



# LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

## Betriebswirtschaftliche Untersuchungen zum Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion



Schriftenreihe

7  
2012  
ISSN 1611-4159



gefördert durch den  
Europäischen Fischereifonds  
2007 – 2013 (EFF)



## **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Redaktion: Institut für Fischerei  
Weilheimer Straße 8, 82319 Starnberg  
E-Mail: [Fischerei@LfL.bayern.de](mailto:Fischerei@LfL.bayern.de)  
Telefon: 08151 2692-121

1. Auflage: August 2012

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 15,00 Euro

© LfL



**Betriebswirtschaftliche Untersuchun-  
gen zum Einsatz moderner Technik in  
der Forellenproduktion**  
EFF-Forschungsprojekt

**Dr. Reinhard Reiter**

**Dipl. Biol. Daniel Fey**

**M. Sc. Gregor Schmidt**



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b>	<b>Einleitung .....13</b>
<b>2</b>	<b>Projektphasen .....14</b>
<b>3</b>	<b>Wirtschaftlichkeit.....15</b>
3.1	Einleitung .....15
3.2	Produktionstechnische Kenndaten für die Forellenproduktion .....16
3.3	Investitionsbedarf .....17
3.4	Erfassung der Kosten für die eingesetzte Technik .....19
3.4.1	Zusammensetzung der Anschaffungskosten .....19
3.4.2	Ermittlung der jährlichen Festkosten .....22
3.4.3	Deckungsbeiträge .....22
<b>4</b>	<b>Kurzbeschreibung der installierten Geräte .....23</b>
4.1	Funktionsbeschreibung der Fischfütterungsanlage .....23
4.2	Funktionsbeschreibung der Sauerstoffeintragsgeräte.....25
4.2.1	Die Regulierung der Wasser- und Sauerstoffmenge .....26
4.3	Funktionsbeschreibung der Sauerstoffüberwachung und -steuerung.....27
4.3.1	Abänderung der Überwachungs-Software .....29
<b>5</b>	<b>Versuche zur Betriebsweise der installierten Technik.....32</b>
5.1	Fütterungsanlage .....32
5.1.1	Ermittlung des Futtermittelabriebes durch die Fütterungsanlage .....32
5.1.1.1	Ergebnisse der Abriebbestimmung .....33
5.1.1.2	Ergebnisse nach Einbau neuer Spiralförderschnecken.....34
5.1.2	Überprüfung der Wiegegenauigkeit .....37
5.1.2.1	Ergebnisse der Überprüfung der Wiegegenauigkeit .....37
5.1.2.2	Eichung der Waage .....38
5.1.3	Frequenz der Spiralschneckenmotoren .....38
5.1.4	Langzeitmessung der Wiegegenauigkeit.....39
5.2	Sauerstoffeintragssystem.....40
5.2.1	Ermittlung der Effektivität des Sauerstoffeintrags .....40
5.2.1.1	Ergebnisse .....40
5.2.2	Ermittlung der Durchflussmengen und der Sauerstoffkonzentration bei Betrieb der Water-Jet-Plattform .....43
5.2.2.1	Ergebnisse .....43
5.2.3	Überprüfung der Messgenauigkeit der Dryden-Sauerstoffsonden.....45

5.2.3.1	Ergebnisse .....	45
<b>6</b>	<b>Versuche zum Praxiseinsatz der installierten Technik.....</b>	<b>46</b>
6.1	Erfassung des Arbeitszeitbedarfes und Funktionskontrolle der Technik im laufenden Betrieb .....	46
6.1.1	Stand des Wissens .....	47
6.1.2	Zeitelementmethode .....	47
6.1.3	Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes bei Handfütterung .....	48
6.1.4	Ergebnisse der Arbeitszeiterfassung durch Handfütterung .....	48
6.1.5	Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes für Wartungsarbeiten .....	49
6.2	Aufzuchtversuche .....	50
6.2.1	Aufzuchtversuche mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz I .....	50
6.2.1.1	Ergebnisse der Aufzuchtversuche mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz I .....	50
6.2.2	Aufzuchtversuche mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz II.....	52
6.2.2.1	Ergebnisse des Aufzuchtversuchs mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz II .....	53
6.2.3	Versuche zur Nachtfütterung verschiedener Salmonidenarten .....	55
6.2.3.1	Stand des Wissens .....	55
6.2.3.2	Nachtfütterungsversuch mit Amerikanischen Seesaiblingen.....	57
6.2.3.3	Ergebnisse der Nachtfütterungsversuche mit Amerikanischen Seesaiblingen.....	57
6.2.3.4	Nachtfütterungsversuch mit Regenbogenforellen.....	58
6.2.3.5	Ergebnisse der Nachtfütterung von Regenbogenforellen.....	59
6.2.3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse bei Tag-/Nachtfütterung.....	63
6.3	Wasseranalysen .....	64
<b>7</b>	<b>Probleme bei der Aufzucht.....</b>	<b>66</b>
7.1	Futtermittelverweigerung .....	66
7.2	Fraßdruck durch Prädatoren .....	66
7.3	Sauerstoffmangel.....	70
<b>8</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsberechnungen .....</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>Planungshilfen .....</b>	<b>81</b>
9.1	Fütterungsanlage .....	81
9.2	Sauerstoffeintrag durch Water-Jet-Plattformen.....	82
9.3	Sauerstoffüberwachungstechnik.....	84
9.4	Fressfeinde .....	84
<b>10</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>84</b>

<b>11</b>	<b>Veröffentlichungen und Vorträge zum Projekt .....</b>	<b>85</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Darstellung der Projektphasen im Zeitverlauf. ....	14
Abb. 2: Motivation zur Investition (verändert nach Jagnow et al., 2002).....	15
Abb. 3: Wert des Investitionsgutes bei einer Nutzungsdauer von 5 bzw. 10 Jahren. (Der halbe Neuwert ist über die gesamte Nutzungsdauer gebunden). ....	18
Abb. 4: Übersichtsplan der Teiche .....	23
Abb. 5: Teilkomponenten der Fischfütterungsanlage. ....	24
Abb. 6: Rotationsverteiler (Nrn. 2 und 3) und Futterrohrleitungen (Nr. 1) zu den Versuchsteichen. ....	24
Abb. 7: Schematischer Querschnitt (links Frontalansicht, rechts seitlicher Querschnitt) und Funktionsprinzip einer Water-Jet-Plattform.....	25
Abb. 8: Regulierung der Wasser- und Sauerstoffmenge für die Water-Jet- Plattform. Die linke Abbildung zeigt einen Stopfen (1) der zum Verschließen der einzelnen Düsen (2, Querschnitt) in der Düsenplatte eingesetzt wurde. Die Edelstahllöse (3) ist optional. Die rechte Abbildung zeigt die Einheit zur Sauerstoffmengenregulierung eines Water-Jets. Durch den unteren blauen Schlauch gelangt gasförmiger Sauerstoff zu den Durchflussmengenmessern (1 + 2). Je nach Sauerstoffbedarf werden nur der erste oder beide Durchflussmengenmesser durch die Magnetventile ( $M_1 + M_2$ ) geöffnet. Durch die Reglerventile ( $R_1 + R_2$ ) lässt sich die Menge des Sauerstoffs einstellen. Durch den oberen blauen Schlauch gelangt Sauerstoff in die Water-Jet-Plattform. ....	27
Abb. 9: Übersicht zweier Versuchsteiche, die mit der oben beschriebenen Technik ausgestattet wurden. Links oben ist der Bildausschnitt einer Futterauswurfdüse der Fütterungsanlage zu sehen. Rechts oben ist eine Sauerstoffsonde dargestellt, die in der Nähe des Teichablaufes installiert ist und kontinuierlich den Sauerstoffgehalt des Teiches misst. Die Sauerstoffeintragssysteme (grüne Kästen) sind an den Teicheinläufen installiert und reichern das Wasser mit Reinsauerstoff an, der über die blauen Schläuche geliefert wird. ....	28
Abb. 10: Tagesaufzeichnung (24 h) der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf vor Abänderung der Steuerungssoftware (dunkelblaue Linie = Sauerstoff- Sollwert; hellblaue Linie = Sauerstoff-Istwert).....	30
Abb. 11: Tagesaufzeichnung (24 h) der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf nach Abänderung der Steuerungssoftware. ....	30
Abb. 12: Wochenaufzeichnung der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf vor Abänderung der Steuerungssoftware. ....	31
Abb. 13: Wochenaufzeichnung der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf nach Abänderung der Steuerungssoftware. ....	31
Abb. 14: Ermittelte Abrieb eines Futtermittels (Laichfischfutter, 9 mm). Die beiden oberen Schälchen zeigen Bruchstücke bzw. Abrieb von 1 kg Futter aus einem 25 kg Futtersack. Gesamtgewicht: 1,2 g. Die unteren drei Schälchen zeigen Bruchstücke bzw. Abrieb von 1 kg des gleichen Futters nach Passage durch die Fütterungsanlage. Gesamtgewicht: 28,2 g. ....	33
Abb. 15: Ermittelte Abriebmengen verschiedener Futterpelletgrößen an unterschiedlichen Probenentnahmeorten der Fütterungsanlage (Ref = Referenzprobe, HA = Handfutterausgabe, T = Teich). ....	34



