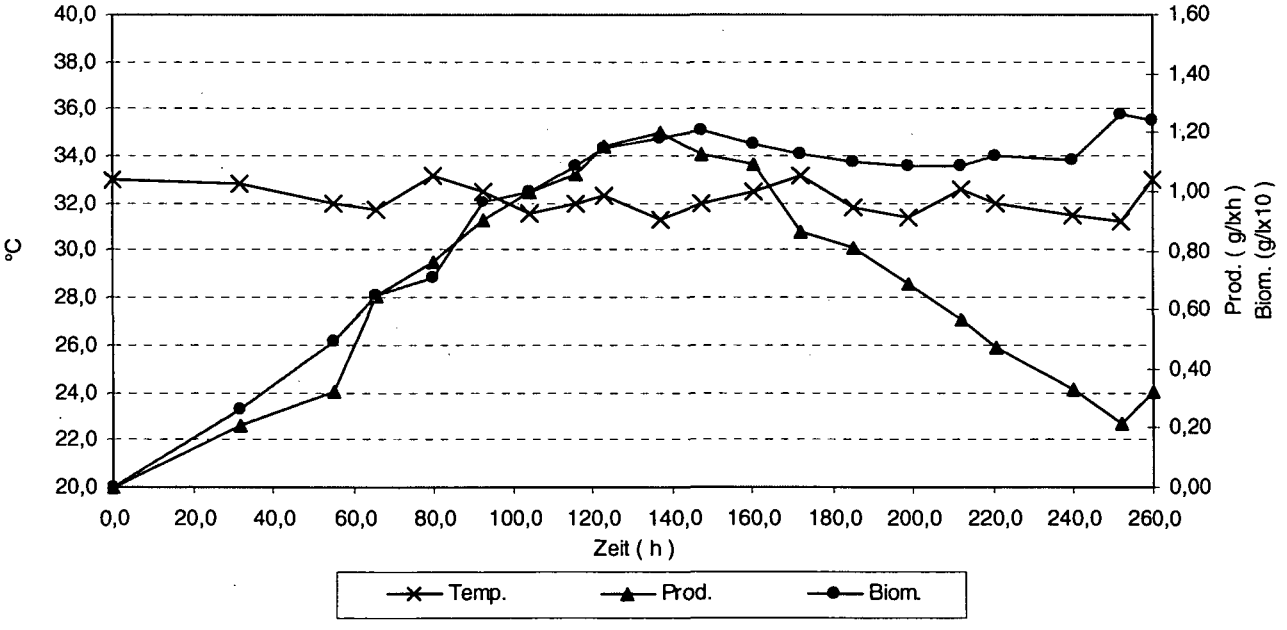
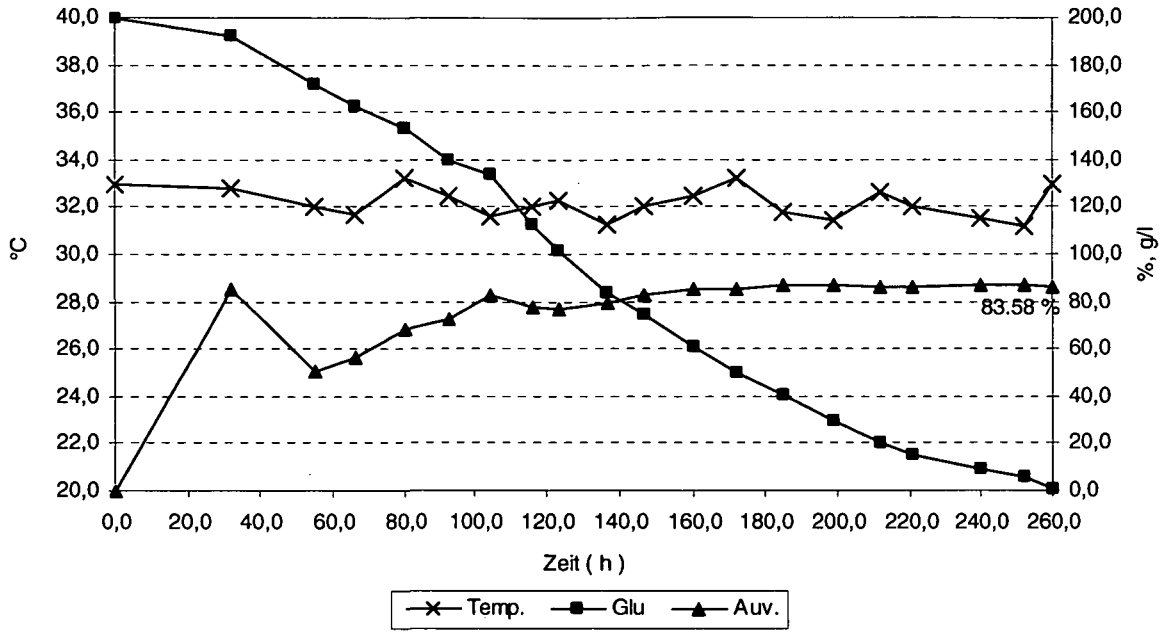


Diagramm 11.3 : Einfluss der Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.12 Versuch 12

Tabelle 12.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 12									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
1	0,0	198,1	0,0	0,00	0,00	3,23	95,0	0,00	0,00	28,0	Sporen/l	$3,4*10^6$ Sporen pro ml
2	21,0	196,2	1,1	0,05	0,12	2,75	89,3	0,56	58,42	28,3		
3	27,0	190,9	2,9	0,30	0,12		66,7	1,46	40,28	28,1		2.7 g Antischaum
4	45,0	175,5	9,8	0,38	0,41	1,81	67,8	4,95	43,36	28,7		20 µg Fe zudosiert
5	50,0	169,9	11,7	0,38	0,50		67,9	5,91	41,49	28,6	Luft	6 l/min
6	79,0	151,1	28,0	0,56	0,67	1,74	64,1	14,13	59,57	27,8	Fe	17,3 µg / L
7	104,5	130,6	43,9	0,62	0,73	1,73	65,8	22,16	65,04	28,0	Mn	0,38 µg / L
8	117,0	115,8	53,2	0,74	0,80	2,12	63,4	26,86	64,64	28,5		
9	123,0	109,9	57,5	0,72	0,92		63,8	29,03	65,19	28,1		
10	141,0	94,8	69,8	0,68	0,90	1,94	63,5	35,23	67,57	28,0		
11	147,0	89,1	74,2	0,73	0,96		62,1	37,46	68,07	33,0		
12	165,0	76,9	89,2	0,83	0,98	1,80	54,5	45,03	73,60	33,7		
13	171,5	72,0	94,5	0,82	1,02		56,2	47,70	74,94	32,4		
14	189,0	59,8	109,2	0,84	1,07	2,04	54,5	55,12	78,96	32,0		
15	195,0	55,1	114,1	0,82	1,09		52,7	57,60	79,79	33,1		
16	213,0	43,9	127,7	0,76	1,09	1,85	53,7	64,46	82,81	32,6		
17	225,0	36,7	134,9	0,60	1,16		57,4	68,10	83,58	33,1		
18	247,0	29,3	142,7	0,35	1,22		63,5	72,03	84,54	33,0		
19	260,0	20,3	149,3	0,51	1,21		69,1	75,37	84,54	32,3		
20	285,0	8,4	153,8	0,29	1,29		75,9	77,64	81,08	31,9		

Diagramm 12.1, Allgemeine Daten:

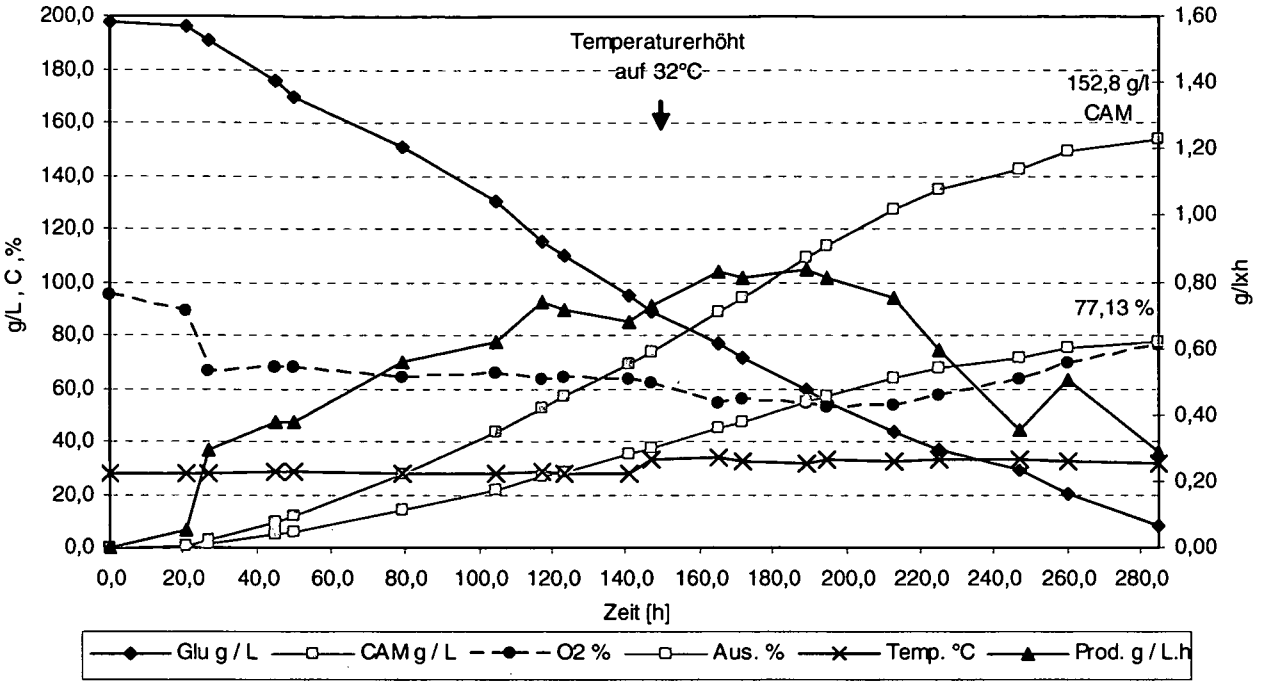


Diagramm 12.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

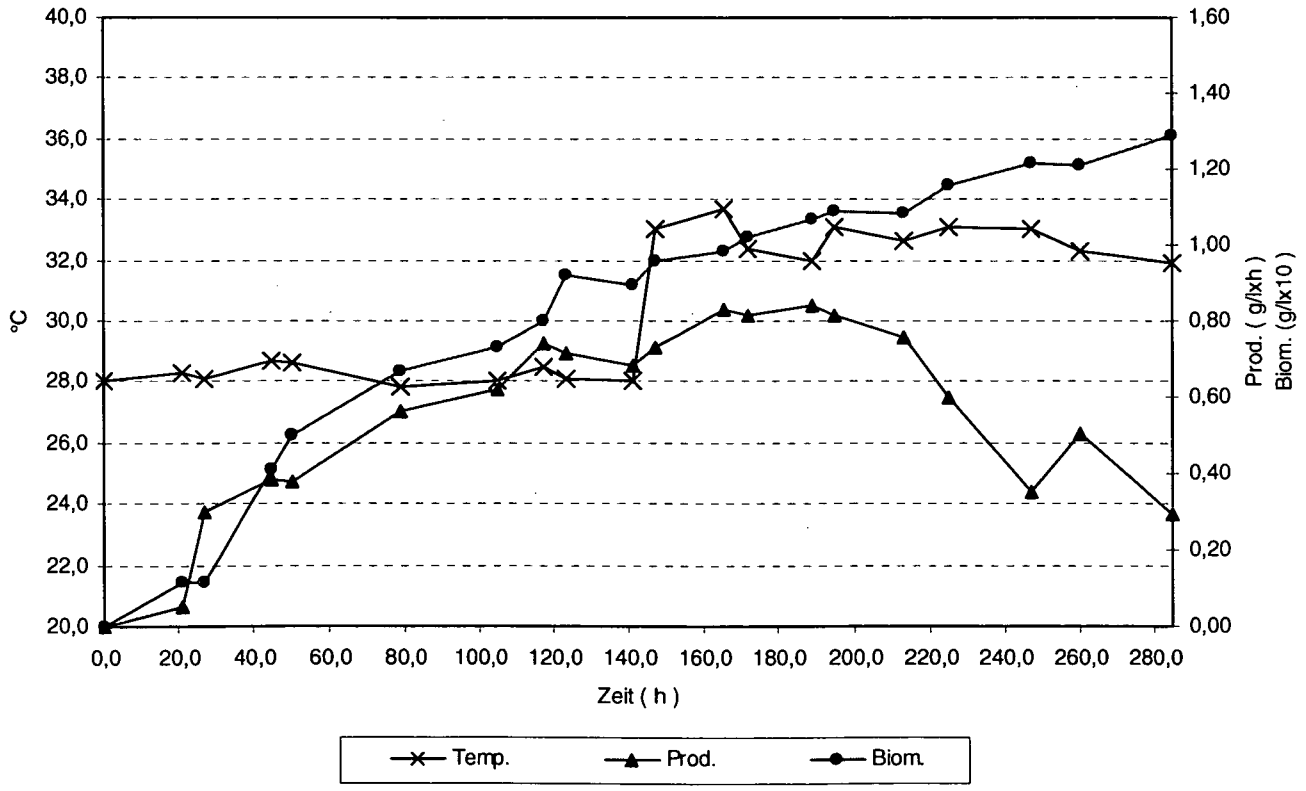
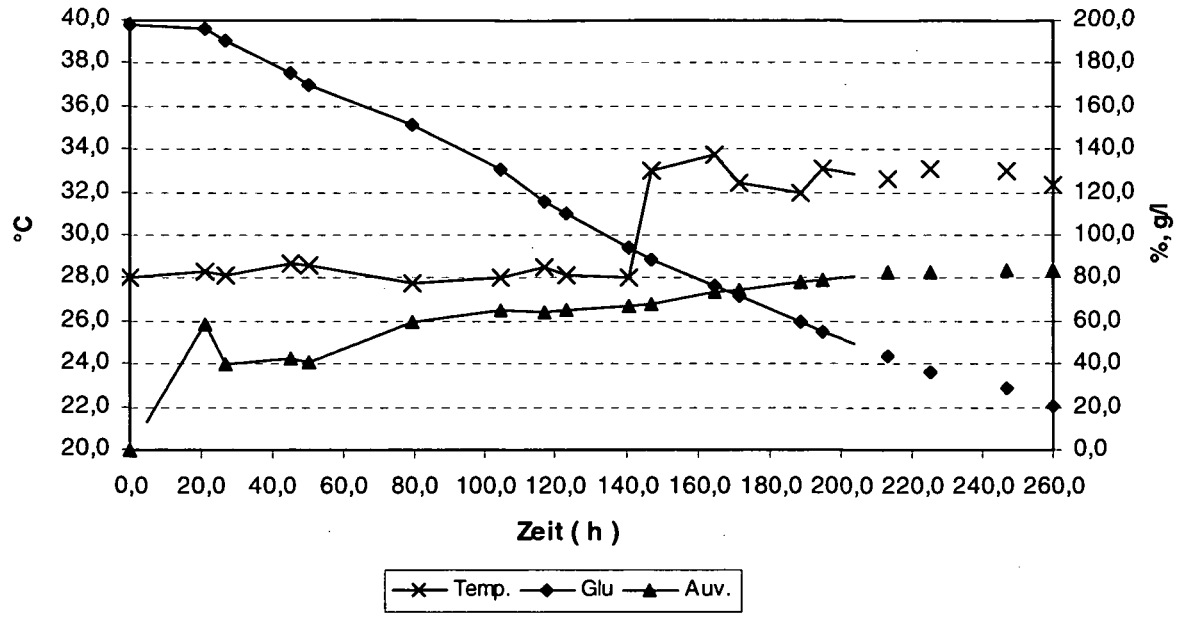