Abb. 16: Das linke Bild zeigt Stücke der beiden getesteten Spiralförderschnecken. Wie man gut erkennen kann, unterscheiden sich die beiden Modelle deutlich in ihrem Durchmesser. Das obere Modell wurde im Auslieferungszustand eingebaut und verursachte hohe Abriebmengen beim Futtertransport. Der Wechsel zu dem darunter dargestellten, kleineren Modell erbrachte eine deutliche Reduzierung der Abriebmengen. Das rechte Bild zeigt eine eingebaute Spiralförderschnecke Dm 55 am Boden eines Futtersilos. Der Abstand zwischen Schneckenrand und Futterleitungsrohr hat sich gegenüber dem vorherigen Modell vergrößert. ....	35
Abb. 17: Ermittelte Abriebmengen nach Einbau des Spiralförderschnecken-Modells Dm 55. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den ermittelten Abriebmengen der Spiralförderschnecken Dm 75, wurde die gleiche Skalierung der Ordinate wie in Abb. 15 gewählt. ....	36
Abb. 18: Effektivität des Sauerstoffeintrags in Abhängigkeit vom Verhältnis Wasserzulauf zu Sauerstoffzufuhr (Mittelwerte bei 6, 8, 10 und 12 geöffneten Düsen pro Eintragsgerät).....	41
Abb. 19: Effektivität des Sauerstoffeintrags bei unterschiedlicher Anzahl geöffneter Düsen. ....	42
Abb. 20: Effektivität des Sauerstoffeintrags bei unterschiedlicher Höhendifferenz zwischen Zuleiter und Teichoberfläche (Mittelwerte bei 6 und 12 geöffneten Düsen pro Eintragsgerät).....	42
Abb. 21: Seitenansicht des Water-Jet-Systems mit Sauerstoffpolster. ....	44
Abb. 22: Verlauf der Abflussmenge in Abhängigkeit von der Höhe des Sauerstoffpolsters. ....	44
Abb. 23: Verlauf der Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Höhe des Sauerstoffpolsters. ....	45
Abb. 24: Prozentuale Abweichung der Dryden-Messsonden von der tatsächlichen Sauerstoffsättigung (gemessen mit WTW 315 i). ....	46
Abb. 25: Darstellung der Gesamtarbeitsschritte bei der Forellenmast (aus Wedekind & Jährling, 2006). ....	47
Abb. 26: Versuchsdarstellung. ....	50
Abb. 27: Bilder einer nächtlichen Fütterung von Regenbogenforellen mit der Fütterungsanlage (Datum: 10.10.2009, Uhrzeit: 00:03:26 – 00:05:37 Uhr, abnehmender Halbmond, bewölkter Himmel). ....	60
Abb. 28: Vergleich der Körperzusammensetzung der automatengefütterten Fische (Gruppe 1, n=30), der handgefütterten Fische (Gruppe 2, n=30) und der Ausgangsqualität (n=10). ....	63
Abb. 29: Fuchs und Reiher auf der Teichanlage im Juni 2009. ....	67
Abb. 30: Verletzungen an einigen Versuchsfischen. Linkes Bild: vier Regenbogenforellen mit Verletzungen direkt hinter der Rückenflosse. Rechtes Bild: Neben der fehlenden Muskelpartie sind weitere Verletzungen (a, b, c) sowie eine großflächige Abschürfung unterhalb der Fleischwunde (innerhalb der gelb gestrichelten Linie) zu erkennen.....	67
Abb. 31: Verletzungen durch Reiherhiebe und -bisse. Linkes Bild: Einstiche durch Hieb mit geöffnetem Schnabel (gelbe Pfeile). Rechtes Bild: Schnabelabdruck von dorsal nach ventral, sowohl auf rechter als auch auf linker Körperseite. Nachzeichnung des Schnabelabdruckes mit gelben Linien. ....	68

Abb. 32: Reiher beim Beutefang an den Versuchsteichen. Linkes Bild: beim Eintauchen des Schnabels ins Wasser, rechts mit Fisch im Schnabel (gelbe Pfeile). Auf beiden Bildern wird ersichtlich, dass viele Fische, die sich oberflächennah aufhalten, auf die Aktionen des Reiher mit Fluchtreaktionen antworten. (Bildausschnitte aus Videoaufnahme mit IR-Kamera). .....	69
Abb. 33: Bisspurenabgleich an einer Regenbogenforelle mit einem Fuchsgebiss. Die Dentes canini (Eckzähne) passen exakt in die Verletzungen (a, b) der Regenbogenforelle. Eine weitere Verletzung (gelbe Pfeile) zwischen den beiden großen Einstichen passt genau auf das Profil der beiden mittleren Dentes incisivi (Schneidezähne). .....	69
Abb. 34: Vergleich der Arbeitsproduktivität der verschiedenen Verfahren bei unterschiedlichen Szenarien. ....	81

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Beispielhafte Anschaffungs-/Baukosten für Gebäude, bauliche Anlagen und Maschinen in Forellenzuchtbetrieben (aus Reiter, 2010).....	17
Tab. 2: Anschaffungskosten für die Fütterungstechnik.....	20
Tab. 3: Anschaffungskosten für die Sauerstofftechnik. ....	20
Tab. 4: Prüfung der Wiegegenauigkeit der Fütterungsanlage durch Ausgabe einzelner Futterportionen. ....	37
Tab. 5: Prüfung der Wiegegenauigkeit der Fütterungsanlage durch Ausgabe unterschiedlich vieler Futterportionen. ....	38
Tab. 6: Erfassung der Arbeitszeit für Handfütterungen.....	48
Tab. 7: Vergleich der Leistungsparameter von Regenbogenforellen bei unterschiedlicher Fütterungsfrequenz. ....	51
Tab. 8: Vergleich der Leistungsparameter von Regenbogenforellen bei unterschiedlicher Fütterungsfrequenz. ....	52
Tab. 9: Vergleich der Leistungsparameter und der Flossenqualität von Regenbogenforellen zu Versuchsbeginn und -beendigung.....	54
Tab. 10: Vergleich des Stromverbrauchs und der Kosten der Fütterungsanlage und der Sauerstoffüberwachung.....	55
Tab. 11: Vergleich der Leistungsparameter Amerikanischer Seesaiblinge bei unterschiedlichen Fütterungszeiten (Tag/Nacht).....	58
Tab. 12: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 21.09. – 23.11.2009.....	61
Tab. 13: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 01.12.2009 – 16.02.2010.....	61
Tab. 14: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 18.02. – 26.04.2010.....	62
Tab. 15: Ergebnisse der vierten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 28.04. – 22.06.2010.....	62
Tab. 16: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte) aus dem Versuch Tag-/Nacht-fütterung. Die dargestellten Ergebnisse sind Mittelwerte aus den jeweiligen Versuchsteichen.....	64
Tab. 17: Ermittelte Wasserparameter im Projektzeitraum. ....	65
Tab. 18: Variante 0: Ausgangs-Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen ohne Einsatz von Technik. ....	71
Tab. 19: Variante 1a: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungstechnik. ....	72
Tab. 20: Variante 1b: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungstechnik. ....	73
Tab. 21: Variante 1c: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungstechnik. ....	74
Tab. 22: Variante 2a: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik. ....	75
Tab. 23: Variante 2b: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik. ....	76
Tab. 24: Variante 2c: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik. ....	77

Tab. 25: Variante 3a: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik.....	78
Tab. 26: Variante 3b: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik.....	79
Tab. 27: Variante 3c: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik.....	80

## 1 Einleitung

Die deutsche Forellenproduktion kann den Bedarf des Inlandsmarktes nicht decken. Der Selbstversorgungsgrad von Forellen beträgt ca. 50 %, d. h. die Hälfte der konsumierten Menge muss importiert werden. Der große Vorteil gegenüber dem Ausland liegt in der Marktnähe, vor allem in Bayern. Die Standorte zur Produktion von Forellen sind hier jedoch begrenzt und überwiegend auf bereits bestehende Betriebe beschränkt. Bisher nicht genutzte Wasserquellen für die Fischproduktion unterliegen strengem Schutz. Eine steigende Nachfrage nach Fischen als Nahrungsmittel, vor allem aus heimischer Produktion, ist deshalb nur durch Intensitätssteigerung und bessere Ausnutzung vorhandener Ressourcen zu decken. Wirtschaftliche Überlegungen erfordern zudem eine hohe Arbeitsproduktivität, um bei steigenden Futtermittel-, Energie- und Sauerstoffkosten positive Betriebsergebnisse erzielen zu können.

Die Mechanisierung und Technisierung hat die Forellenteichwirtschaft in den letzten Jahrzehnten entscheidend verändert. Durch den zunehmenden Einsatz innovativer Technik hat die Intensivierung der Fischproduktion zugenommen. Verschiedene Formen der Sauerstoffanreicherung des Produktionsmilieus, zuerst mit Luft und später mit Reinsauerstoff, bildeten die Grundvoraussetzung für die Intensivierung. Überwachungssysteme, die vor allem die ständige Sauerstoffüberwachung in den Produktionseinheiten ermöglichen, sind zur Risikominimierung unentbehrliche Hilfsmittel geworden. Durch Automatisierung der Fütterungstechnik sind neben Arbeitseinsparungen auch Steigerungen in der Produktionsleistung pro Arbeitskraft möglich. Die Intensivierung durch Technisierung bedeutet jedoch einen erheblichen Kostenaufwand und führt im Regelfall zu Abhängigkeiten, insbesondere von Energie und Sauerstoff. Steigende Kosten von Verbrauchsmitteln und Anschaffungsgütern machen den Einsatz moderner Technik erst ab einer bestimmten Jahresproduktionsmenge und bei hoher Ausnutzung sinnvoll.

Ziel dieses Projektes ist zu ermitteln, ab welcher Betriebsgröße und Betriebsstruktur, bzw. ab welchem Produktionsvolumen der Einsatz dieser modernen Technik zur Forellenproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sichtweise sinnvoll wird. Weiterhin sollen Aussagen darüber gemacht werden, in welchem Umfang Arbeitserleichterungen und Produktionssteigerungen realisiert werden können. Es sollen Erkenntnisse über den Einsatz und die Kosten sowie Erfahrungen über den Betrieb einer vollautomatischen Fütterungsanlage, energiesparender Sauerstoffeintragsgeräte sowie eines entsprechenden Überwachungssystems gewonnen und ausgewertet werden.