Diagramm 12.3 : Einfluss von Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.13 Versuch 13

Tabelle 13.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 13									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
0	0,0	203,5	0,0	0,00	0,00	3,39	95,0	0,00	0,00	33,0	Sporen g/l	$1,04.10^8$ Sporen
1	31,0	194,7	6,1	0,20	0,26	1,95	67,1	3,00	68,93	32,8		(ca. 18,7%ige Lösung)
2	52,0	174,7	15,1	0,43	0,49	1,65	55,7	7,42	52,43	32,0		2.5 g Antischaum
3	67,0	161,3	23,7	0,57	0,65	1,97	52,6	11,65	56,16	31,7		20 µg Fe zudosiert
4	75,0	156,9	28,6	0,61	0,71	1,80	51,4	14,03	61,27	33,2	Luft	6 l/min
5	93,0	140,1	44,2	0,87	0,97	1,97	52,4	21,72	69,68	32,5	Fe	17,9 µg / L
6	100,0	133,6	50,8	0,94	1,00	1,78	52,3	24,96	72,64	31,6	Mn	0,38 µg / L
7	117,0	112,9	68,5	1,04	1,08	1,85	49,3	33,66	75,61	32,0		
8	123,0	110,6	74,7	1,03	1,15	2,04	52,4	36,71	80,41	32,3		
10	135,0	101,3	86,8	1,01	1,18	1,94	51,7	42,65	84,93	28,0		
11	147,0	90,9	96,7	0,83	1,21		59,8	47,52	85,88	28,5		
12	159,0	80,5	105,9	0,77	1,16	1,84	63,8	52,04	86,12	28,3		
13	171,0	69,5	113,9	0,67	1,13	1,60	69,4	55,97	85,00	27,7		
14	183,0	58,9	122,0	0,67	1,18		70,7	59,95	84,37	28,0		
15	196,0	49,3	129,4	0,57	1,09		74,3	63,59	83,92	28,1		
16	220,0	37,1	138,0	0,36	1,09	1,85	73,1	67,81	82,93	28,4		
17	243,0	27,3	145,6	0,33	1,16		75,9	71,55	82,63	27,9		
18	250,0	20,4	147,6	0,29	1,14		80,3	72,53	80,61	27,5		
19	260,0	14,9	149,5	0,19	1,20		85,8	73,46	80,61	27,9		
20	285,0	8,7	150,1	0,02	1,19		88,6	73,76	77,05	28,0		

Diagramm 13.1, Allgemeine Daten:

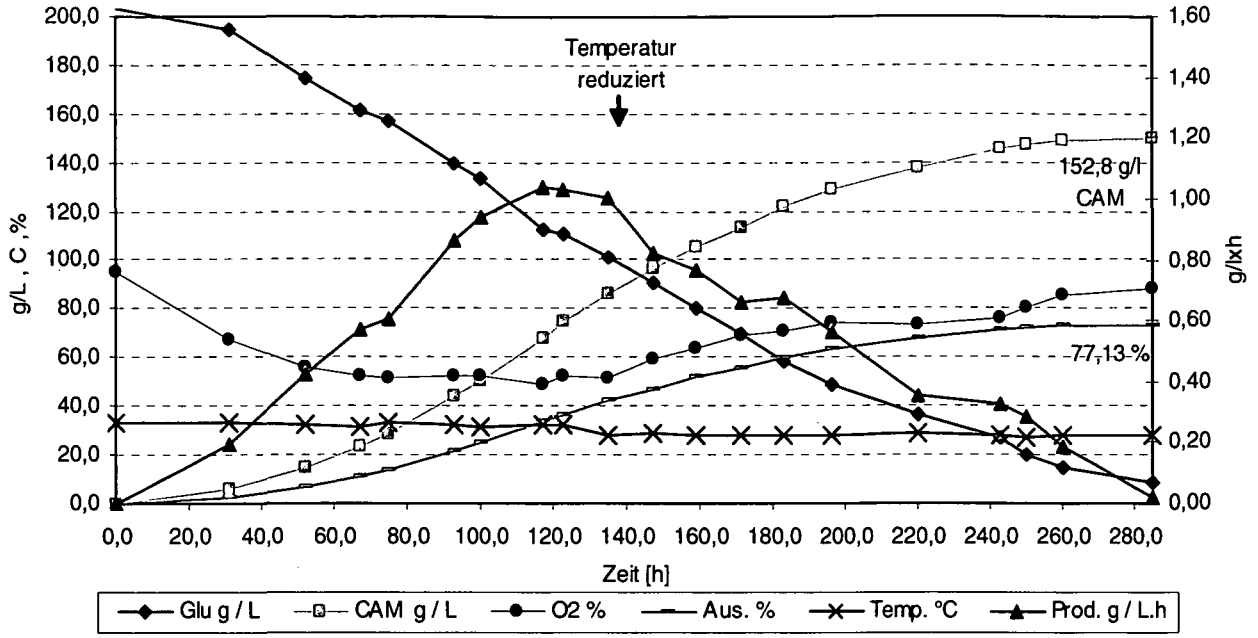


Diagramm 13.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Temperatur:

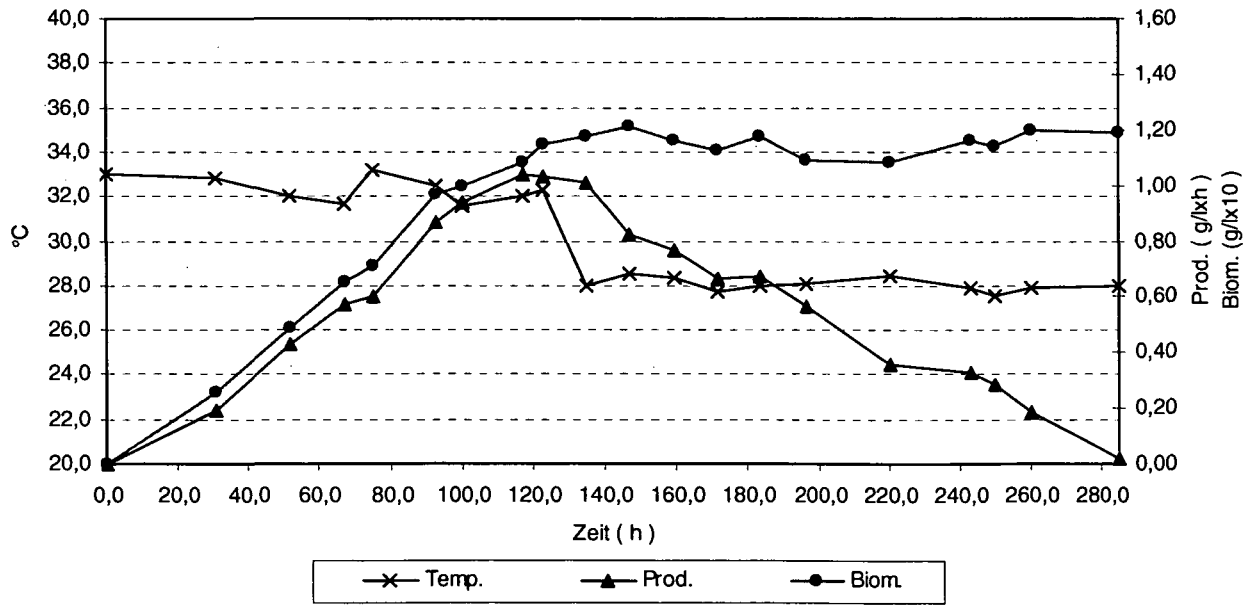
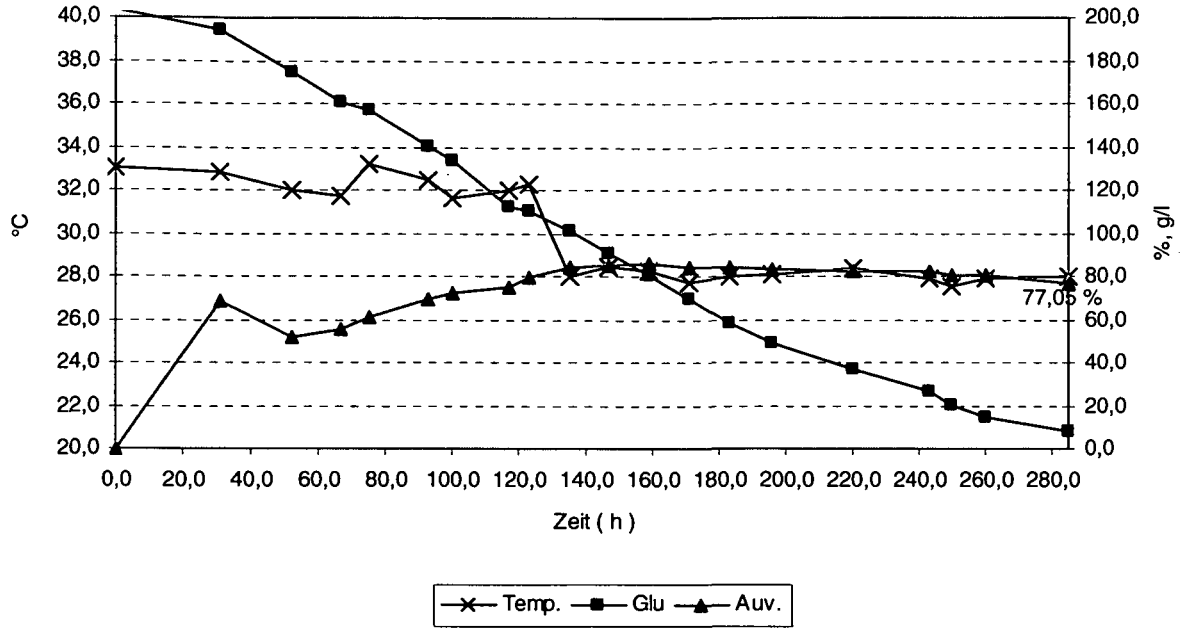


Diagramm 13.3 : Einfluss von Temperatur auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.14 Versuch 14

Tabelle 14.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 14									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
0	0,0	159,3	0,0	0,00	0,00	3,35	95,0	0,00	0,00	32,0		
1	20,0	157,1	0,0	0,00	0,04		92,0	0,00	0,00	31,9	Sporen	0.0098 g Sporen
2	27,0	153,6	1,8	0,26	0,13	2,38	77,1	1,13	31,58	32,2		3.3 g Antischaum
3	45,0	141,2	9,3	0,42	0,29	1,60	64,1	5,84	51,35	32,1		20 µg Fe zudosiert
4	52,0	135,0	14,0	0,67	0,36	1,59	51,0	8,79	57,66	32,2		LUFTMENGE: 3l/min
5	70,0	112,9	29,3	0,85	0,68	1,73	49,1	18,39	63,12	32,7	Luft	3 l/min
6	76,0	107,0	36,1	1,14	0,77	2,04	49,6	22,67	69,09	31,0	Fe	20,6 µg / L
7	98,0	78,5	61,0	1,13	0,92	1,70	50,5	38,31	75,53	32,3	Mn	0,39 µg / L
8	119,0	54,9	85,3	1,16	0,95	1,71	52,6	53,55	81,70	32,5		
9	140,0	31,9	105,9	0,98	1,05	1,80	55,5	66,48	83,12	32,4		
10	147,0	26,2	111,5	0,80	1,11	1,97	65,3	70,01	83,79	31,6		
11	166,0	14,9	120,0	0,45	1,12	2,06	70,8	75,33	83,10	31,6		
12	172,0	12,5	122,4	0,40	1,11	1,87	77,2	76,84	83,35	32,1		
13	191,0	3,9	128,2	0,31	1,14	1,85	82,4	80,48	82,50	32,4		
14	203,0	0,0	132,9	0,39	1,15	1,76	88,2	83,43	83,43	32,5		

Diagramm 14.1, Allgemeine Daten:

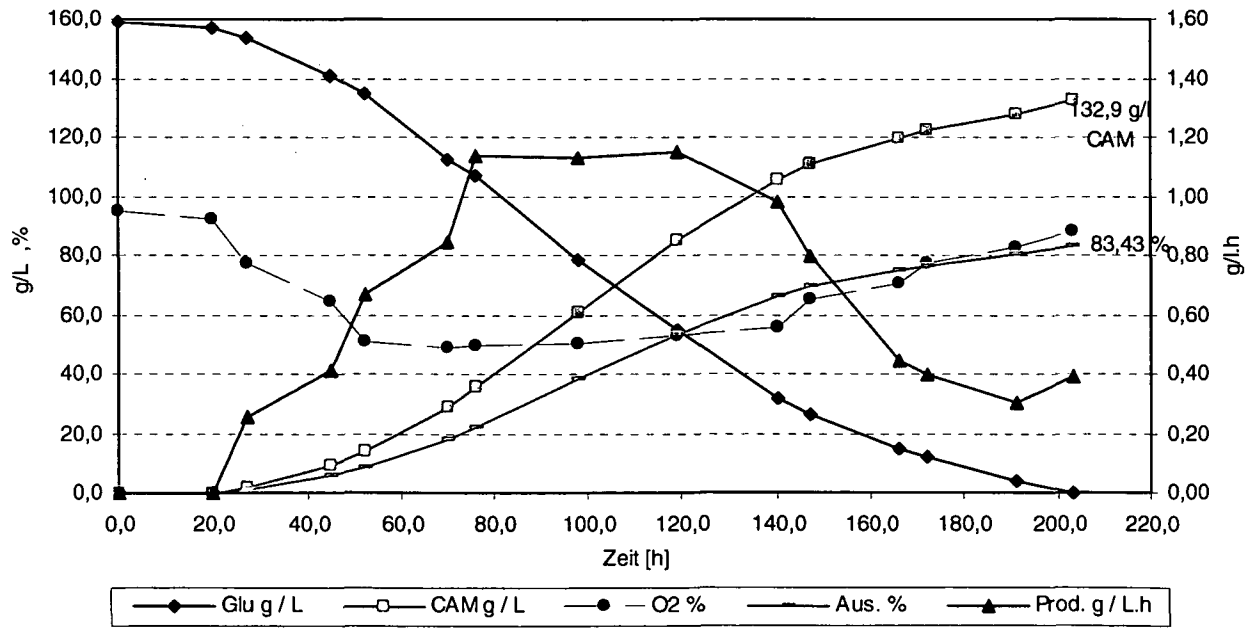


Diagramm 14.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

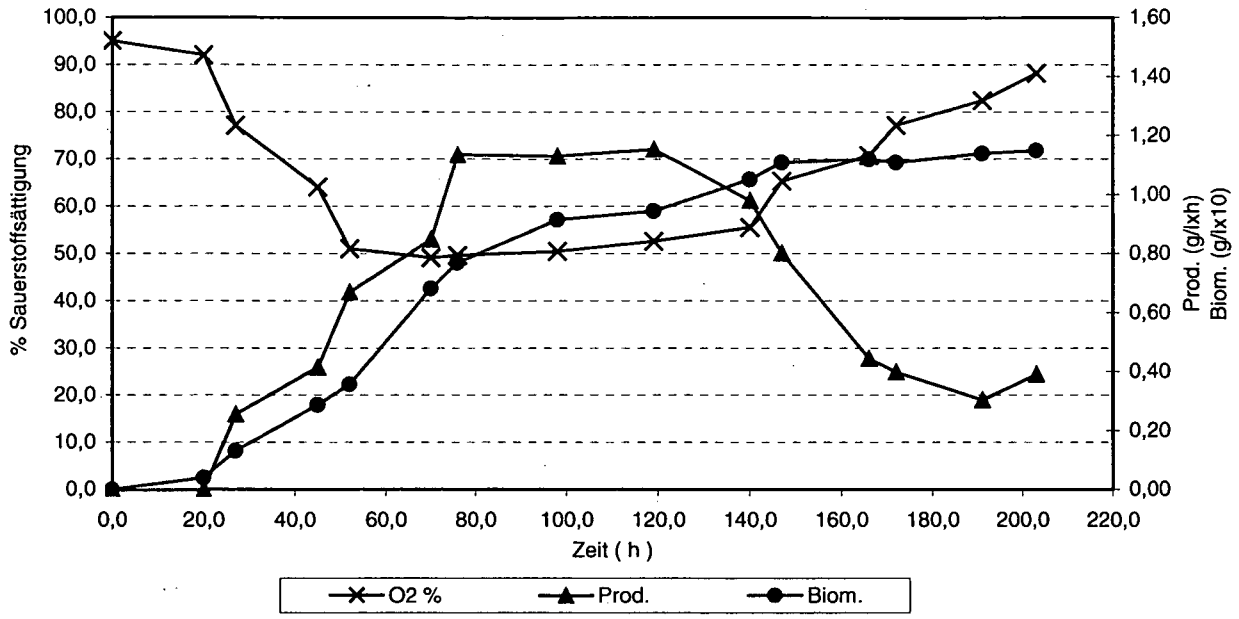
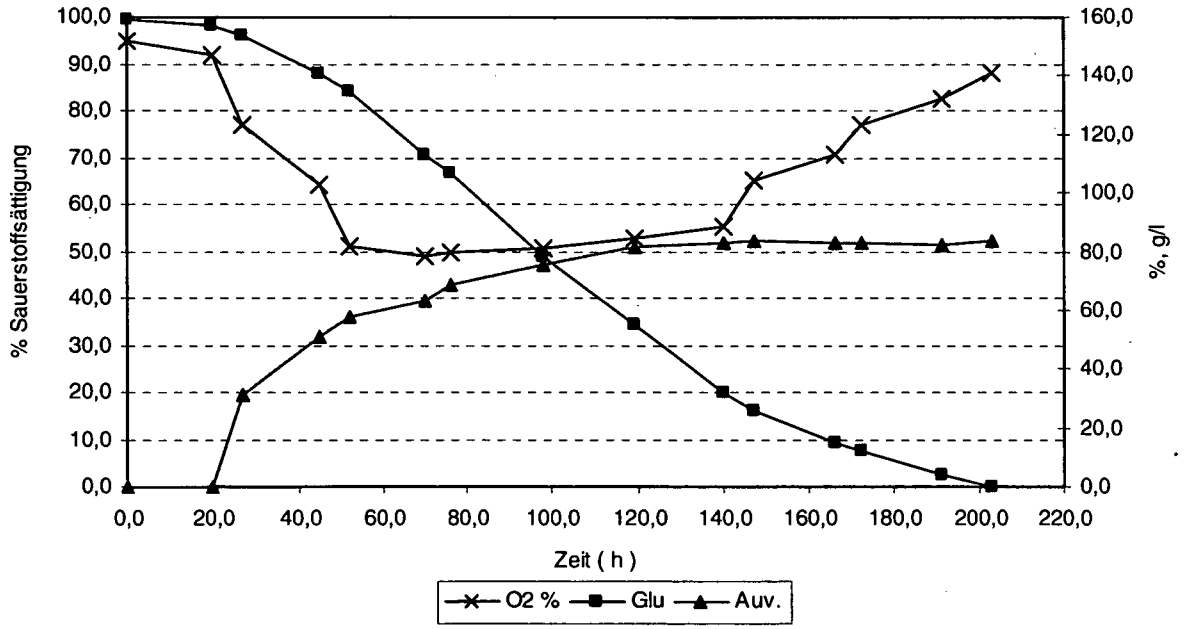


Diagramm 14.3 Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.15 Versuch 15

Tabelle 15.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 15									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / Lx10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
0	0,0	158,4	0,0	0,00	0,00	3,36	94,5	0,00	0,00	32,0	Sporen/l	$9,5*10^9$
1	24,0	150,8	0,2	0,01	0,29	2,28	63,5	0,13	2,63	32,0		20 µg Fe zugegeben
2	51,0	134,8	7,8	0,28	0,46	2,05	55,0	4,92	33,05	32,0		3,2 g Antischaum
3	68,0	117,7	19,3	0,68	0,75	2,04	56,5	12,18	47,42	32,0	Luft	3,0 l/min
4	73,0	113,4	23,4	0,82	0,85	2,01	57,9	14,77	52,00	32,0	Fe	20,0 µg / L
5	92,0	98,1	41,3	0,94	0,94	2,05	57,7	26,07	68,49	32,0	Mn	0,22 µg / L
6	97,0	93,3	45,9	0,92	0,95	2,08	58,2	28,98	70,51	32,0		
7	116,0	76,8	66,2	1,07	0,99	2,09	55,4	41,79	81,13	32,0		
8	121,0	72,9	71,9	1,14	1,00	2,06	54,7	45,39	84,09	32,0		
9	140,0	53,9	91,0	1,01	1,05	2,03	57,0	57,45	87,08	32,0		
10	145,0	49,2	94,7	0,74	1,03	2,01	61,5	59,79	86,72	32,0		
11	164,0	30,2	109,7	0,79	1,07	1,88	65,0	69,26	85,57	32,0		
12	188,0	12,9	125,2	0,65	1,05	1,72	69,9	79,04	86,05	32,0		
13	212,0	3,5	133,3	0,34	1,12	1,73	70,5	84,15	86,06	32,0		
14	220,0	0,0	134,1	0,10	1,15	1,75	84,1	84,66	84,66	32,3		

Diagramm 15.1, Allgemeine Daten:

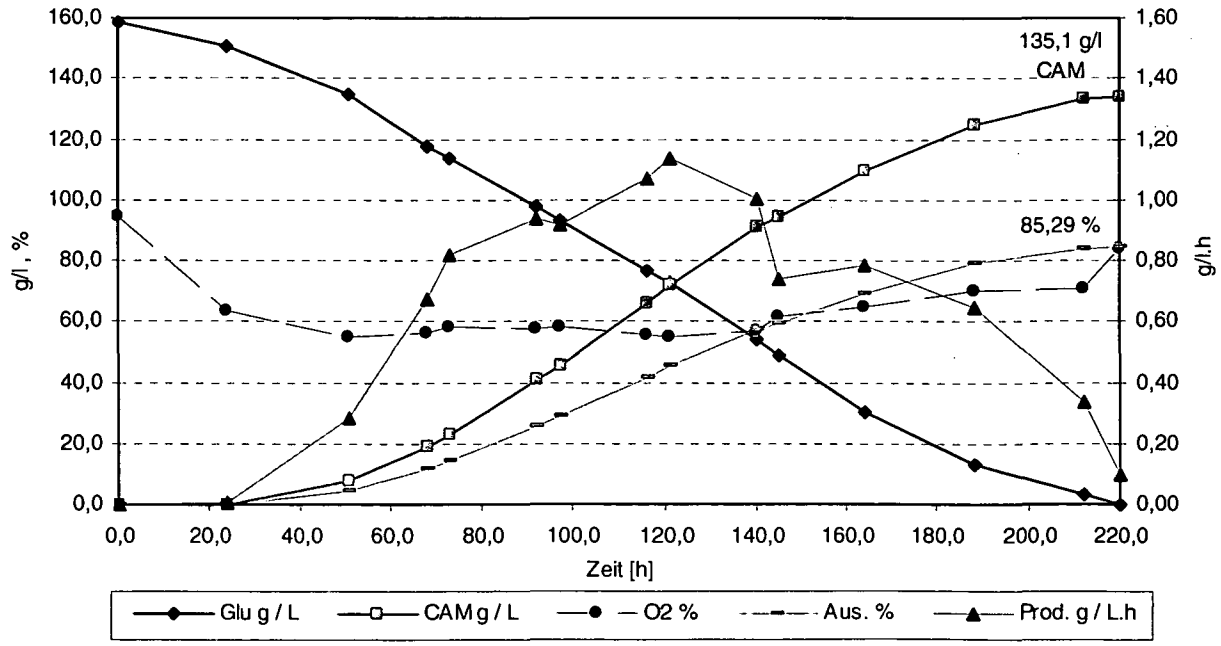


Diagramm 15.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

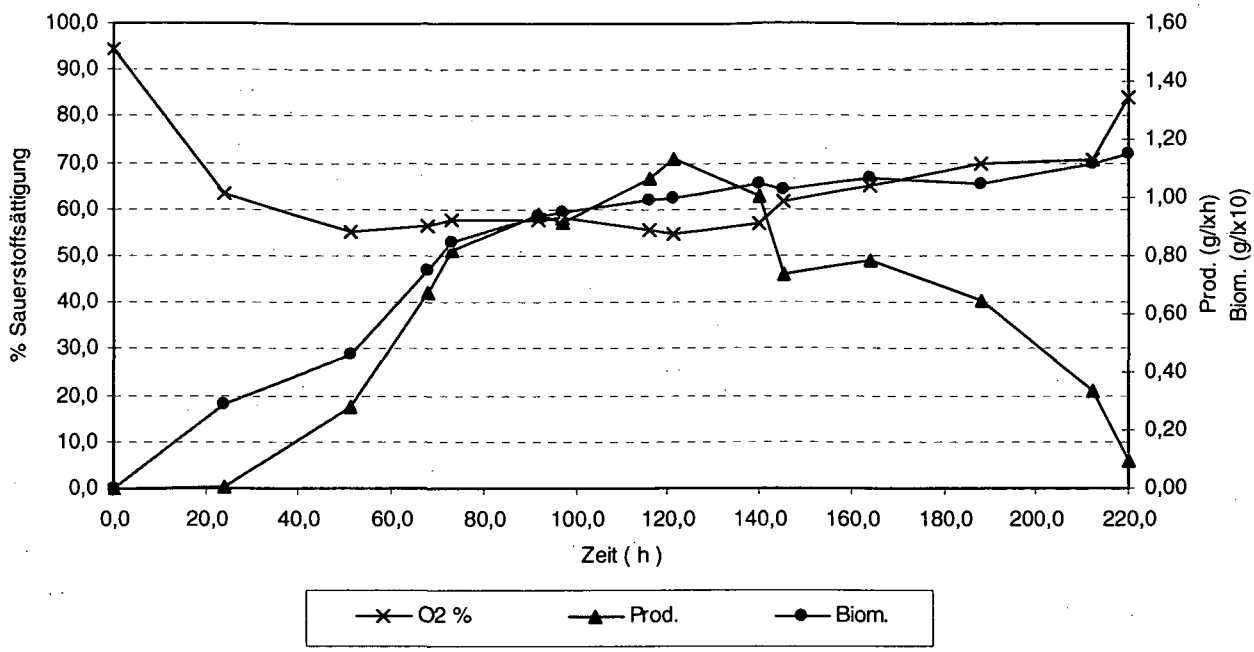
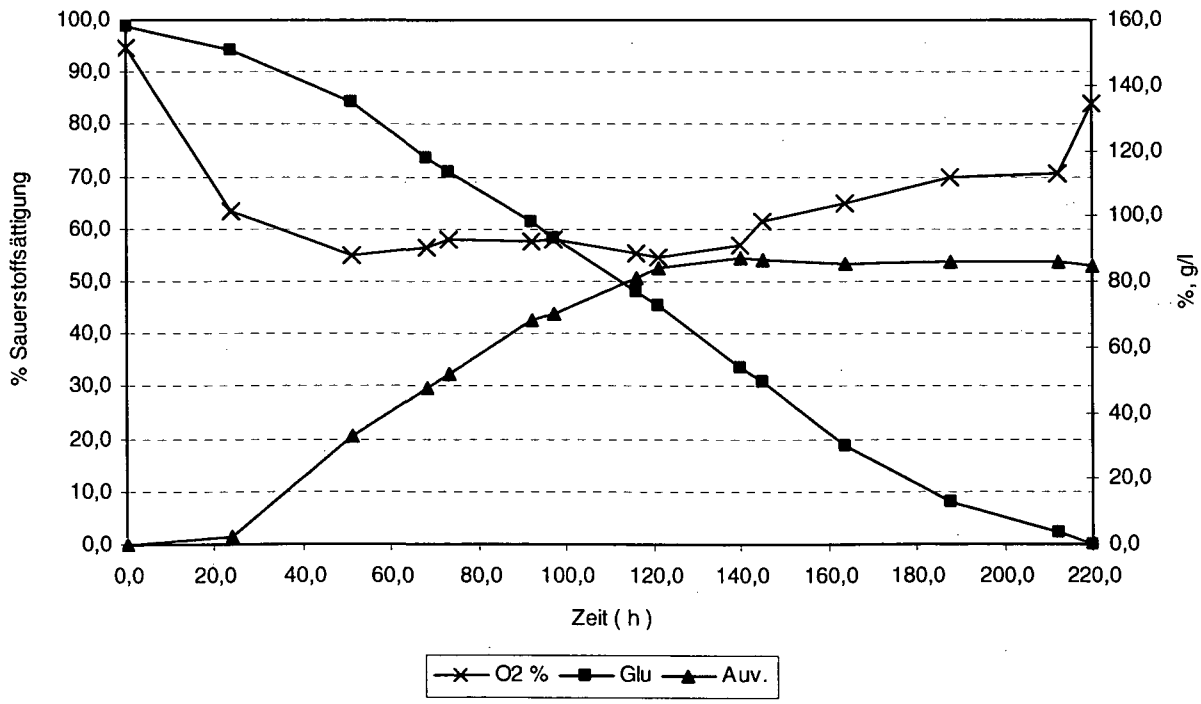


Diagramm 15.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.16 Versuch 16

Tabelle 16.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 16									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / Lx10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
0	0,0	157,8	0,0	0,00	0,00	3,25	95,0	0,00	0,00	32,0		
1	15,0	156,5	0,0	0,00	0,04		90,0	0,00	0,00	32,4	Sporen/l	0.01 g Sporen
2	22,0	154,8	0,8	0,11	0,15	2,39	77,5	0,51	26,67	32,1		3.4 g Antischaum
3	40,0	137,7	10,4	0,53	0,28	1,89	62,1	6,59	51,72	32,6		20 µg Fe zudosiert
4	50,0	134,0	15,0	0,46	0,40	1,79	51,8	9,51	63,08	31,9		LUFTMENGE: 1l/min
5	66,0	112,8	32,0	1,06	0,65	1,75	50,2	20,30	71,15	31,6	Luft	1 l/min
6	72,0	105,0	38,1	1,02	0,73	2,02	47,3	24,16	72,22	32,3	Fe	20,8 µg / L
7	93,0	73,6	62,0	1,14	0,95	1,70	49,5	39,31	73,67	32,4	Mn	0,32 µg / L
8	122,0	55,7	88,6	0,91	1,05	1,81	51,6	56,12	86,73	31,8		
9	140,0	35,2	103,9	0,85	1,14	1,80	53,6	65,84	84,75	32,4		
10	147,0	27,2	108,5	0,66	1,12	1,97	63,1	68,77	83,09	31,9		
11	165,0	14,9	117,0	0,47	1,18	2,06	69,9	74,14	81,88	31,6		
12	171,0	12,1	119,4	0,40	1,19	1,84	78,4	75,67	81,95	32,8		
13	189,0	4,2	126,2	0,38	1,14	1,80	80,5	79,97	82,16	33,0		
14	202,0	0,5	129,9	0,29	1,15	1,75	84,1	82,33	82,59	32,3		