## 2 Projektphasen

Das Projekt lässt sich vom zeitlichen Ablauf betrachtet in drei Phasen unterteilen (Abb. 1):

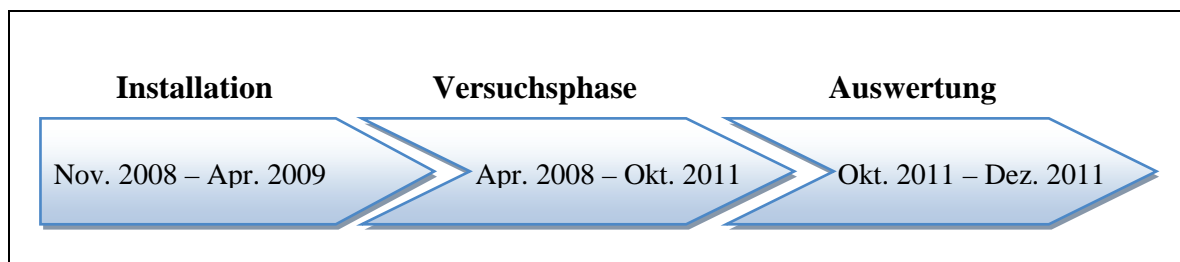


Abb. 1: Darstellung der Projektphasen im Zeitverlauf.

### Installationsphase

Im Zeitraum November 2008 bis April 2009 wurden die vorgesehenen Geräte installiert. Dies hat mehr Zeit in Anspruch genommen als zunächst geplant. Die Installation der Fütterungsanlage und der Sauerstoffeintragstechnik gestaltete sich dabei relativ problemlos. Abgesehen davon, dass sie später geliefert und somit auch erst zu einem späteren Zeitpunkt in Betrieb genommen werden konnten. Für die Installation der Sauerstoffüberwachungstechnik war jedoch mehr Zeit notwendig als geplant. Durch ungünstige Witterungsverhältnisse konnten die notwendigen baulichen Vorarbeiten nicht geleistet werden. Die Installation verzögerte sich deshalb bis in das Frühjahr 2009. Im April 2009 konnten alle für das Projekt angeschafften Geräte als Einheit in Betrieb genommen werden.

### Versuchsphase

Im Fokus des Forschungsvorhabens stehen die Erprobung der modernen Technik zur Produktion von Forellen und deren Nebenfischen unter realen Bedingungen. Neben der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit (Festkosten, laufende Kosten, Wartungsaufwand), der Arbeitswirtschaft und der Funktionssicherheit sind die Überprüfung der Ausnutzung von Ressourcen wie Zulaufwasser, Futter, Energie, Arbeit und Kapital unter Berücksichtigung der Fischgesundheit und Produktqualität wichtig.

Grundlegende Versuche zur Funktionalität der Technik im Auslieferungszustand (u. a. Wiegegenauigkeit, Futtermittelabrieb, Messgenauigkeit) liefern Erkenntnisse zur wirtschaftlichen Betriebsweise und die Voraussetzung zur Klärung wissenschaftlicher Fragestellungen (Haltungsdichte, Futtermittleignung, Ablaufwasserbelastung etc.).

### Auswertungsphase

Die gewonnenen Erkenntnisse über den praktischen Umgang mit dieser Technik und die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten werden in dieser Phase ausgewertet. Anschließend können Aussagen über Vor- und Nachteile zum Einsatz der eingesetzten Technik getroffen werden, welche privaten Fischzuchtbetrieben als Entscheidungshilfe dienen, um geeignete Verfahren für ihre Betriebe auswählen zu können. Darüber hinaus werden die Empfehlungen den zuständigen fachlichen Stellen als Beratungsgrundlage zur Verfügung gestellt.

### 3 Wirtschaftlichkeit

#### 3.1 Einleitung

Bevor man eine Investition tätigt, sind genaue Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit der geplanten Investitionsgüter nötig. Neben dem technisch effizienten Einsatz müssen Überlegungen zur betriebswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit der geplanten Investition angestellt werden. Investitionsentscheidungen können aus vielerlei Motivation entstehen, bei der die betriebswirtschaftliche Effizienz jedoch an oberste Stelle gesetzt werden sollte (Abb. 2).



Abb. 2: Motivation zur Investition (verändert nach Jagnow et al., 2002).

Um die betriebswirtschaftlichen Vorteile der geplanten Investitionen aufzuzeigen, sind Wirtschaftlichkeitsberechnungen erforderlich. Der Grundgedanke einer solchen Berechnung ist es, Aussagen über finanzielle Auswirkungen (Vorteile) von Investitionen zu ermöglichen. Die geplanten Investitionen müssen grundsätzlich im Vergleich zu den alternativ (bisherig) entstehenden Kosten beurteilt werden.

Die Gesamtkosten technischer Anlagen – Gebäude plus Anlage und Nutzung – werden üblicherweise in vier Kostenarten eingeteilt (nach Jagnow et al., 2002):

- Verbrauchsgebundene Kosten, wie z. B. Energiekosten
- Betriebsgebundene Kosten, wie Bedienungs-, Wartungs- und Personalkosten
- Kapitalgebundene Kosten, wie Zinsen, Tilgungen, Abschreibungen
- Sonstige Kosten

In dieser Studie werden die anfallenden Kosten für den Einsatz moderner Technik für die Forellenproduktion im Praxiseinsatz erhoben. Zusammen mit weiteren produktionstechnischen Kenndaten sollen im Verlauf Planungsdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung verschiedener Produktionsverfahren erarbeitet werden, die als Planungshilfe zur Verfügung gestellt werden sollen.

Hierin fließen auch bereits vorhandene wirtschaftliche Daten zur Forellenproduktion, die in vorherigen Studien erhoben wurden (Wedekind & Jährling, 2006; Reiter, 2010).

### 3.2 Produktionstechnische Kenndaten für die Forellenproduktion

Die Produktion von Forellen ist im großen Maße vom Umfeld (Wasser, Haltungseinheiten, Futter etc.) abhängig. Der limitierende Faktor ist in der Regel der Sauerstoffgehalt im Wasser bzw. der Sauerstoffeintrag durch den Zulauf von Frischwasser, gemessen in Sekundenlitern (l/s). Ohne technische Maßnahmen können etwa 100 – 150 kg Forellen pro Sekundenliter und Jahr erzeugt werden. Durch den Einsatz von Belüftern bzw. Sauerstoffbegasern kann das Produktionsvolumen vervielfacht werden.

Der Nährstoff- und Futterbedarf von Forellen ändert sich mit fortschreitendem Alter bzw. mit dem Wachstum der Fische. Die Fütterungsempfehlung (Tägliche Futtermenge in Prozent des Lebendgewichts) ist weiterhin abhängig von der Futtermittel- und Wasserqualität sowie der Wassertemperatur. Im Allgemeinen reduziert sich die tägliche Futtermenge ab Beginn der Anfütterung bis zur Speisefischgröße von 3 – 5% auf 0,8 – 1,0% des Lebendgewichts. Die Futtermittelverwertung, dargestellt durch den Futterquotienten (FQ) [1], verschlechtert sich im gleichen Zeitraum und kann von anfänglich 0,6 auf 1,2 gegen Ende der Aufzucht ansteigen. Dementsprechend sinkt die spezifische Wachstumsrate (SWR bzw. SGR) [2] von 5 – 8% auf etwa 0,8 % pro Tag. Bei einem durchschnittlichen Futterquotienten von 0,9 – 1,1 und durchschnittlichen Mastfuttermittelpreisen zwischen 1,20 und 1,35 €/kg liegen die Fischzuwachskosten [3] zwischen 1,10 und 1,50 €/kg Zuwachs.

Die Produktivität [4], ausgedrückt in der Jahresproduktionsmenge pro Sekundenliter Frischwasserzulauf, ist ein Maß für die Intensität der Produktion. Eine Intensitätssteigerung ist in der Regel nur durch den verstärkten Einsatz von technischer Belüftung bzw. Reinsauerstoffbegasung realisierbar.

Ist neben der Fütterungsrate auch die mittlere Futtermittelverwertung bekannt, kann die Spezifische Wachstumsrate geschätzt werden. Anhand dieser Vorgaben kann das Wachstum über einen gewissen Zeitraum berechnet werden. Hierfür wird die Zinseszinsformel herangezogen. Damit kann das durchschnittliche Endgewicht [5] einer Fischcharge nach einer vorgegebenen Produktionsdauer oder die notwendige Produktionsdauer [6] bis Erreichen eines festgelegten Endgewichts berechnet werden (Reiter, 2010).