Diagramm 16.1, Allgemeine Daten:

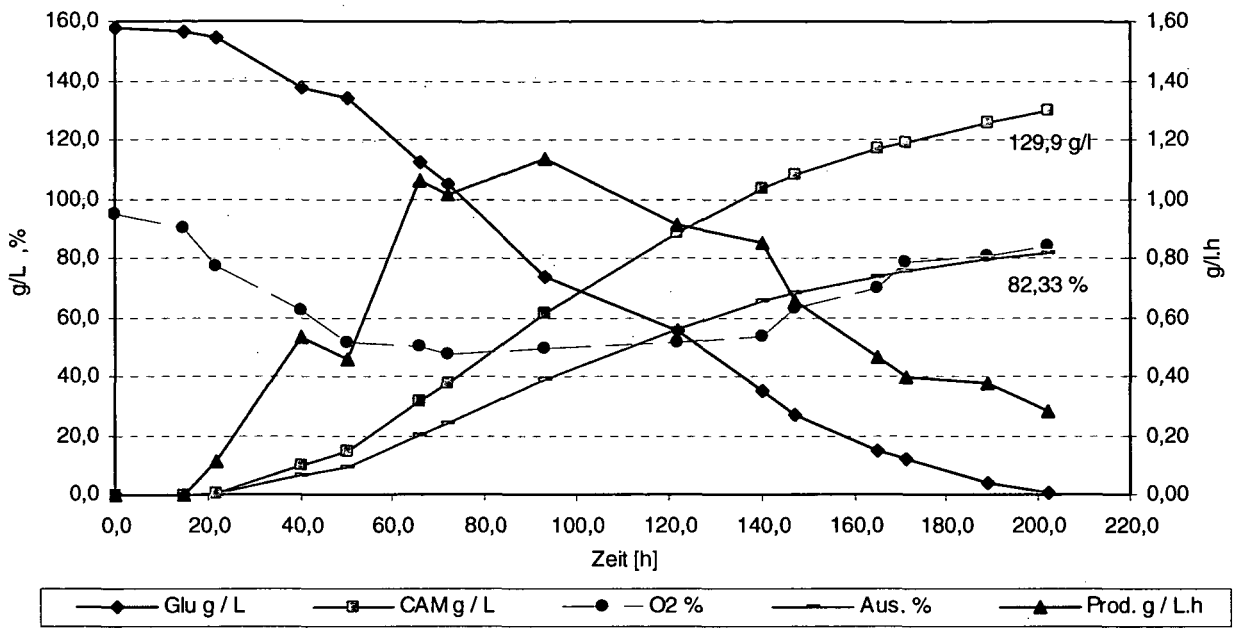


Diagramm 16.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

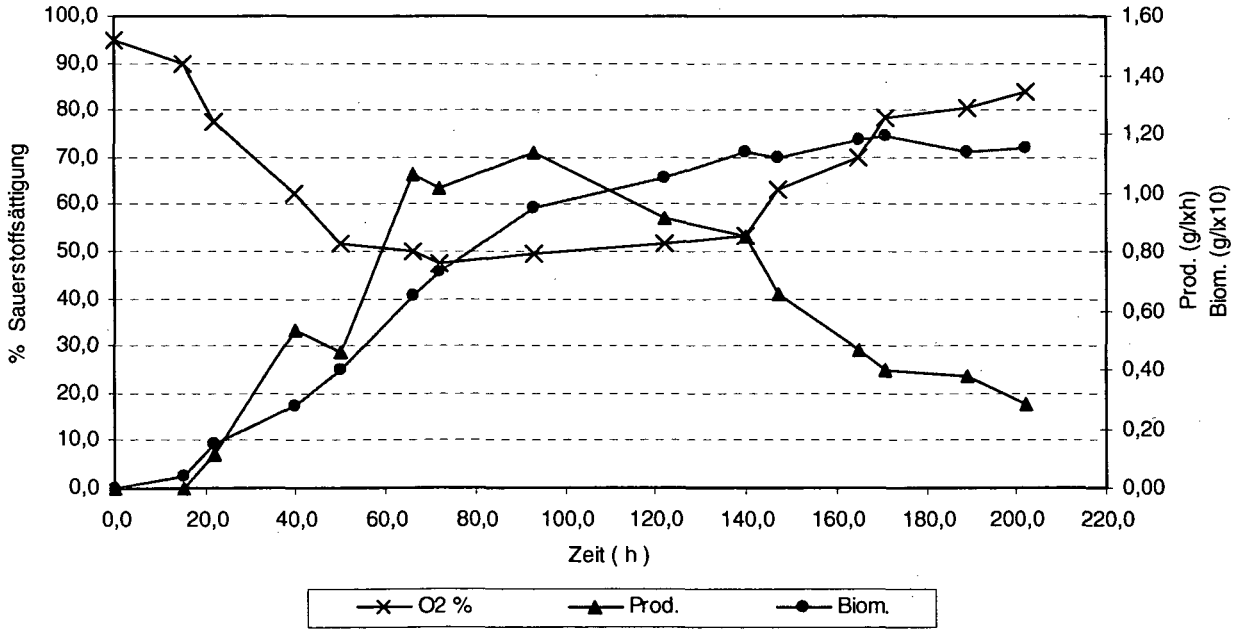
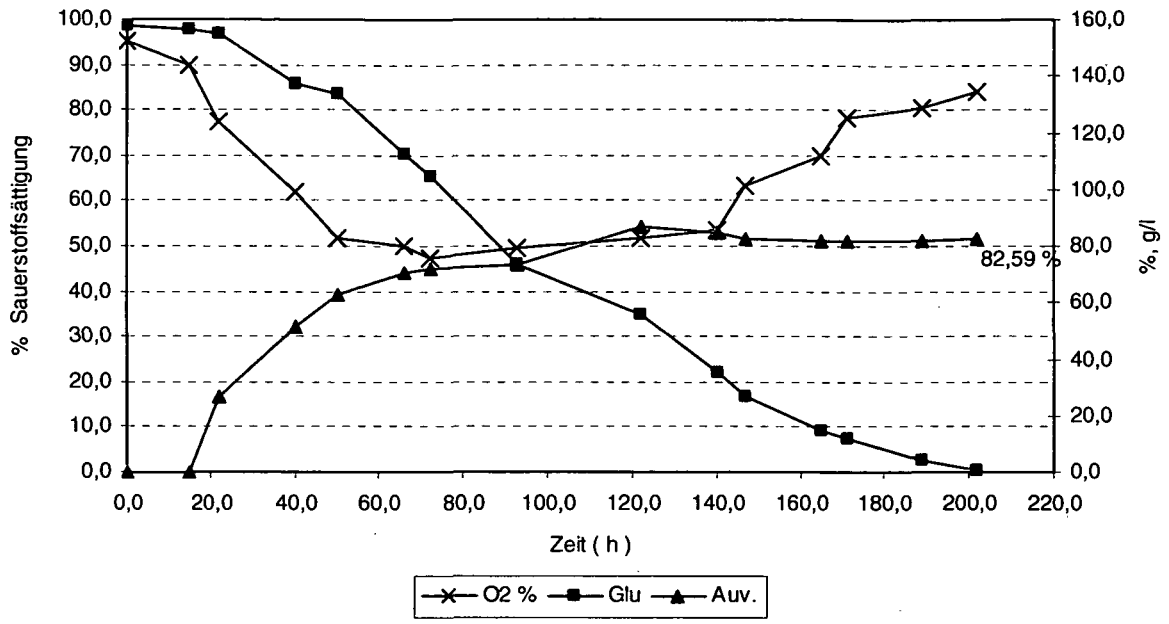


Diagramm 16.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.17 Versuch 17

Tabelle 17.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 17									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
0	0,0	158,0	0,0	0,00	0,00	3,40	95,0	0,00	0,00	33,5		
1	14,5	157,0	0,0	0,00	0,05	2,89	87,1	0,00	0,00	32,5	Sporen/l	0.0105 g Sporen
2	23,0	154,2	0,9	0,11	0,14	2,25	66,8	0,57	23,68	33,1		3.4 g Antischaum
3	38,5	147,3	3,6	0,17	0,37	2,12	62,3	2,25	33,27	32,4		20 µg Fe zudosiert
4	45,5	139,3	6,8	0,46	0,45	2,01	59,8	4,30	36,36	32,7		LUFTMENGE: 1l/min
5	62,5	127,3	16,7	0,58	0,67	2,08	62,1	10,57	54,40	31,9	Luft	1 l/min
6	69,0	118,7	21,4	0,72	0,72	2,12	59,4	13,54	54,45	33,0	Fe	20,0 µg / L
7	87,0	99,9	40,0	1,03	0,75	2,07	62,4	25,32	68,85	32,4	Mn	0,25 µg / L
8	92,5	92,2	45,9	1,07	0,81	2,06	61,8	29,05	69,76	31,9		
9	111,0	74,3	65,4	1,05	0,85	2,04	65,3	41,39	78,14	33,0		
10	157,0	34,9	108,9	0,95	1,03	1,91	67,2	68,92	88,46	33,2		
11	167,0	24,9	117,0	0,81	1,13	1,93	67,7	74,05	87,90	32,8		
12	183,0	14,8	126,0	0,56	1,16	1,78	69,5	79,75	87,99	33,0		
13	191,0	9,2	129,0	0,38	1,13	1,89	67,7	81,65	86,69	31,6		
14	210,0	4,1	132,2	0,17	1,16	1,82	65,5	83,67	85,90	32,3		
15	220,0	0,0	133,2	0,10	1,18	1,75	67,8	84,30	84,30	33,0		

Diagramm 17.1, Allgemeine Daten:

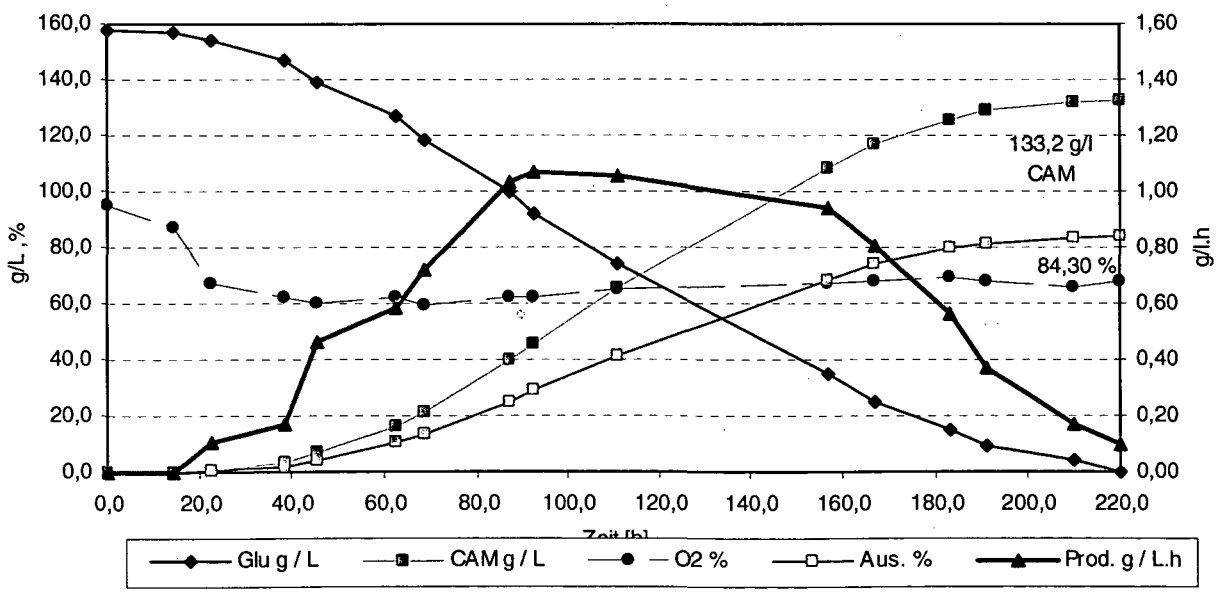


Diagramm 17.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

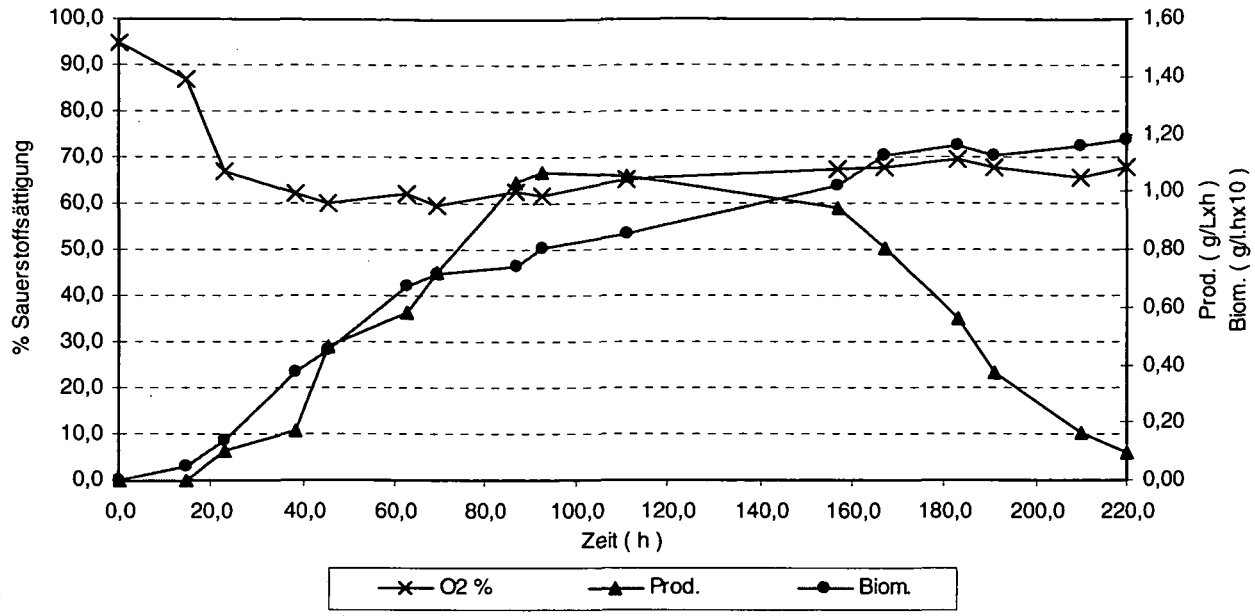
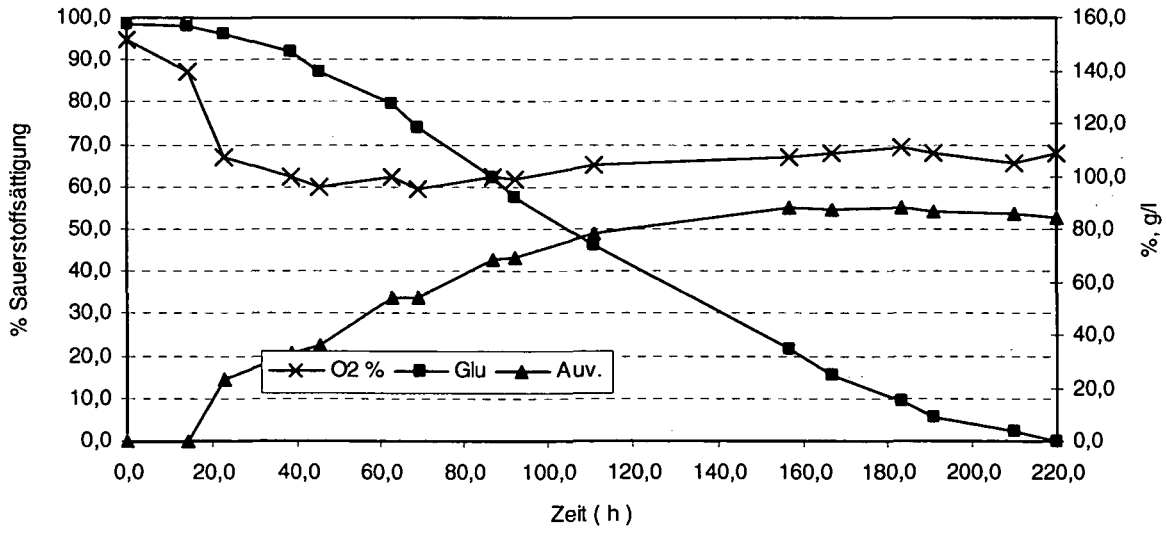


Diagramm 17.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.18 Versuch 18

Tabelle 18.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 18									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / Lx10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
0	0,0	159,5	0,0	0,00	0,00	3,08	95,0	0,00	0,00	33,0	Sporen/l	$1{,}7*10^{10}$
1	19,0	156,3	0,2	0,01	0,14	2,45	54,2	0,13	6,25	32,5		3,8 g Antischaum
2	24,0	152,2	1,1	0,18	0,26	2,24	55,3	0,69	15,07	32,0		20 µg Fe zudosiert
3	43,0	141,0	7,0	0,31	0,41	1,93	53,3	4,39	37,84	32,3	Luft	0,7 l/min
4	47,0	140,1	8,9	0,48	0,44	1,83	55,5	5,58	45,88	31,9	Fe	20,0 µg / L
5	67,0	124,2	20,3	0,57	0,65	1,66	60,6	12,73	57,51	32,4	Mn	0,25 µg / L
6	90,0	98,4	36,1	0,69	0,95	1,63	72,8	22,63	59,08	32,2		
7	114,0	70,9	58,5	0,93	1,07	1,71	71,3	36,68	66,03	32,7		
8	145,0	41,9	91,7	1,07	1,07	1,96	70,3	57,49	77,98	32,1		
9	163,0	23,8	110,9	1,07	1,11	1,87	69,7	69,53	81,72	31,7		
10	168,0	19,9	115,7	0,96	1,08	1,79	71,4	72,54	82,88	32,7		
11	187,0	10,1	126,2	0,55	1,13	1,95	72,6	79,12	84,47	32,9		
12	192,0	7,5	128,2	0,40	1,12	1,97	71,6	80,38	84,34	31,6		
13	211,0	6,9	131,7	0,18	1,16	1,89	74,9	82,57	86,30	31,9		
14	220,0	4,1	132,8	0,12	1,12	1,90	73,9	83,26	85,46	32,4		
15	229,0	2,0	133,1	0,03	1,15	1,78	76,4	83,45	84,51	33,0		

Diagramm 18.1, Allgemeine Daten:

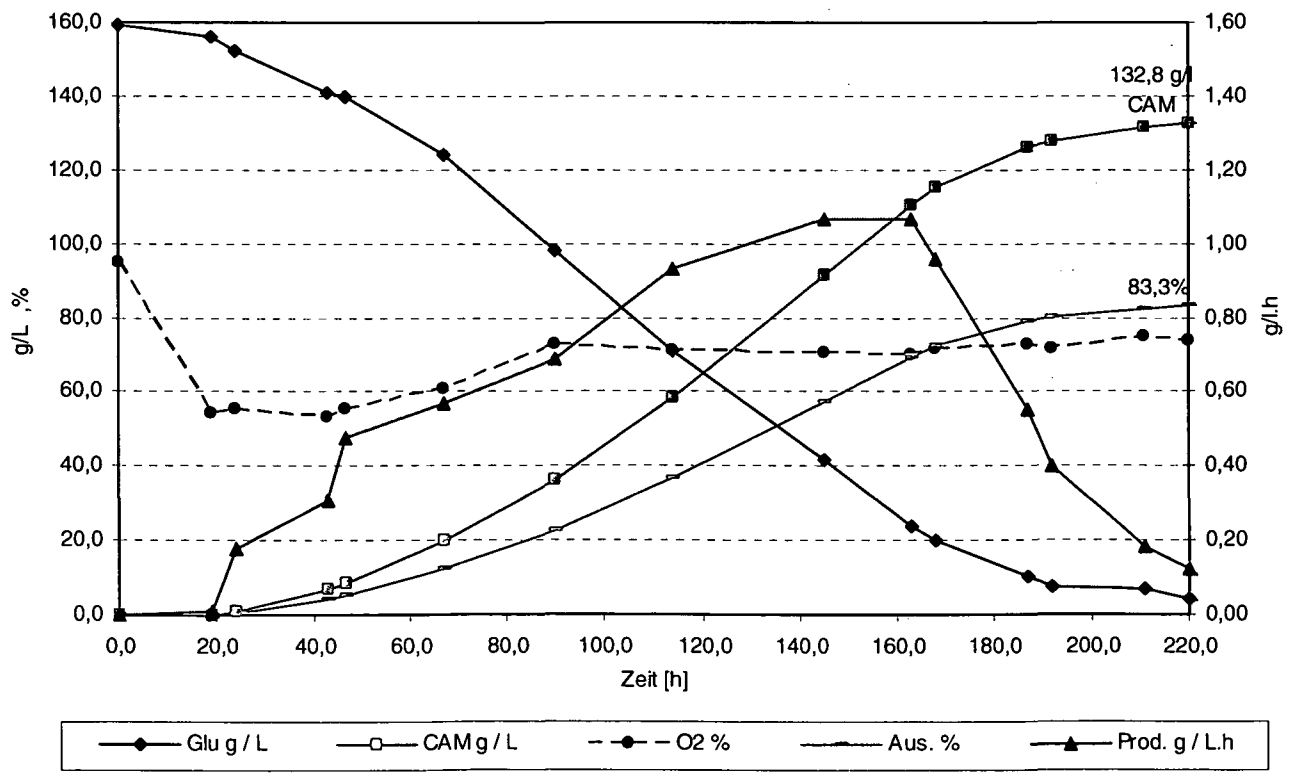


Diagramm 18.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

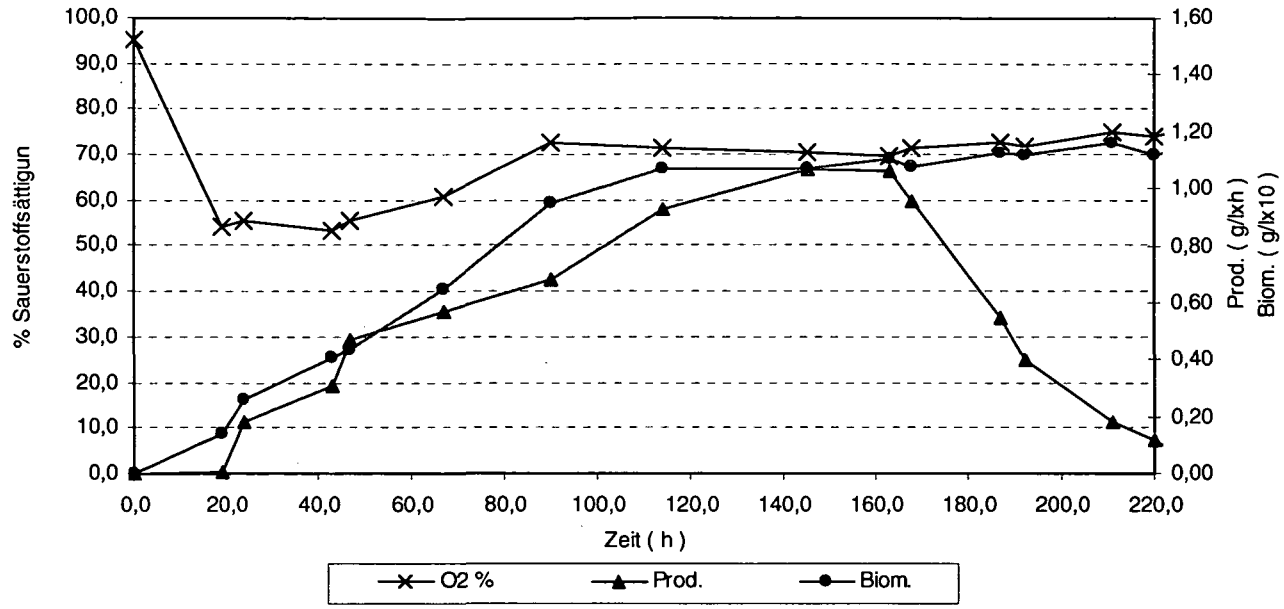
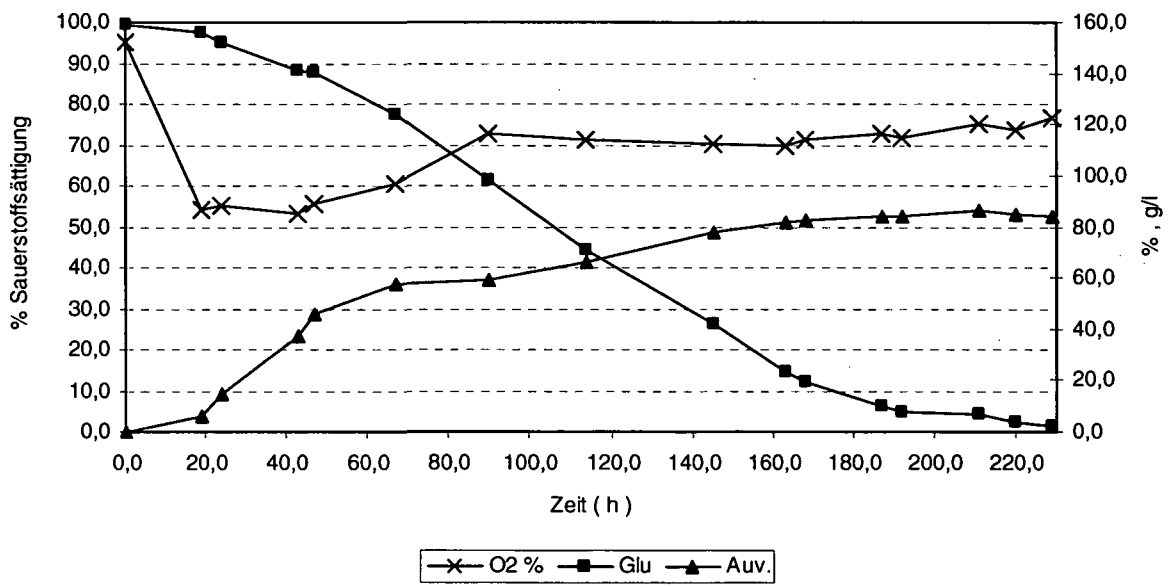


Diagramm 18.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.19 Versuch 19

Tabelle 19.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 19									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / Lx10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
0	0,0	154,3	0,0	0,00	0,00	3,36	94,5	0,00	0,00	32,0	Sporen/l	$1,7*10^{10}$
1	25,0	146,8	0,8	0,03	0,29	2,28	63,5	0,52	10,67	32,1		3,28g Antischaum
2	49,0	133,8	9,8	0,38	0,46	2,05	55,0	6,35	47,80	32,6	Luft	0,7 l/min
3	71,0	113,7	19,2	0,43	0,75	2,04	56,5	12,44	47,29	32,1	Fe	22,0 µg / L
4	83,0	101,4	28,9	0,81	0,85	2,01	57,9	18,73	54,63	32,4	Mn	0,25 µg / L
5	89,0	93,1	34,2	0,88	0,94	2,05	57,7	22,16	55,88	32,6		
6	102,0	81,3	48,0	1,06	0,95	2,08	58,2	31,11	65,75	32,9		
7	110,0	75,8	56,6	1,08	0,99	2,09	55,4	36,68	72,10	32,7		
8	122,0	65,9	69,0	1,03	1,00	2,06	54,7	44,72	78,05	32,5		
9	135,0	54,5	83,6	1,12	1,05	2,03	57,0	54,18	83,77	32,3		
10	147,0	43,2	95,6	1,00	1,03	2,01	61,5	61,96	86,05	32,1		
11	152,0	37,2	99,2	0,72	1,07	1,88	65,0	64,29	84,71	31,9		
12	173,0	20,3	113,5	0,68	1,05	1,72	69,9	73,56	84,70	31,3		
13	197,0	8,2	124,3	0,45	1,12	1,73	70,5	80,56	85,08	31,4		
14	217,0	0,0	126,2	0,10	1,14	1,75	84,1	81,79	81,79	32,0		

Diagramm 19.1, Allgemeine Daten:

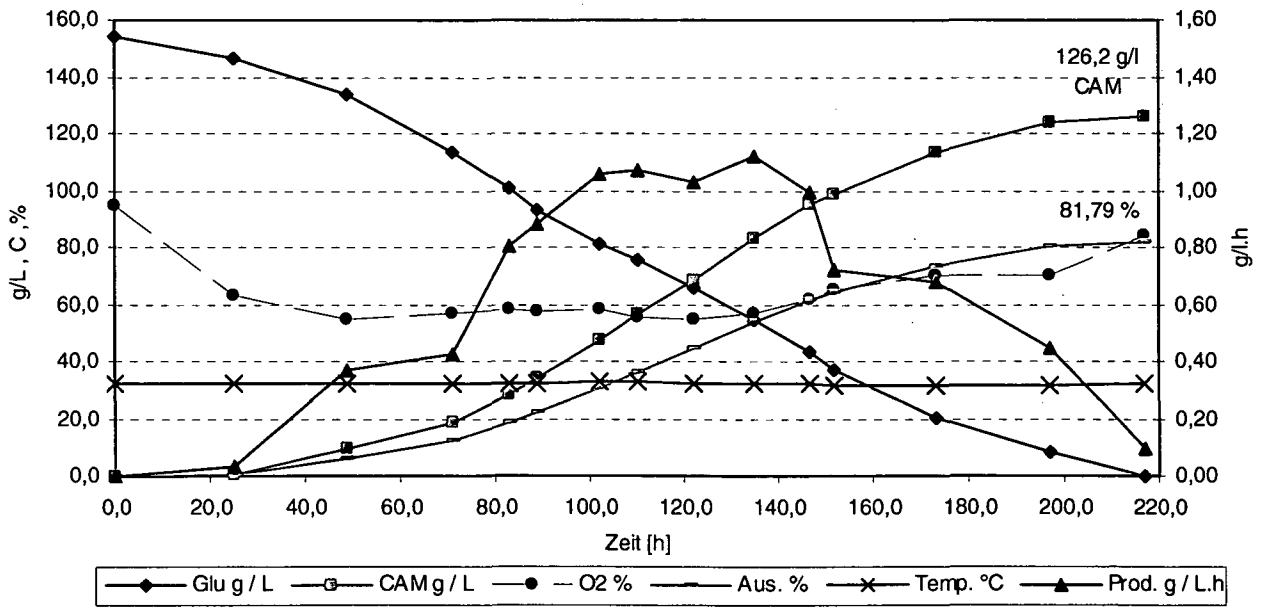


Diagramm 19.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

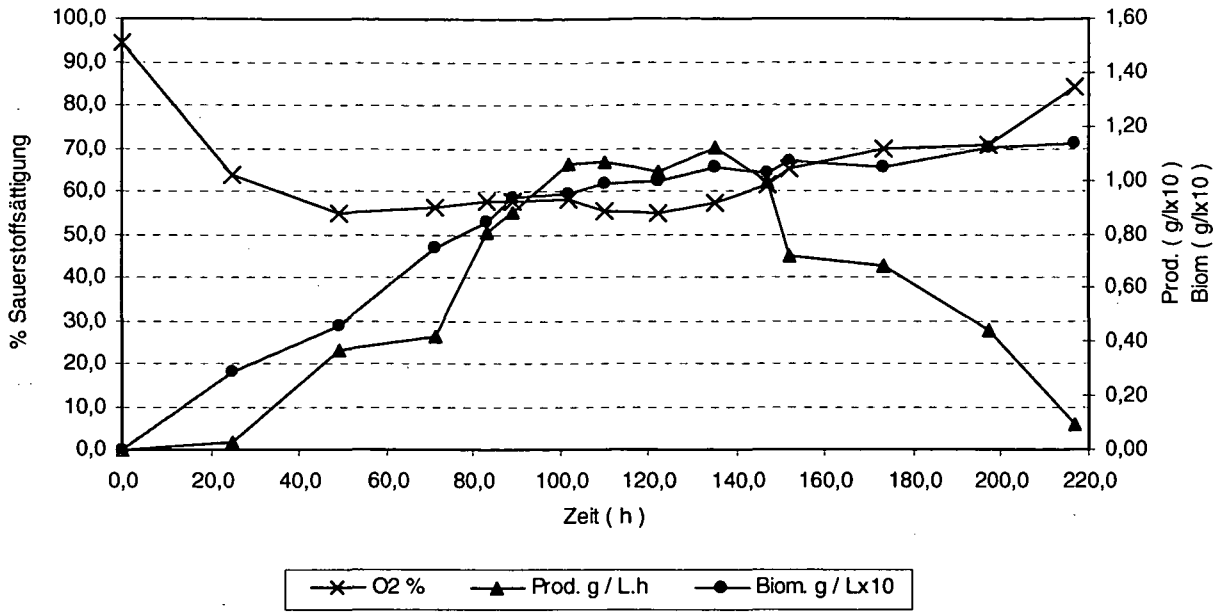
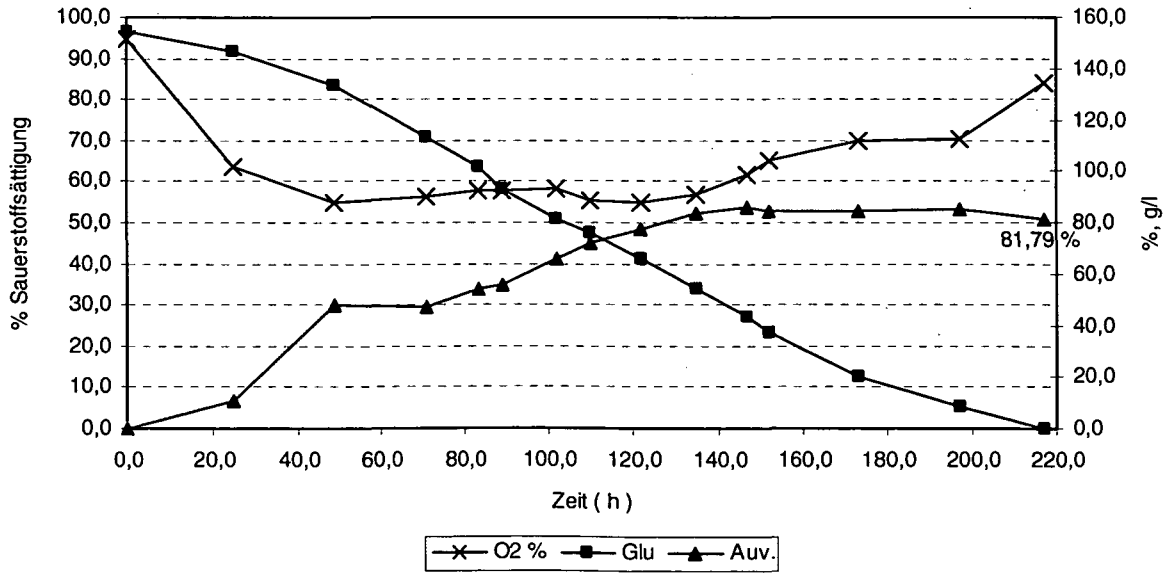


Diagramm 19.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.20 Versuch 20

Tabelle 20.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 20									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
0	0,0	156,1	0,0	0,00	0,00	3,31	95,0	0,00	0,00	32,5	Sporen	0.0091 g Sporen
1	24,0	152,5	0,6	0,03	0,08	2,81	80,0	0,38	16,67	32,1		3.0 g Antischaum
2	34,0	146,0	2,1	0,15	0,18	2,65	75,2	1,35	20,79	32,8		20 µg Fe zudosiert
3	51,0	126,9	10,1	0,47	0,42	2,10	63,7	6,47	34,59	32,1	Luft	0,30l/min
4	74,0	112,9	21,9	0,51	0,49	1,76	52,4	14,03	50,69	31,9	Fe	24,8 µg / L
5	82,0	98,1	27,0	0,64	0,72	1,85	49,8	17,30	46,55	32,8	Mn	0,29 µg / L
6	96,0	86,9	37,9	0,78	0,83	1,90	46,0	24,28	54,77	32,4		
7	104,0	80,6	44,3	0,80	0,91	1,70	43,0	28,38	58,68	32,6		
8	119,0	69,7	57,0	0,85	0,92	1,89	45,9	36,52	65,97	32,8		
9	126,0	64,6	63,1	0,87	0,96	1,83	46,5	40,42	68,95	32,1		
10	143,0	51,4	76,3	0,78	0,91	1,80	62,3	48,88	72,87	31,5		
11	167,0	38,7	92,4	0,67	1,02	1,84	69,5	59,19	78,71	31,3		
12	191,0	21,6	107,1	0,61	1,07	1,74	73,2	68,61	79,63	31,8		
13	200,0	16,3	111,3	0,47	1,02	1,81	76,8	71,30	79,61	32,4		
14	220,0	12,8	115,6	0,22	1,08	1,76	82,7	74,06	80,67	32,5		
15	240,0	7,2	119,2	0,18	1,12	1,84	82,9	76,36	80,05	32,1		
16	262,0	0,0	120,1	0,04	1,08	1,79	85,2	76,94	76,94	31,9		

Diagramm 20.1, Allgemeine Daten:

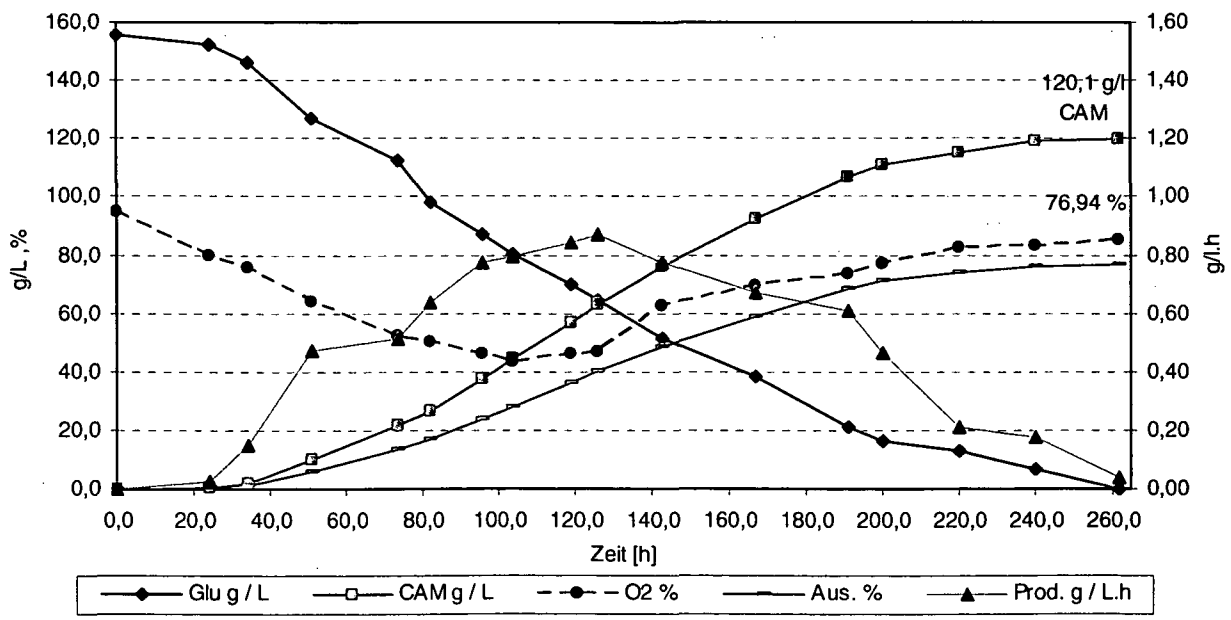


Diagramm 20.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

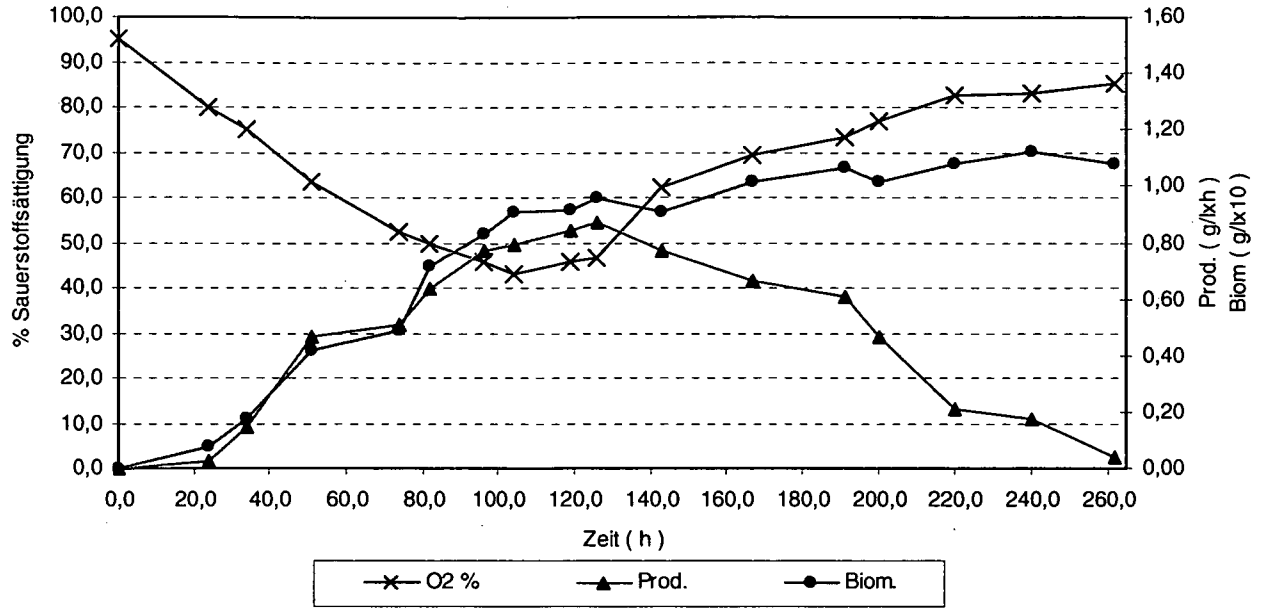
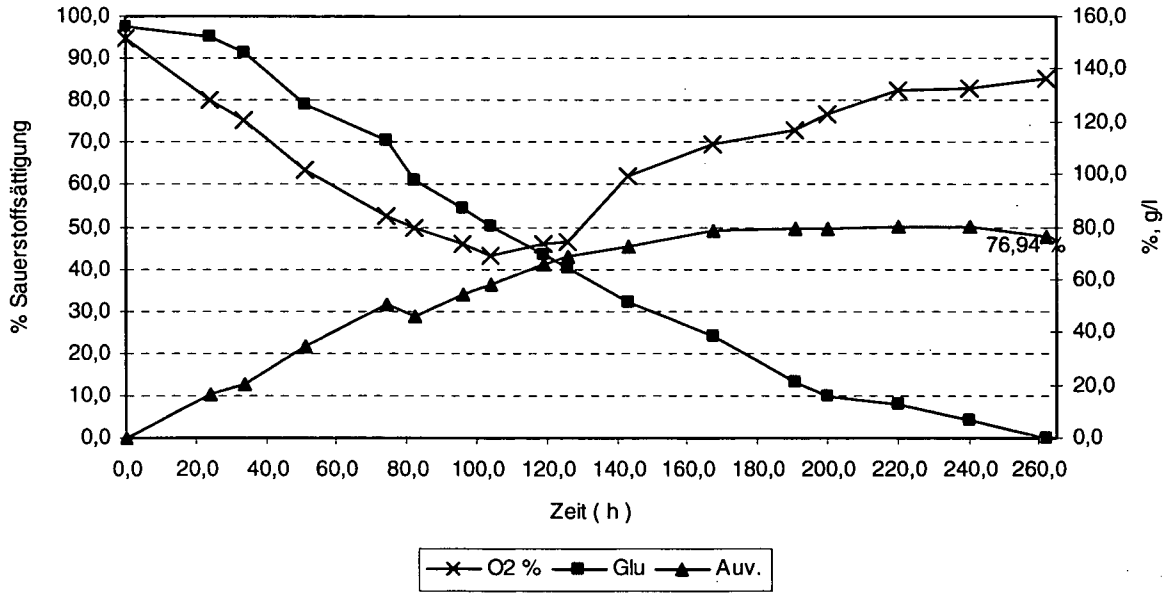


Diagramm 20.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.21 Versuch 21

Tabelle 21.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 21									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
0	0,0	160,3	0,0	0,00	0,00	3,31	95,0	0,00	0,00	32,5	Sporen	0.0103 g Sporen
1	18,0	157,3	0,0	0,00	0,08	2,81	80,0	0,00	0,00	32,1		3.3 g Antischaum
2	30,0	150,1	1,9	0,16	0,18	2,65	75,2	1,19	18,63	32,8		20 µg Fe zudosiert
3	42,0	141,4	6,1	0,35	0,42	2,10	63,7	3,81	32,28	32,1	Luft	0,30 l/min
4	52,0	132,9	11,9	0,58	0,49	1,76	52,4	7,42	43,43	31,9	Fe	20,1 µg / L
5	67,0	116,3	20,7	0,59	0,72	1,85	49,8	12,91	47,05	32,8	Mn	0,27 µg / L
6	77,0	107,6	28,1	0,74	0,83	1,90	46,0	17,53	53,32	32,4		
7	90,0	98,2	38,9	0,83	0,91	1,70	43,0	24,27	62,64	32,6		
8	100,0	89,8	48,0	0,91	0,92	1,89	45,9	29,94	68,09	32,8		
9	120,0	73,6	65,2	0,86	0,96	1,83	46,5	40,67	75,20	32,1		
10	138,0	61,4	80,5	0,85	0,91	1,80	62,3	50,22	81,40	31,5		
11	147,0	53,7	87,7	0,80	1,02	1,84	69,5	54,71	82,27	31,3		
12	165,0	36,1	101,4	0,76	1,07	1,74	73,2	63,26	81,64	31,8		
13	189,0	20,7	114,0	0,53	1,02	1,81	76,8	71,12	81,66	32,4		
14	210,0	13,9	119,9	0,28	1,08	1,76	82,7	74,80	81,90	32,5		
15	220,0	6,9	122,9	0,30	1,12	1,84	82,9	76,67	80,12	32,1		
16	258,0	0,0	125,6	0,07	1,08	1,79	85,2	78,35	78,35	31,9		