[1] **Futtermittelverwertung** = Futterverbrauch (in kg) / Fischzuwachs (in kg)

→ Richtwert: 0,8 – 1,2

[2] **SWR bzw. SGR** = Fischzuwachs (in g / Tag) / Lebendgewicht (in g) x 100 %

→ Richtwert: 0,8 – 2,0 % / Tag

[3] **Fischzuwachskosten** = Futterkosten (in €) / Fischzuwachs (in kg)

→ Richtwert: 1,10 – 1,50 €/ kg

[4] **Produktivität** = Produktionsmenge (in kg/Jahr) / Frischwasserzulauf (in l/s)

→ Richtwert: 100 – 2000 kg / l/s x Jahr

[5] **Endgewicht** = Anfangsgewicht x (1+SWR)<sup>Tage</sup>

(SWR = Spezifische Wachstumsrate: Zuwachs in % des Lebendgewichts pro Tag)

Bsp.: Anfangsgewicht 10 g, SWR 1,7 %/Tag, Produktionsdauer 30 Tage

Endgewicht = 10 g x (1+0,017)<sup>30</sup>

Endgewicht = 10 g x 1,658

Endgewicht = 16,6 g



**[6] Produktionsdauer =  $\log(\text{Endgewicht} / \text{Anfangsgewicht}) / \log(1 + \text{SWR})$**

Bsp.: Anfangsgewicht 180 g, SWR 1,3 %/Tag, Gewünschtes Endgewicht 360 g

$$\text{Produktionsdauer} = \log(360 \text{ g} / 180 \text{ g}) / \log(1 + 0,013)$$

$$\text{Produktionsdauer} = 0,0301 / 0,0056$$

$$\text{Produktionsdauer} = 54 \text{ Tage}$$

### 3.3 Investitionsbedarf

Im Fischereibetrieb sind eine Vielzahl von Geräten, Maschinen, baulichen Einrichtungen oder Gebäuden notwendig, um zu produzieren, die Arbeit rationell zu gestalten bzw. Arbeitserleichterungen oder -einsparungen realisieren zu können. Beispielfhaft können folgende Investitionsgüter mit Investitionskosten und Nutzungsdauer, abhängig von Betriebsgröße und Nutzungsart, genannt werden (Tab. 1):

Tab. 1: *Beispielhafte Anschaffungs-/Baukosten für Gebäude, bauliche Anlagen und Maschinen in Forellenzuchtbetrieben (aus Reiter, 2010).*

	<b>Anschaffungs-/ Baukosten (in €)</b>	<b>Nutzungsdauer (in Jahren)</b>
<b>Gebäude:</b>		
Bruthaus	80.000	30
Geräte-, Futterhalle	45.000 - 80.000	30
Bürogebäude	30.000	30
<b>Bauliche Anlagen:</b>		
Teiche	50.000	30
Fließkanäle	200.000	25
Erbrütungs-, Aufzuchttrinnen	5.000	20
Rundbecken	8.000	20
Ablaufwasserreinigungsanlage	50.000	10
<b>Maschinen/Geräte:</b>		
Waage	2.500 - 5.000	6
Sortiermaschine	8.000 - 25.000	8
Transportfahrzeug	65.000 - 130.000	8
Anhänger	12.000	8
Wannen, Kescher	1.000	5
Futterautomaten	8.000	10
Fütterungsanlage	60.000	10
Belüfter	10.000	6
Sauerstoffeintragsgeräte	20.000	10
Sauerstoffüberwachungsgeräte	20.000	6
Motormäher	1.000	5
Kleingeräte	2.000 - 5.000	5
EDV-Ausstattung	6.000	4
Büroeinrichtung	4.000	4

Investitionen sind nur lohnend, wenn damit Einnahmen verbunden sind, die die jährlichen Ausgaben übersteigen. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen finden die Begriffe „Jährliche Festkosten“, „Stückkosten“ und „Amortisation“ Verwendung.

### Jährliche Festkosten:

Die jährlichen Festkosten, die bei einer Anschaffung anfallen, sind in erster Linie die Abschreibung, der Unterhalt und der Zinsansatz. Eventuell sind des Weiteren z. B. für Fahrzeuge und Gebäude Versicherungen abzuschließen, wie Haftpflicht-, Feuer- oder Inventarversicherung.

Die Abschreibung (AfA = Absetzung für Abnutzung) beträgt für Gebäude je nach Nutzungsdauer in der Regel 2 – 5 % (bei 50 – 20 Jahren Nutzungsdauer) und für Maschinen 5 – 20 % der Anschaffungskosten. Der jährliche Unterhalt (vorwiegend Wartung und Reparatur) macht etwa 1 – 3 % der Anschaffungskosten aus. Der Zinsansatz wird für durchschnittlich die Hälfte des eingesetzten Kapitals (halber Neuwert) gerechnet, da dieser Durchschnittswert über die gesamte Nutzungsdauer festgelegt ist. Bei einem Zinssatz von 5 – 7 % werden demnach 2,5 – 3,5 % des Anschaffungswertes als Zinsansatz kalkuliert (Abb. 3).

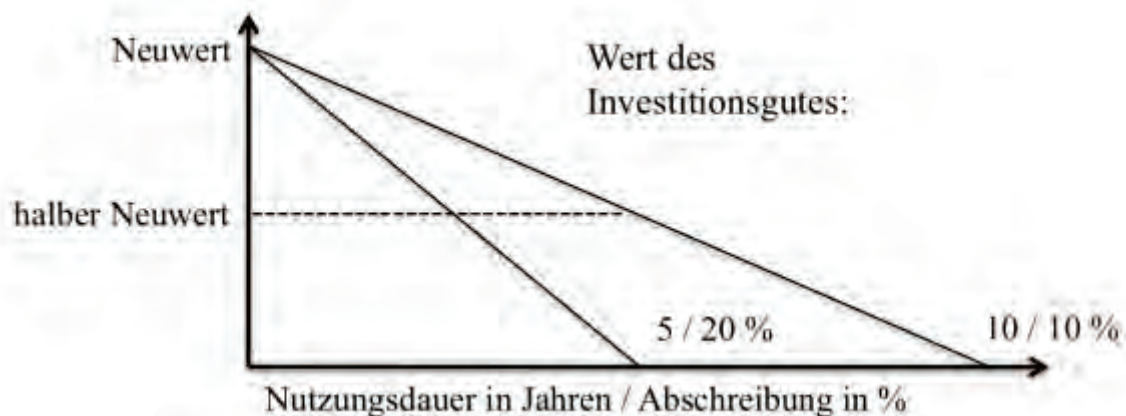


Abb. 3: Wert des Investitionsgutes bei einer Nutzungsdauer von 5 bzw. 10 Jahren. (Der halbe Neuwert ist über die gesamte Nutzungsdauer gebunden).

### Berechnung der jährlichen Festkosten:

Abschreibung (AfA), Unterhalt (Uha), Zinsansatz (6 % vom halben Neuwert)

$$5 - 20 \% + 1 - 3 \% + 3 \% = 9 - 26 \% / \text{Jahr}$$

Beispiel: Maschinenanschaffung 20.000 € Nutzungsdauer 12 Jahre, Unterhalt 2 %, Zins 6 %

Jährliche Festkosten = AfA =	20.000 / 12 Jahre =	1.667 €
Uha =	20.000 x 0,02 =	400 €
Zinsansatz =	<u>20.000 x 0,06 / 2 =</u>	<u>600 €</u>
	Summe =	2.667 €

**Stückkosten:**

Die Stückkosten berechnen sich aus der Summe der festen und der variablen Kosten pro erzeugte Einheit. Je mehr Einheiten in einem gewissen Zeitabschnitt produziert werden, desto günstiger sind die Gesamtkosten pro Einzelprodukt, da sich die Festkosten auf eine größere Anzahl verteilen. In einer beispielhaften Berechnung reduzieren sich die Stückkosten pro geschlachtete Forelle bei Einsatz einer vollautomatischen Schlachtmaschine von etwa 0,30 €/Fisch bei 10.000 geschlachteten Fischen/Jahr auf etwa 0,05 €/Fisch bei 200.000 geschlachteten Fischen/Jahr. Teure Investitionen sind nur sinnvoll, wenn die Anschaffungsgüter entsprechend genutzt werden. Die Maschinen-/Gerätegröße und -ausstattung muss dem Bedarf entsprechend angepasst werden.

**Amortisation:**

Ob eine Investition lohnend ist, kann mit der Amortisation (Zeit in Jahren, nach der das investierte Geld zurückgeflossen ist) berechnet werden. Der Geldrückfluss kann als Einnahme (z.B. Mehrertrag von produzierten Forellen nach Anschaffung von Sauerstoffeintragsgeräten) oder Einsparung (z. B. von Energie oder Arbeitszeit) realisiert werden. Die Mehrausgaben (Jährliche Kosten) werden hierbei den Mehreinnahmen (nach Abzug der Mehrkosten und Mehrarbeit) bzw. den Einsparungen gegenübergestellt. Bei einem Plus von z. B. 2.000 €/Jahr ist die Amortisation einer Investition in Höhe von 20.000 € nach 10 Jahren erreicht.

Wann sich eine Investition amortisiert, lässt sich wie folgt berechnen:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anschaffungskosten}}{\text{Mehreinnahmen/Jahr}} = \frac{\text{Anschaffungskosten}}{\text{Mehrertrag/Jahr} - \text{Mehraufwand/Jahr}}$$

**3.4 Erfassung der Kosten für die eingesetzte Technik**

Um Aussagen über die entstehenden Kosten für die Anschaffung der eingesetzten Technik am Standort Starnberg machen zu können, wurden im Verlauf dieses Forschungsvorhabens alle anfallenden Kosten rund um diese Technik erfasst. Neben den Anschaffungskosten wurden auch die laufenden und sonstigen Kosten so weit wie möglich dargestellt, die der Einsatz dieser Technik mit sich bringt.

**3.4.1 Zusammensetzung der Anschaffungskosten**

Nachfolgend werden die Anschaffungskosten der Fütterungsanlage, der Sauerstoffeintragsgeräte sowie des Steuerungs- und Überwachungssystems detailliert dargestellt. Der Fördersatz durch den EFF (Europäischer Fischerei-Fond) von 40 % für Anschaffungen und Vorhaben im Aquakulturbereich wird in den folgenden Berechnungen berücksichtigt. Ein Gebäude zur Unterbringung einzelner Technikbausteine bestand an diesem Standort bereits und geht anteilig in die Berechnungen mit ein (Tab. 2 und 3). Für eine bevorstehende Planung zur Anschaffung der hier genannten Technikelemente muss evtl. der Neubau eines solchen Gebäudes berücksichtigt werden.

Neben den Anschaffungskosten inklusive Transport und Installation fallen jeweils weitere Kosten (Sonstiges) an. Da diese Kosten unmittelbar mit der Anschaffung der Anlage zusammenhängen, werden diese auch zu den Anschaffungskosten hinzugerechnet. Die Kostenpositionen „Eigenleistung“ werden nicht gefördert.

Tab. 2: Anschaffungskosten für die Fütterungstechnik.

Anschaffung / Kosten	Kosten		Förderung durch EFF (40 % vom Nettobetrag)	Kosten brutto abzgl. Förderung	
	brutto	netto		insgesamt	pro Teich
<b>Fütterungsanlage *</b>	48.298,30 €	40.586,81 €	16.234,72 €	32.063,58 €	
Sonstiges:					
Eigenleistung Einbau (100 AKh á 15,00 €AKh)	1.500,00 €			1.500,00 €	
Elektrische Arbeiten / Kabelverlegung	3.287,98 €	2.763,01 €	1.105,20 €	2.182,78 €	
Erd- und Pflasterarbeiten	1.485,95 €	1.248,70 €	499,48 €	986,47 €	
Zusatzbauteile	429,19 €	360,66 €	144,27 €	284,92 €	
<b>Summe</b>	<b>55.001,42 €</b>		<b>17.983,67 €</b>	<b>37.017,75 €</b>	<b>2.056,54 €</b>
<b>Betriebsgebäude:</b>					
100 m <sup>3</sup> (39,00 €/m <sup>3</sup> )	<b>3.900,00 €</b>			<b>3.900,00 €</b>	<b>216,67 €</b>

\* für 18 Teiche inklusive Transport und Installation

Tab. 3: Anschaffungskosten für die Sauerstofftechnik.

Anschaffung / Kosten	Kosten		Förderung durch EFF (40 % vom Nettobetrag)	Kosten brutto abzgl. Förderung	
	brutto	netto		insgesamt	pro Teich
<b>Water-Jet-Plattform *</b>	13.601,70 €	11.430,00 €	4.572,00 €	9.029,70 €	
Sonstiges:					
Eigenleistung Einbau (30 AKh á 15,00 €AKh)	450,00 €			450,00 €	
Sauerstoffleitung	649,01 €	545,39 €	218,15 €	430,86 €	
Glaskugeln / Stöpsel	15,95 €	13,40 €	5,36 €	10,59 €	
<b>Summe</b>	<b>14.716,66 €</b>		<b>4.795,52 €</b>	<b>9.921,14 €</b>	<b>1.653,52 €</b>
<b>Sauerstoffüberwachung und -steuerung **</b>	20.512,92 €	17.237,75 €	6.895,10 €	13.617,82 €	
Sonstiges:					
Eigenleistung (50 AKh á 15,00 €AKh)	750,00 €			750,00 €	
PC, Bildschirm	800,00 €			800,00 €	
Software zur Sauerstoffüberwachung	204,08 €	171,50 €	68,60 €	135,48 €	
Elektrische Arbeiten / Kabelverlegung	3.217,88 €	2.704,10 €	1.081,64 €	2.136,24 €	
<b>Summe</b>	<b>25.484,88 €</b>		<b>8.045,34 €</b>	<b>17.439,54 €</b>	<b>1.245,68 €</b>
<b>Sauerstofftechnik insgesamt</b>					<b>2.899,21 €</b>
<b>Betriebsgebäude:</b>					
10 m <sup>3</sup> (39,00 €/m <sup>3</sup> )	<b>390,00 €</b>			<b>390,00 €</b>	<b>27,86 €</b>

\* für 6 Teiche inklusive Transport und Installation

\*\* für 14 Teiche inklusive Transport und Installation

Die Anschaffungskosten für die automatische Fütterungsanlage betragen brutto 55.000 € und abzüglich der Förderung etwa 37.000 €. In diesem Fall wurden 18 Teiche angeschlossen, sodass die Anschaffungskosten pro Teich etwa 2.060 € betragen. Je nach Lage (Entfernung der Fütterungsanlage zu den Teichen) und Anzahl der Teiche, die an die Fütterungsanlage angeschlossen werden, variieren die Anschaffungskosten. Man kann also keinen pauschalen Kostenansatz für eine Fütterungsanlage annehmen und muss außerdem lokale Faktoren berücksichtigen (Menge der Futterstellen, Distanz Fütterungsmaschine zu den Futterausgabestellen = Länge der Futterrohre etc.). Eine Gebäudenutzung von 100 m<sup>3</sup> umbauten Raum wurde berücksichtigt.

Die Anschaffungskosten der Sauerstoffeintragsgeräte (Water-Jet-Plattform, Fa. Englerth) belaufen sich auf rund 14.700 € bzw. 9.900 € nach Abzug der Fördermittel. Insgesamt wurden 6 Teiche mit diesen Eintragsystemen ausgestattet. Die Kosten pro Teich betragen demnach etwa 1.650 €. Die Geräte wurden fertig montiert geliefert, sodass vor Ort keine aufwendigen Einbaumaßnahmen notwendig waren. Bei der Anschaffung von Sauerstoffeintragsgeräten muss berücksichtigt werden, dass ihre Funktion unmittelbar mit der Sauerstoffüberwachungs- bzw. -steuerungssoftware zusammenhängt.

Die Sauerstoffüberwachung und -steuerung (Aqua-Control, Fa. Linn Gerätebau GmbH) kostet brutto 25.500 € und abzüglich der Förderung 17.400 €. Sie wurde für diesen Standort zur Überwachung von 18 Teichen installiert. Die Kosten pro Teich belaufen sich damit auf 1.250 €. Diese Technik könnte ohne Weiteres zur Überwachung und Steuerung einer deutlich größeren Anzahl von Teichen verwendet werden. Eine Gebäudenutzung von 10 m<sup>3</sup> umbauten Raum wurde berücksichtigt.

Insgesamt belaufen sich die Anschaffungskosten für die gesamte Sauerstofftechnik inklusive Anlieferung, Einbau, Zusatzteile und Eigenleistung auf rund 2.900 € pro Teich, nach Abzug von Fördermitteln durch den EFF.

Neben den dargestellten Anschaffungskosten für die Fischfütterungsanlage, die Sauerstoffeintragsgeräte und die Sauerstoffüberwachung entstehen weitere Kosten, die sogenannten laufenden Kosten, die man bei der Planung berücksichtigen muss. Darunter fallen Kosten für den laufenden Betrieb der einzelnen Technikelemente. Für die Fischfütterungsanlage sind dies im Wesentlichen Strom- und Wartungskosten. Der Einsatz der Fütterungsanlage erspart einen Teil der Personalkosten, die bisher für Fütterungen (per Hand) angefallen sind. Diese Kosten hängen von der jeweiligen Betriebsstruktur und Betriebsgröße ab. Um positive Betriebsergebnisse durch den kostenintensiven Einsatz der Fütterungsanlage zu erzielen, müssen die Kosten, die bisher für die Fütterungen angefallen sind (Personalkosten, evtl. Einsatz von Fahrzeugen etc.), gesenkt werden. Für den Betrieb der Sauerstoffeintragsgeräte, in Kombination mit einer Sauerstoffüberwachungsanlage, fallen ebenso Energie- und Wartungskosten an. Hinzu kommt noch die Anschaffung einer Flüssigsauerstoffversorgung (Sauerstofftank und -leitungen), die den Betrieb der Sauerstoffeintragsgeräte gewährleistet. Durch die Anschaffung der modernen Technik sollen Produktionssteigerungen realisiert und Personalkosten eingespart werden. Es bedarf daher einer genauen Planung, damit die bisherig anfallenden Kosten durch den Einsatz der Technik kompensiert bzw. gesenkt werden und die Ausnutzung einer Anlage so effizient wie möglich genutzt werden kann.

### 3.4.2 Ermittlung der jährlichen Festkosten

Zur Ermittlung der jährlichen Festkosten wird die unter Kapitel 3.3 vorgestellte Festkostenrechnung herangezogen. Die Nutzungsdauer der einzelnen Technikbausteine wurde auf 10 Jahre festgelegt.

Da die jeweiligen Investitionsgüter für eine unterschiedliche Anzahl an Teichen beschafft worden sind, scheint es angebracht die Festkostenberechnung für jeweils eine Produktionseinheit (Teich) durchzuführen. Hierbei werden die ermittelten Anschaffungskosten pro Teich herangezogen. Um einen möglichst genauen Vergleich zwischen der vorherigen Situation ohne Technik und der jetzigen mit Einsatz der Technik am Standort Starnberg machen zu können, wird ein Teil der Teiche ausgewählt, von denen aus der Vergangenheit und aus aktuellen Untersuchungen produktionstechnische Daten mit der Technik vorliegen. Da an insgesamt 6 Teichen (Versuchsteiche  $B_1 - B_6$ ) alle Technischelemente eingebaut und an diesen innerhalb der Untersuchung die meisten Daten erhoben wurden, werden diese für den Vergleich herangezogen.

Jährliche Festkosten für die Fütterungstechnik pro Teich (Anschaffungskosten 2.057 €):

AfA =	2.057 €/ 10 Jahre =	206 €
Uha =	2.057 €x 0,02 =	41 €
<u>Zinsansatz =</u>	<u>2.057 €x 0,06 / 2 =</u>	<u>62 €</u>
	Summe =	<b>309 €</b>

Hinzuzurechnen sind hierbei jährliche Festkosten für die Gebäudenutzung in Höhe von 20 € pro Teich (Anschaffungskosten pro Teich 217 €, AfA 4 %, Uha/Versicherung 2 %, Zinsansatz 6/2 %).

Jährliche Festkosten für die Sauerstofftechnik pro Teich (Anschaffungskosten 2.899 €):

AfA =	2.899 €/ 10 Jahre =	290 €
Uha =	2.899 €x 0,02 =	58 €
<u>Zinsansatz =</u>	<u>2.899 €x 0,06 / 2 =</u>	<u>87 €</u>
	Summe =	<b>435 €</b>

Hinzuzurechnen sind hierbei jährliche Festkosten für die Gebäudenutzung in Höhe von 3 € pro Teich (Anschaffungskosten pro Teich 28 €, AfA 4 %, Uha/Versicherung 2 %, Zinsansatz 6/2 %) und für Sauerstofftank und -leitungen in Höhe von 48 € pro Teich (Anschaffungskosten pro Teich 600 €, AfA 5 %, Zinsansatz 6/2 %).