Diagramm 21.1, Allgemeine Daten:

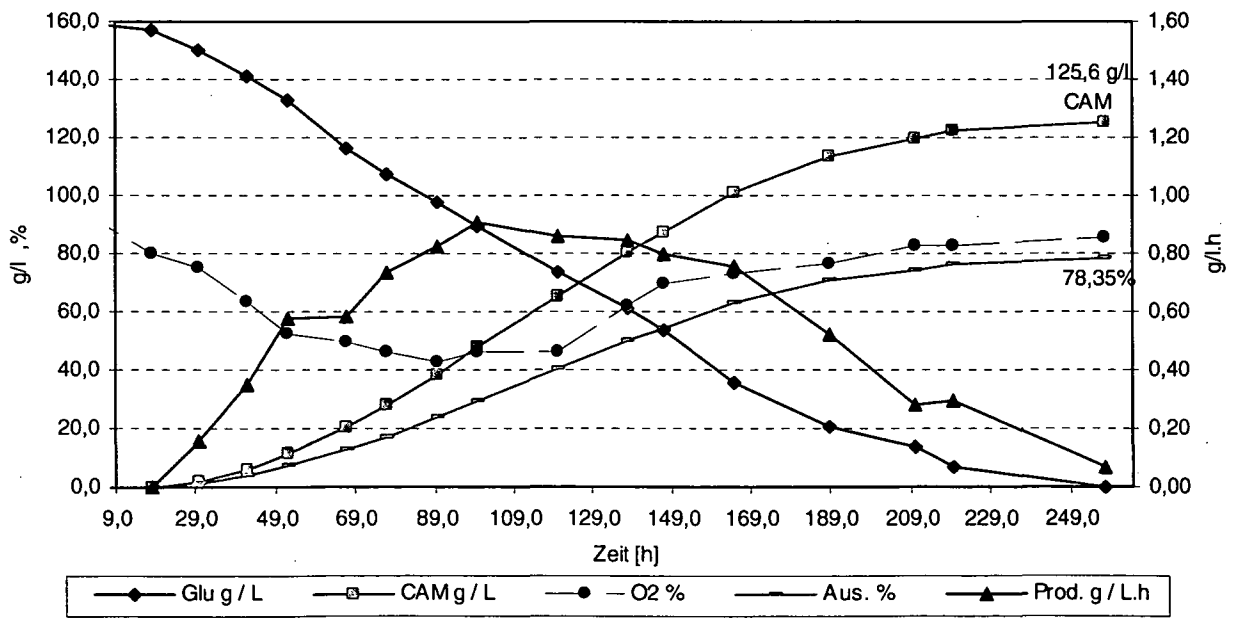


Diagramm 21.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

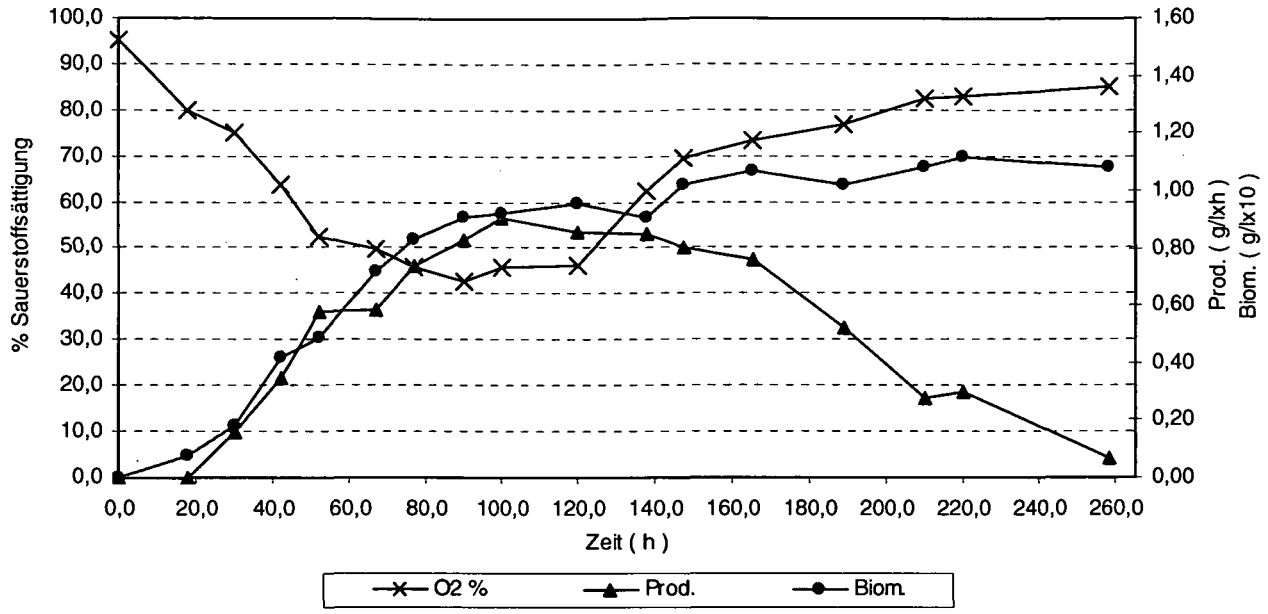
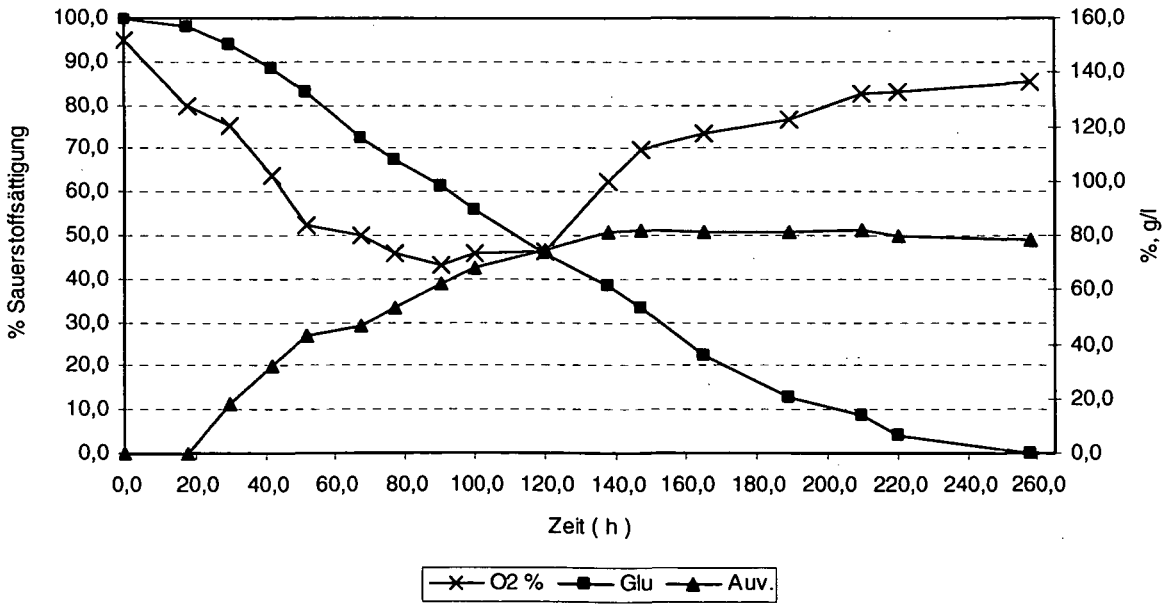


Diagramm 21.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.22 Versuch 22

Tabelle 22.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 22									
Pr.	Ferm.	Glu	CAM	Prod.	Biom.	pH	O2	Aus.	Auv.	Temp.	Bemerkungen	
Nr.	h	g / L	g / L	g / L.h	g / Lx10		%	%	%	°C		
1	0,0	159,1	0,0	0,00	0,00	3,25	95,0	0,00	0,00	33,0	Sporen/l	$7{,}9.10^9$
2	21,0	154,2	0,5	0,02	0,10	2,62	75,1	0,32	10,20	32,1		0.099 g Sporen
3	31,0	146,1	2,2	0,17	0,21	2,24	69,4	1,43	16,98	32,7		3,0g Antischaum
4	44,0	138,9	6,4	0,32	0,32	1,91	50,2	4,15	31,68	32,6		20 ppb Eisenzugabe
5	54,0	129,9	10,6	0,42	0,45	1,83	35,0	6,87	36,30	32,1	Luft	0,10 l/min
6	66,0	118,7	15,2	0,38	0,65	1,76	25,2	9,86	37,65	31,3	Fe	19,0 µg / L
7	76,0	114,1	18,3	0,31	0,79	1,82	15,2	11,87	40,67	31,8	Mn	0,31 µg / L
8	100,0	106,7	23,3	0,21	0,85	1,90	1,0	15,11	44,42	32,4		
9	115,0	97,4	25,5	0,15	0,89	1,83	5,3	16,54	41,33	32,8		
10	126,0	94,3	27,1	0,15	0,89	1,75	6,2	17,57	41,82	33,0		
11	139,0	89,5	29,3	0,17	0,94	1,85	5,1	19,00	42,10	33,2		
12	169,0	82,5	33,2	0,13	0,97	1,80	4,3	21,53	43,34	33,1		
13	189,0	77,2	35,6	0,12	1,05	1,76	7,3	23,09	43,47	32,1		
14	214,0	71,5	39,1	0,14	1,03	1,71	8,3	25,36	44,63	32,7		
15	224,0	64,9	40,1	0,10	1,07	1,91	9,9	26,01	42,57	31,4		
16	238,0	58,3	42,2	0,15	1,12	1,88	10,2	27,37	41,87	32,1		
17	262,0	51,7	43,8	0,07	1,18	1,85	12,1	28,40	40,78	31,9		
18	272,0	46,2	45,2	0,14	1,20	1,92	8,4	29,31	40,04	33,0		
19	286,0	43,3	46,3	0,08	1,22	1,89	10,5	30,03	39,98	33,0		
20	309,0	37,3	47,1	0,03	1,18	1,84	14,2	30,54	38,67	32,3		
21	321,0	32,9	48,2	0,09	1,15	1,81	12,1	31,26	38,19	31,4		
22	340,0	28,2	49,1	0,05	1,21	1,79	15,2	31,84	37,51	31,5		

Diagramm 22.1, Allgemeine Daten:

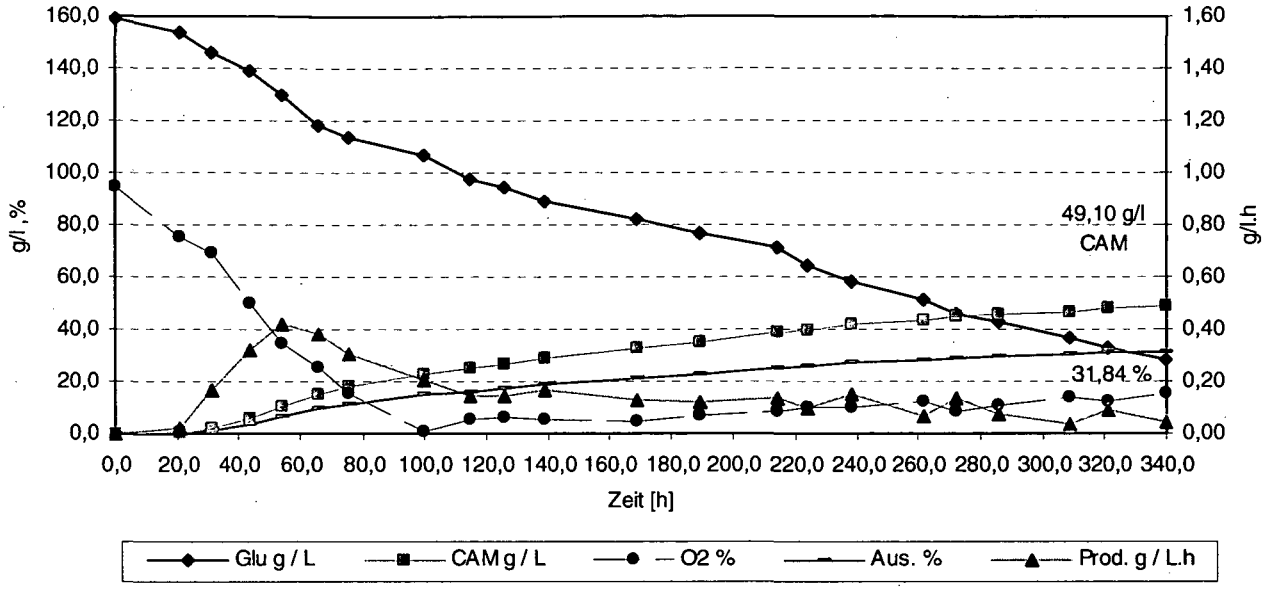


Diagramm 22.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

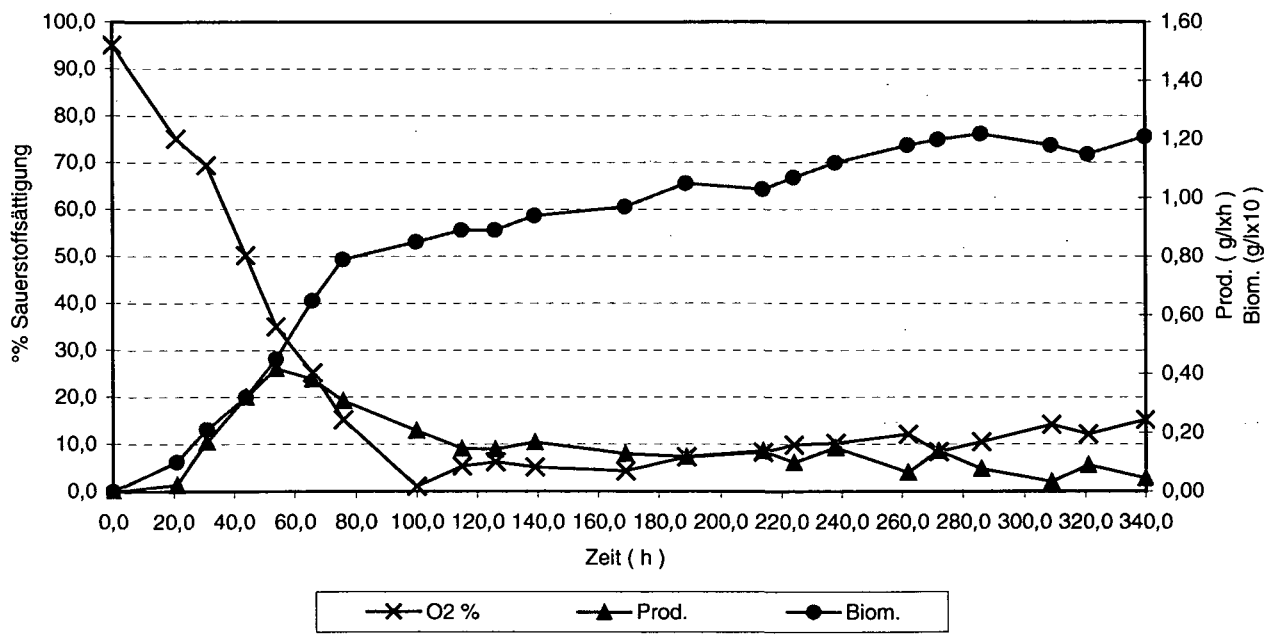
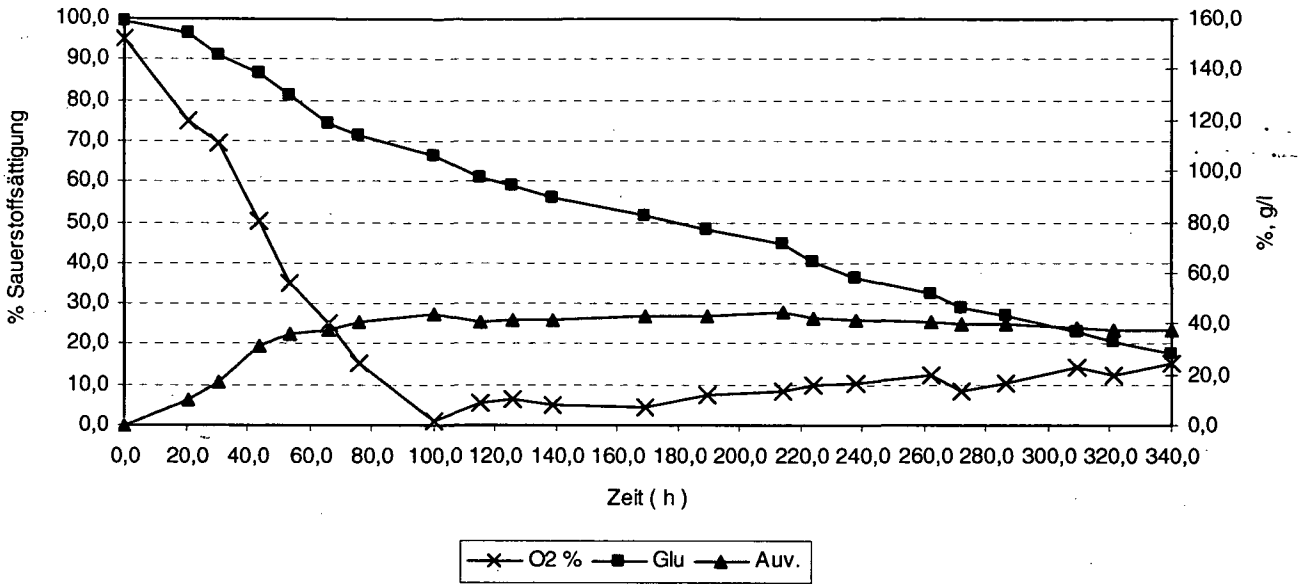


Diagramm 22.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



6.05.23 Versuch 23

Tabelle 23.1:

Sporen: A. Niger			Versuch: 23									
Pr.	**Ferm.**	**Glu**	**CAM**	**Prod.**	**Biom.**	**pH**	**O2**	**Aus.**	**Auv.**	**Temp.**	**Bemerkungen**	
Nr.	**h**	**g / L**	**g / L**	**g / L.h**	**g / Lx10**		**%**	**%**	**%**	**°C**		
1	0,0	154,5	0,0	0,00	0,00	3,42	95,0	0,00	0,00	32,5	Sporen/l	$76{,}5.10^9$
2	24,0	150,2	0,3	0,01	0,10	2,84	77,3	0,20	6,98	31,3		0.099 g Sporen
3	34,0	143,2	1,9	0,16	0,21	2,52	65,2	1,26	16,81	31,9		3,0g Antischaum
4	49,0	137,3	6,5	0,31	0,32	2,19	40,5	4,33	37,79	32,7		20 ppb Eisenzugabe
5	60,0	126,4	11,7	0,47	0,45	2,05	31,8	7,79	41,64	33,2	Luft	0,10 l/min
6	74,0	118,7	14,9	0,23	0,65	1,93	13,1	9,92	41,66	32,1	Fe	25,20 µg / L
7	83,0	112,1	16,8	0,21	0,79	1,87	2,0	11,19	39,62	31,8	Mn	0,36 µg / L
8	97,0	108,3	19,5	0,19	0,85	1,81	3,1	12,98	42,21	33,3		
9	108,0	100,3	21,2	0,15	0,89	1,75	4,2	14,11	39,11	33,1		
10	120,0	92,2	23,4	0,18	0,89	1,82	5,2	15,58	37,56	33,2		
11	130,0	87,8	24,8	0,14	0,94	1,76	3,2	16,51	37,18	33,6		
12	144,0	83,6	26,8	0,14	0,97	1,81	3,9	17,84	37,80	31,5		
13	168,0	75,3	31,1	0,18	1,05	1,78	5,1	20,71	39,27	31,7		
14	193,0	73,2	34,2	0,12	1,03	1,84	5,9	22,77	42,07	31,8		
15	215,0	61,9	36,2	0,09	1,07	1,80	3,1	24,10	39,09	32,2		
16	225,0	56,9	37,9	0,17	1,12	1,77	2	25,23	38,83	32,7		
17	241,0	52,4	40,0	0,13	1,18	1,85	5,9	26,63	39,18	32,5		
18	265,0	43,9	42,1	0,09	1,20	1,81	6,3	28,03	38,07	32,1		
19	285,0	42,6	43,9	0,09	1,22	1,78	9,3	29,23	39,23	32,9		
20	310,0	39,3	45,1	0,05	1,18	1,75	8,3	30,03	39,15	32,6		
21	340,0	35,7	46,1	0,03	1,15	1,70	13,8	30,69	38,80	31,0		
22	369,0	31,2	46,9	0,03	1,21	1,69	10,2	31,23	38,04	32,2		

Diagramm 23.1, Allgemeine Daten:

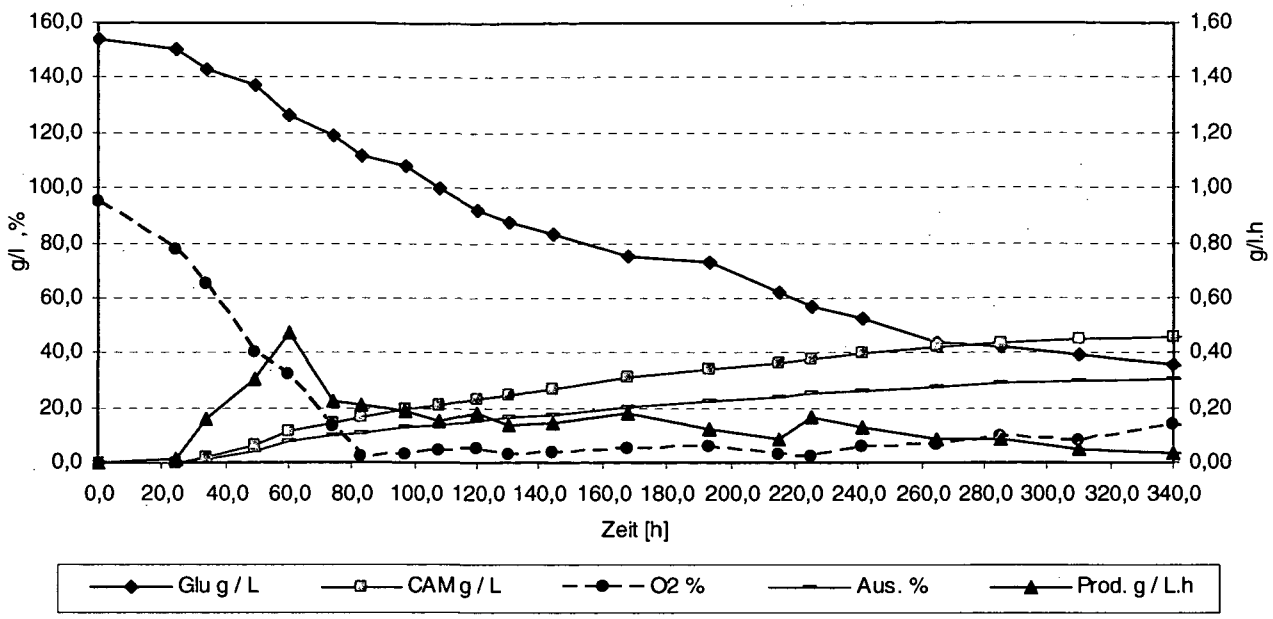


Diagramm 23.2 , Abhängigkeit der Produktivität von der Sauerstoffsättigung:

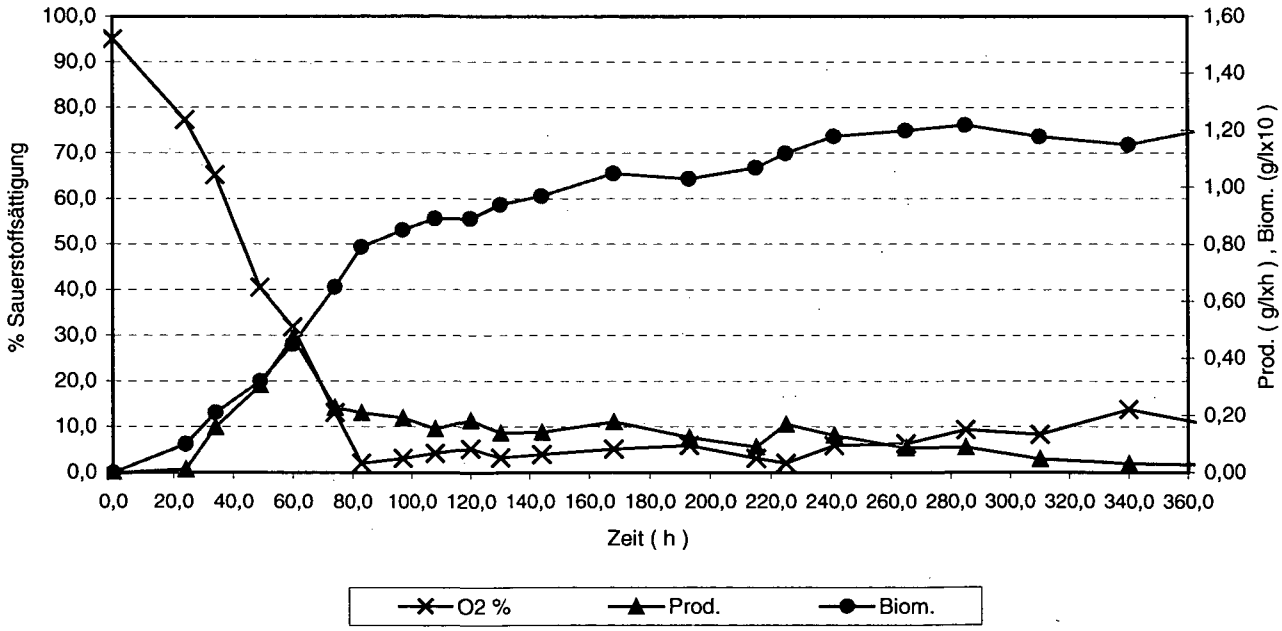
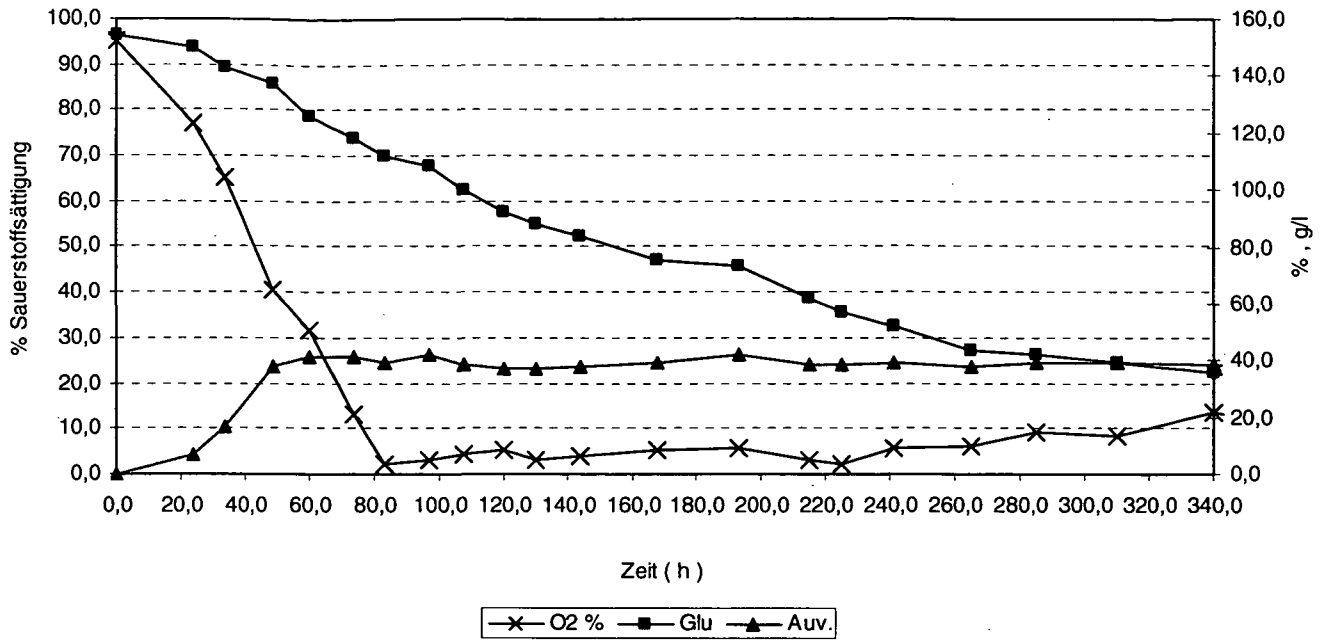


Diagramm 23.3 : Einfluss von Sauerstoffsättigung auf AuV (Ausbeute der Citronensäure zum verbrauchten Zucker)



Curriculum Vitae

Name :**Selahzadeh** First Name : **Mohammad Reza**

Title : **Diplom Engineer**

Date of Birth: **July 27, 1964**
Place of birth: **Teheran / Iran**
Nationality at birth: **Iran**
Present nationality: **Austrian**
Parents: **Mother: Khadijeh, Teacher High school in Iran**
Father : Morteza, General of Iranian Army
Marital status: **Married with Dr. Mitra Modaressi**
Present address: **Eroicagasse 4a**
1190 Vienna
Austria

EDUCATION :

1970 - 1975	Primary School
1975 - 1980	Secondary School
1980 -1986	Technical High School for Chemistry
1986 - 1991	Dipl.- Ing. Technical University of Vienna Thesis : Optimization of Citric Acid Fermentation Screening of high yielded *Aspergillus niger* strains through selection.

DATA OF EMPLOYMENT

1991- 1992 Work as University Assistant on the Institute of Biochemical Technology and Microbiology Technical University Vienna.

1991- 2003 Dr. Sc. techn. Thesis : Optimization of Citric acid Fermentation.

1992 - 1994 Work as consultant Biotechnologist in Austria (NESKOM Industrieanlagen Ges.m.b.H.) for the erection and Start up of Citric Acid Plant (16.000 t/a) in Kaznejov Czeck Republic.

- Supervision of erection
- Supervision of start up
- trainig of personell
- Guarantee test run

1994 -1995 Project manager of the project works for a Citric Acid plant in India (12000 tons/a) in cooperation with company Balcke Dürr Germany

1995 - Project works for Citric Acid plant in Egypt

1995- Work as Consultant of Biotechnologist in Italy (Biofin Laboratories) in the field of Antibiotics fermentation.