### 3.4.3 Deckungsbeiträge

Die Deckungsbeiträge (DB) werden in der Kosten- und Leistungsrechnung aus der Differenz zwischen den erzielten Erlösen (Umsatz) und den variablen Kosten errechnet. Bei den Deckungsbeiträgen handelt es sich um die Beträge, die zur Deckung der Festkosten (Fixkosten) zur Verfügung stehen.

In dieser Studie müssen verschiedene Deckungsbeiträge ermittelt werden. Zum einen wird der DB zur Erzeugung von Portionsforellen ermittelt, der den bisherigen Stand in den Teichen der Starnberger Anlage ohne den Einsatz der Technik darstellt. Berücksichtigt werden hierbei jährliche Festkosten pro Betonteich in Höhe von 190 € (Anschaffungskosten

pro Teich 3.000 € Nutzungsdauer 30 Jahre, Zinsansatz 6/2 %). Der Deckungsbeitrag der Ausgangssituation wird als Referenzwert zu den ermittelten Deckungsbeiträgen für die einzelnen Technikbausteine hergenommen. Hieraus wird ersichtlich, ob sich der Einsatz der angeschafften Technik im Einzelnen oder aber in Kombination der Technikelemente rentiert.

## 4 Kurzbeschreibung der installierten Geräte

### 4.1 Funktionsbeschreibung der Fischfütterungsanlage

Anhand der nachfolgenden Abbildungen wird zunächst die Funktion der installierten Fütterungsanlage beschrieben. Abbildung 4 zeigt einen Übersichtsplan der Teiche, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes an die vollautomatische Fütterungsanlage angeschlossen wurden. Unterhalb der Teiche ist die Betriebshütte abgebildet, in der die Computertechnik, die Wiegeeinheit und Futter untergebracht wurden. Die Teiche B<sub>1</sub> – B<sub>6</sub> wurden zudem mit den Water-Jet-Plattformen zur Sauerstoffanreicherung ausgestattet. Die Sauerstoffüberwachung wurde in den Teichen B<sub>1</sub> – B<sub>14</sub> sowie in H<sub>1</sub> – H<sub>2</sub> installiert.

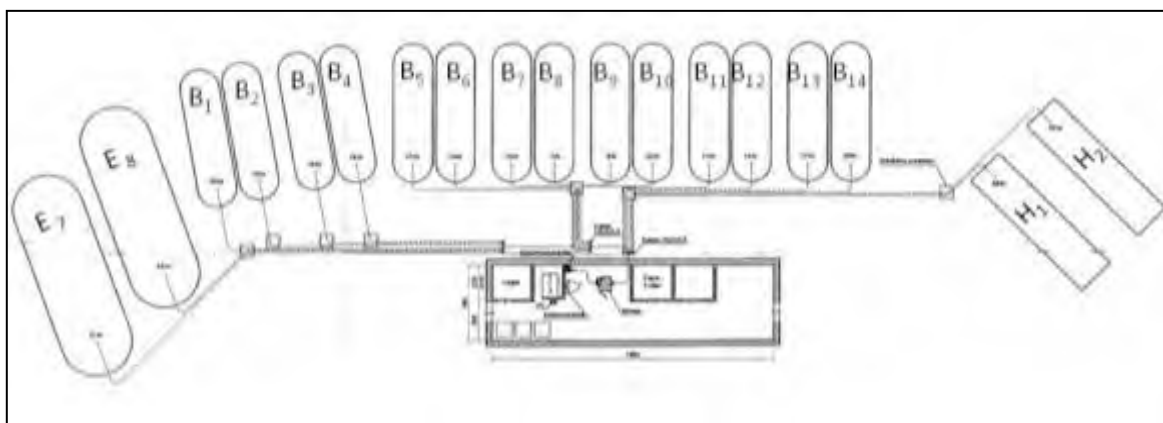


Abb. 4: Übersichtsplan der Teiche

Aus den Futter-Vorratsbehältnissen (Abb. 5, Nr. 1) gelangt das Futter in Futtersilos (Abb. 5, Nr. 2) mit einer Kapazität von 120 kg. Die Futtersilos laufen zum Boden hin trichterförmig zusammen. Über eine Öffnung am Boden der Futtersilos wird das Futter mithilfe von motorbetriebenen Spiralförderschnecken (Abb. 5, Nr. 4) aus den Aufnahmetrichtern über Rohre (Abb. 5, Nr. 3) in eine Futterauffangschale mit Wiegezone (Abb. 5, Nr. 5) verlagert. Alternativ kann Futter aus Kleinmengendosierern (Abb. 5, Nr. 9) zugeführt werden. In der Waage werden die jeweiligen Futtermengen abgewogen. Wenn die einprogrammierte Futtermenge erreicht ist, wird das Futter durch einen Mischer in das Hauptfutterrohr abgelassen. Ein Seitenkanalverdichter (Abb. 5, Nr. 6) schaltet sich zu und bläst das Futter zum gewünschten Zielort. Die Futterausgabe kann entweder im Teich erfolgen, um den Fischbestand zu füttern oder über eine Handfutterausgabe (Abb. 5, Nr. 8). Die Handfutterausgabe dient dazu, abgewogene Futterportionen in ein Behältnis ausgeben zu lassen, die dann von Hand verfüttert werden können. Alle Informationen, die zur Futtermengenberechnung und zum Management des Fischbestandes benötigt werden, werden in den Fütterungscomputer (Abb. 5, Nr. 7) eingetragen.



Abb. 5: Teilkomponenten der Fischfütterungsanlage.

Die oben beschriebenen Komponenten befinden sich in einem wetterfesten Betriebsgebäude. Von diesem Standort führen die Futterrohrleitungen auf die Freilandanlage zu den einzelnen Versuchsteichen (Abb. 6). Die Ansteuerung eines bestimmten Versuchsteiches wird über die sogenannten Rotationsverteiler realisiert. Insgesamt wurden bei dieser Anlage drei Rotationsverteiler verbaut. Der erste befindet sich innerhalb des Betriebsgebäudes. Von dort aus führt ein Futterrohr zur Handfütterausgabe und weitere fünf Futterrohre direkt zu verschiedenen Teichen (Abb. 6, Nr. 1). Eine Rohrleitung führt weiter zu den nächsten Rotationsverteilern (Abb. 6, Nrn. 2 und 3). Von dort aus werden die übrigen 13 Teiche angesteuert. Insgesamt sind 18 Teiche über die automatische Fütterungsanlage angeschlossen (Futterauswurfdüsen: Abb. 9, links oben).



Abb. 6: Rotationsverteiler (Nrn. 2 und 3) und Futterrohrleitungen (Nr. 1) zu den Versuchsteichen.



## 4.2 Funktionsbeschreibung der Sauerstoffeintragsgeräte

Das Prinzip der Sauerstoffanreicherung durch eine Jet-Plattform (Abb. 7) beruht auf folgendem Prinzip: In einen Verteilerkasten strömt Wasser aus einem Zuleiter. Von hier passiert das Wasser eine Reihe von speziell gestalteten Düsen, die in einer waagerechten Platte neben- und hintereinander angeordnet sind (Düsenplatte). Hierdurch entstehen Wasserstrahlen. Unter der Düsenplatte befindet sich eine mit Sauerstoff angereicherte Kammer. Hier reichern sich die Wasserstrahlen mit Sauerstoff an, bevor sie nach Passage der Sauerstoffatmosphäre auf die darunter liegende Wasseroberfläche (Höhe des Sauerstoffpolsters ist variabel) treffen. Zusätzlich ziehen die Wasserstrahlen Sauerstoffblasen ins Wasser, wodurch eine effektive Durchmischung von Wasser und Luftblasen entsteht.

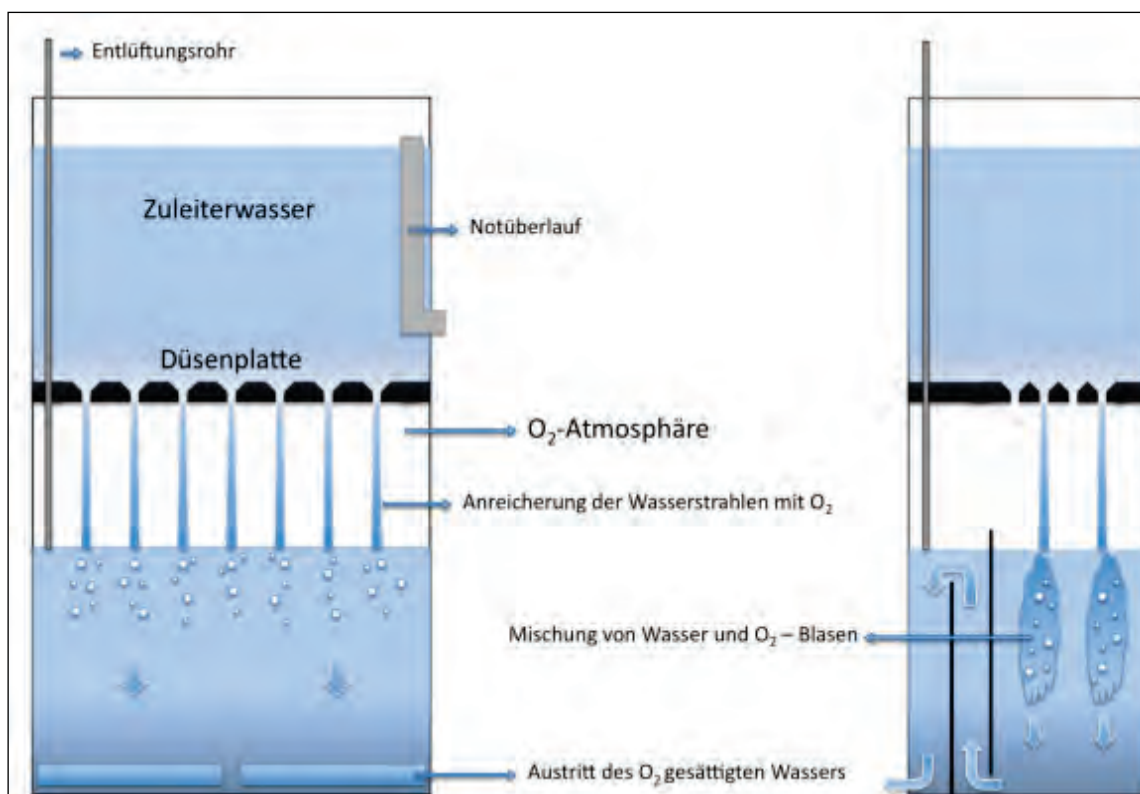


Abb. 7: Schematischer Querschnitt (links Frontalansicht, rechts seitlicher Querschnitt) und Funktionsprinzip einer Water-Jet-Plattform.

Die Blasen, die nicht im Wasser gelöst werden, steigen wieder in die Sauerstoffkammer auf und stehen weiterhin für die Sauerstoffanreicherung des Wassers zu Verfügung („Recycling des Sauerstoffs“). Die Blasenwolken, die durch die Wasserstrahlen im Wasser entstehen, bilden die Schnittstelle zwischen Wasser und Sauerstoff. Damit der ungelöste Sauerstoff keinen Überdruck in der Sauerstoffkammer erzeugen kann, was die Zufuhr von Frischwasser bremsen würde, ist ein Entlüftungsrohr installiert. Der steigende Druck innerhalb der Sauerstoffkammer senkt den Wasserspiegel. Fällt der Wasserstand unter ein bestimmtes Niveau (unteres Ende des Entlüftungsrohrs), können überschüssige Gase durch das Entlüftungsrohr entweichen. Durch zwei Spalten an der Vorderseite des Jet-Systems gelangt das mit Sauerstoff gesättigte Wasser in die Haltungseinheiten.

Die Anreicherung des Wassers mit Sauerstoff ist zum einen abhängig von der Wassermenge, die durch das System fließt. Ein weiterer Faktor, von dem die Effektivität des Gesamtsystems abhängt, ist das Gefälle von Zuleiter zu Teichoberfläche. Nach Literaturangaben sollte diese Höhe um 75 cm liegen (Moutounet, 2008), damit eine effektive Sauerstoffanreicherung des Wassers gegeben ist. Neuere Untersuchungen belegen, dass eine Höhendifferenz von 40 – 50 cm ausreicht, um das Wasser effektiv mit Sauerstoff anzureichern (Rösch, 2008).

Ein Höhenunterschied von 56 – 72,5 cm wird bei den hier eingesetzten Systemen am Standort Starnberg durch ein natürliches Gefälle erreicht. Es muss kein Wasser zusätzlich durch Pumpen (z. B. HP-Förderer) angehoben werden, wodurch Mehrkosten und ein erhöhtes Risiko durch den möglichen Ausfall der Pumpen entstehen würden.

#### **4.2.1 Die Regulierung der Wasser- und Sauerstoffmenge**

Die Wassermenge, die durch das System fließt, lässt sich auf verschiedene Weise regeln. Vom Hersteller sind Schieber auf der Düsenplatte installiert, mit denen die Düsen entweder verschlossen oder geöffnet werden können. Die Düsen sind in vier Reihen à 12 Stück auf der Düsenplatte angeordnet. Für jede Düsenreihe wurde ein Schieber eingebaut. Mit dem Schieber lässt sich eine Düsenreihe entweder komplett verschließen oder komplett öffnen. Hierdurch lässt sich die Wassermenge für ein Eintragssystem zwar leicht regeln, jedoch ist nur eine grobe Einstellung möglich, da man die Düsen nur in 12er Einheiten öffnen bzw. schließen kann. Für eine Feineinstellung schien es daher sinnvoll, jede einzelne Düse einer Reihe verschließen oder öffnen zu können, um eine optimale Ausnutzung der Ressourcen Wasser und Sauerstoff zu erzielen. In einem ersten Versuch wurden die Düsen mit handelsüblichen Glaskugeln (Murmeln) verschlossen. Das Verschließen der einzelnen Düsen funktionierte damit sehr gut, jedoch war es schwierig die Glaskugeln im laufenden Betrieb aus den Düsen wieder herauszubekommen. Ein weiterer Versuch erfolgte mit Gewindestopfen, die die Düsen passgenau verschließen (Abb. 8, links). Durch die aufgeschraubte Öse an der Oberseite der Stopfen konnten diese leicht mit einem Greifer in die Düsen eingesetzt und auch wieder herausgenommen werden. Um Kosten zu sparen, kann auf die Edeldstahlöse verzichtet werden. Das Handling der Düsen ohne die Ösen stellte sich als ebenso einfach dar.

Die Zuführung des Sauerstoffs in die Water-Jets ist mit dem Sauerstoffüberwachungssystem gekoppelt. An der Vorderseite der Jets ist eine Regeleinheit für die kontrollierte Sauerstoffzuführung angebracht (Abb. 8, rechts), die im Wesentlichen aus zwei Durchflussmengenmessern besteht, die über Magnetventile gesteuert werden. Je nach Sauerstoffbedarf der entsprechenden Haltungseinrichtung wird die Zuführung von Sauerstoff über die beiden Durchflussmengenmesser geregelt. Wie viel Sauerstoff über die Durchflussmengenmesser in die Jets gelangt, lässt sich an den Regelventilen (Nadelventilen) einstellen. Da die Sauerstoffmenge, die im Wasser gelöst werden kann, unmittelbar mit der Wassermenge zusammenhängt, die durch das System fließt, muss hier auf eine sinnvolle, sauerstoffsparende Einstellung geachtet werden. Nach Herstellerangaben ist die maximale Menge des zuführbaren Reinsauerstoffs proportional zum Wasserdurchfluss. Als grobe Orientierung kann folgende Faustregel angewendet werden: je Liter zugeführtem Wasser pro Sekunde kann ein Liter Sauerstoff (gasförmig) pro Minute gelöst werden. D. h. je größer die Sauerstoff-Einspeisemenge in Relation zur Wasserdurchflussmenge eingestellt wird, desto schlechter wird der Nutzungsgrad des Sauerstoffs. Eine schlechte Sauerstoffausnutzung wird erkennbar, wenn das Entlüftungsrohr der Water-Jets häufig entgast.

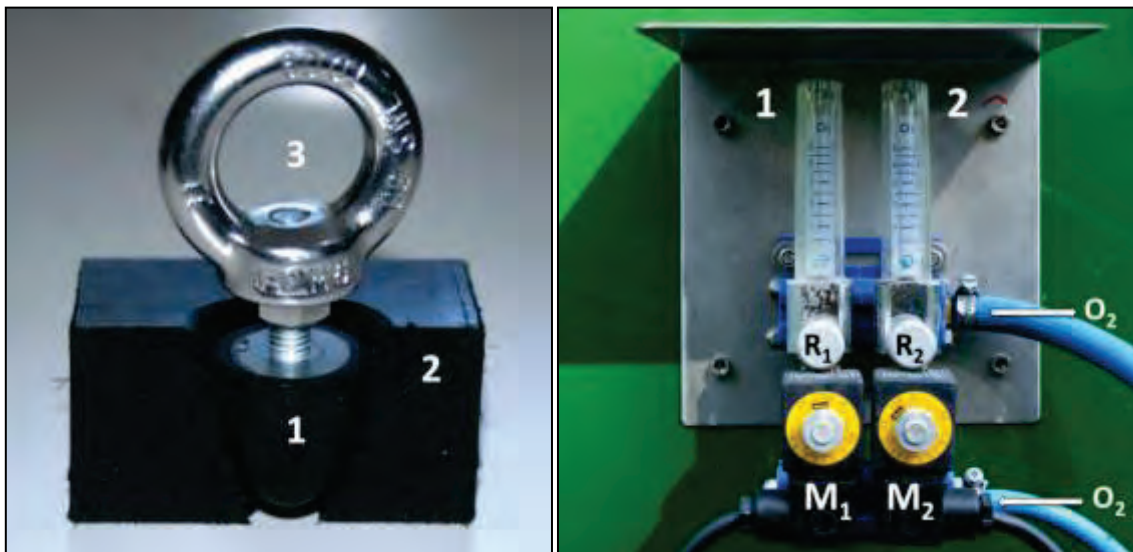


Abb. 8: Regulierung der Wasser- und Sauerstoffmenge für die Water-Jet-Plattform. Die linke Abbildung zeigt einen Stopfen (1) der zum Verschließen der einzelnen Düsen (2, Querschnitt) in der Düsenplatte eingesetzt wurde. Die Edelstahlöse (3) ist optional. Die rechte Abbildung zeigt die Einheit zur Sauerstoffmengenregulierung eines Water-Jets. Durch den unteren blauen Schlauch gelangt gasförmiger Sauerstoff zu den Durchflussmengenmessern (1 + 2). Je nach Sauerstoffbedarf werden nur der erste oder beide Durchflussmengenmesser durch die Magnetventile ( $M_1 + M_2$ ) geöffnet. Durch die Reglerventile ( $R_1 + R_2$ ) lässt sich die Menge des Sauerstoffs einstellen. Durch den oberen blauen Schlauch gelangt Sauerstoff in die Water-Jet-Plattform.

### 4.3 Funktionsbeschreibung der Sauerstoffüberwachung und -steuerung

Der wichtigste begrenzende Faktor in der Forellenproduktion ist der Sauerstoffgehalt des Wassers. Es ist allgemein bekannt, dass ein zu niedriger Sauerstoffgehalt bedeutet, dass das Potential von Fisch und Futter nicht optimal genutzt werden kann. Es empfiehlt sich daher, den Sauerstoffgehalt des Wassers ständig zu überwachen. Der heutige Stand der Technik beruht auf Systemen, die mittels Messsonden kontinuierlich den Sauerstoffgehalt der Haltungseinrichtungen ermitteln und bei Über-/Unterschreitung von kritischen Grenzwerten entweder die Werte korrigieren oder Alarm auslösen.

Die Sauerstoffüberwachungstechnik, die in diesem Projekt eingesetzt wird (Aqua-Control II, Fa. Linn Gerätebau GmbH), realisiert z. T. die Regelung und Steuerung des Sauerstoffgehaltes, verbunden mit einer Software für Eingaben, Kontrollen und Dokumentationen über einen PC sowie Alarmmeldungen über Telefon bei kritischen Werten innerhalb der Haltungseinrichtungen. Insgesamt wird der Sauerstoffgehalt am Standort Starnberg für 16 Teiche durch dieses System überwacht.

Die Überwachungstechnik besteht aus mehreren Komponenten, die miteinander verknüpft sind. Sauerstoffmesssonden (Hersteller Fa. Dryden), die am Auslauf der Haltungseinrichtungen im Wasser hängen (Abb. 9, oben rechts), erfassen ständig die vorherrschenden Sauerstoffsättigungswerte. Über die systemzugehörige Software werden die aktuellen Werte auf einem PC visuell dargestellt. Über diese Software lassen sich für jeden Teich individuelle Einstellungen vornehmen, z. B. die Definition der unteren und oberen

Grenzwerte für die Sauerstoffsättigung sowie der Sollwerte. Das Herzstück der Anlage stellt eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) dar. Die Hauptaufgabe dieser Steuerung ist es, den Sauerstoffgehalt auf einem vorgegebenen Niveau zu halten. Der Ist-Zustand wird ständig von der im Teich hängenden Sonde gemessen und mit dem Sollwert verglichen. Bei Unterschreitung des Sollwertes startet ein Belüftungssystem (hier: Water-Jet-Plattform) und führt dem Teich Sauerstoff zu, bis der eingestellte Sollwert wieder erreicht ist. Fällt die Sauerstoffsättigung bis zum kritischen Wert ab, wird Alarm ausgelöst.

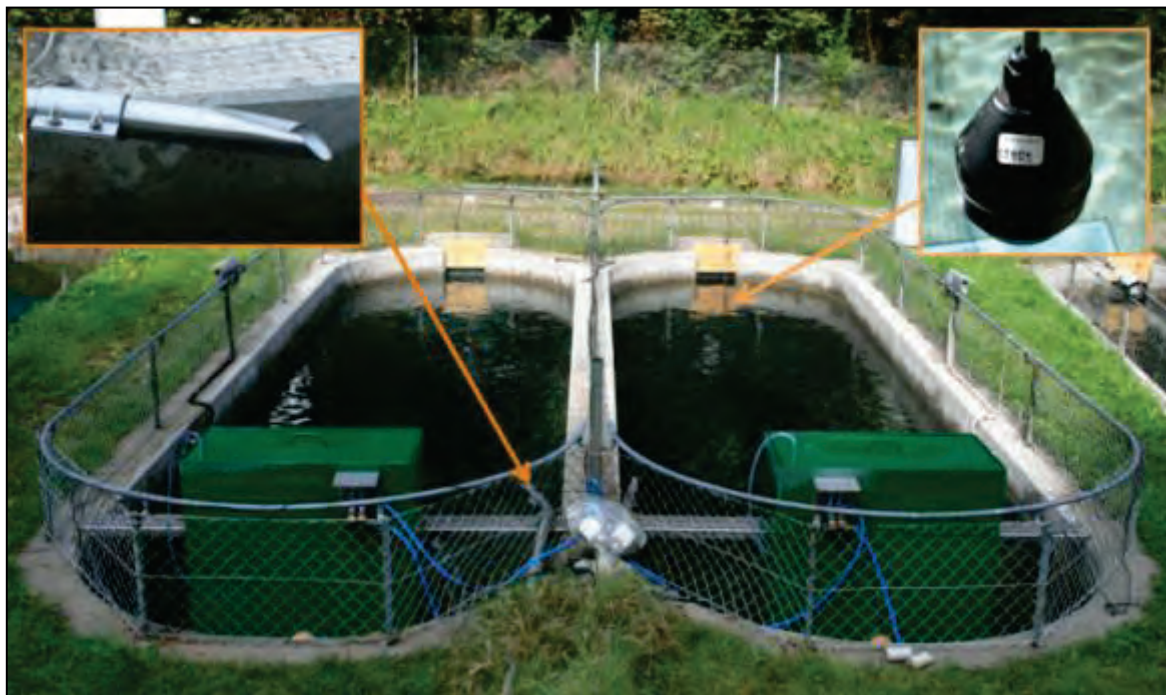


Abb. 9: Übersicht zweier Versuchsteiche, die mit der oben beschriebenen Technik ausgestattet wurden. Links oben ist der Bildausschnitt einer Futterauswurfdüse der Fütterungsanlage zu sehen. Rechts oben ist eine Sauerstoffsonde dargestellt, die in der Nähe des Teichablaufes installiert ist und kontinuierlich den Sauerstoffgehalt des Teiches misst. Die Sauerstoffeintragssysteme (grüne Kästen) sind an den Teicheinläufen installiert und reichern das Wasser mit Reinsauerstoff an, der über die blauen Schläuche geliefert wird.

Am Beispiel der Water-Jet-Systeme wird die Sauerstoffzugabe über zwei in Reihe geschaltete Durchflussmengenmesser geregelt. Reicht die im Zuleiterwasser gelöste Sauerstoffmenge nicht aus, um den gewünschten Sollwert in der Haltungseinrichtung zu erzielen, schaltet sich automatisch das erste Ventil hinzu und reichert das Wasser mit Sauerstoff an. Sollte diese Anreicherung über das erste Ventil nicht ausreichen, um den Sollwert zu erreichen, wird das zweite Ventil zugeschaltet. Wenn der Sauerstoffgehalt immer noch nicht den vorgegebenen Sollwert und schließlich den Grenzwert erreicht, erfolgt eine Alarmmeldung. Das Zuschalten der Ventile geschieht durch eine Unterbrechung des Stromkreises, d. h., dass die Ventile geöffnet sind, wenn kein Strom fließt („stromlos offen“). Das hat den entscheidenden Vorteil, dass bei einem Stromausfall die Sauerstoffzufuhr nicht unterbrochen wird, sondern beide Ventile geöffnet sind und die Fische trotz Stromausfall keinen Sauerstoffmangel erleiden.

### 4.3.1 Abänderung der Überwachungs-Software

Die Software der ausgelieferten Überwachungstechnik sieht vor, dass sich die Ventile nur nach Bedarf zuschalten und Sauerstoff in das System eintragen. Das hat den Vorteil, dass Sauerstoff gespart wird, wenn er nicht benötigt wird. Wie in Versuchen am Institut für Fischerei festgestellt wurde, reagiert das System sehr träge, wenn kein hoher Wasserdurchfluss in der Haltungseinrichtung herrscht. In einer Haltungseinrichtung mit einem Wasservolumen von knapp  $20 \text{ m}^3$  (= ca. 20.000 l) wurden pro Sekunde 2 Liter Wasser zugeführt. Das bedeutet, dass das Wasser theoretisch knapp alle drei Stunden komplett ausgewechselt wird. Wenn die Sauerstoffmesssonde einen Wert gemessen hat, der unter den Sollwert fiel, so wurde zunächst das erste Ventil zugeschaltet um den Sollwert zu erreichen. Da das Sauerstoffeintragsgerät am Teicheinlauf installiert wurde, benötigt das angereicherte Wasser sehr viel Zeit, bis es an der Messsonde angelangt ist. Es kann also sein, dass der Sauerstoffgehalt im Teich und besonders in der Nähe des Auslaufes noch weiter sinkt (z. B. in Folge eines erhöhten Sauerstoffbedarfes der Fische nach Fütterungen), bevor das angereicherte Wasser die Sonde erreicht hat. Nun öffnet auch das zweite Ventil und die Sauerstoffzufuhr im System wird noch weiter erhöht. So kann es passieren, dass am Teicheinlauf eine Sauerstoffübersättigung herrscht und die Sonde aber immer noch nicht im Bereich des Sollwertes liegt. Nach einiger Zeit erreicht das hoch mit Sauerstoff angereicherte Wasser den Bereich der Messsonde. Der Sollwert wird dabei weit überschritten. Die beiden Ventile stoppen die Zufuhr weiteren Sauerstoffs und der Zyklus beginnt erneut. Auf diese Weise herrschen starke Sauerstoffschwankungen in der Haltungseinheit vor. Dabei wechseln sich Phasen mit starker Übersättigung, gefolgt von kritischen Werten im unteren Bereich und daraufhin wieder sehr hohen Werten stetig ab (Abb. 10 und 12). Diese kontinuierlichen Schwankungen beeinflussen sowohl die Korrektheit der tatsächlichen Sauerstoffwerte innerhalb der Haltungseinheit als auch das Wohlbefinden der Fische. Aus diesem Grund schien es sinnvoll, die Software abändern zu lassen.

Die Änderung war dergestalt, dass das erste Ventil für die Sauerstoffzufuhr der Jet-Systeme dauerhaft geöffnet ist und somit für eine kontinuierliche Grundanreicherung des Wassers mit Sauerstoff sorgt. Das zweite Ventil behält die ursprüngliche Funktion bei (bzw. übernimmt die Funktion des ersten Ventils) und öffnet sich nur, wenn zusätzlich Sauerstoff benötigt wird. Diese Abänderung erwies sich als positiv und die vorherigen starken Schwankungen konnten so eingedämmt werden (Abb. 11 und 13).

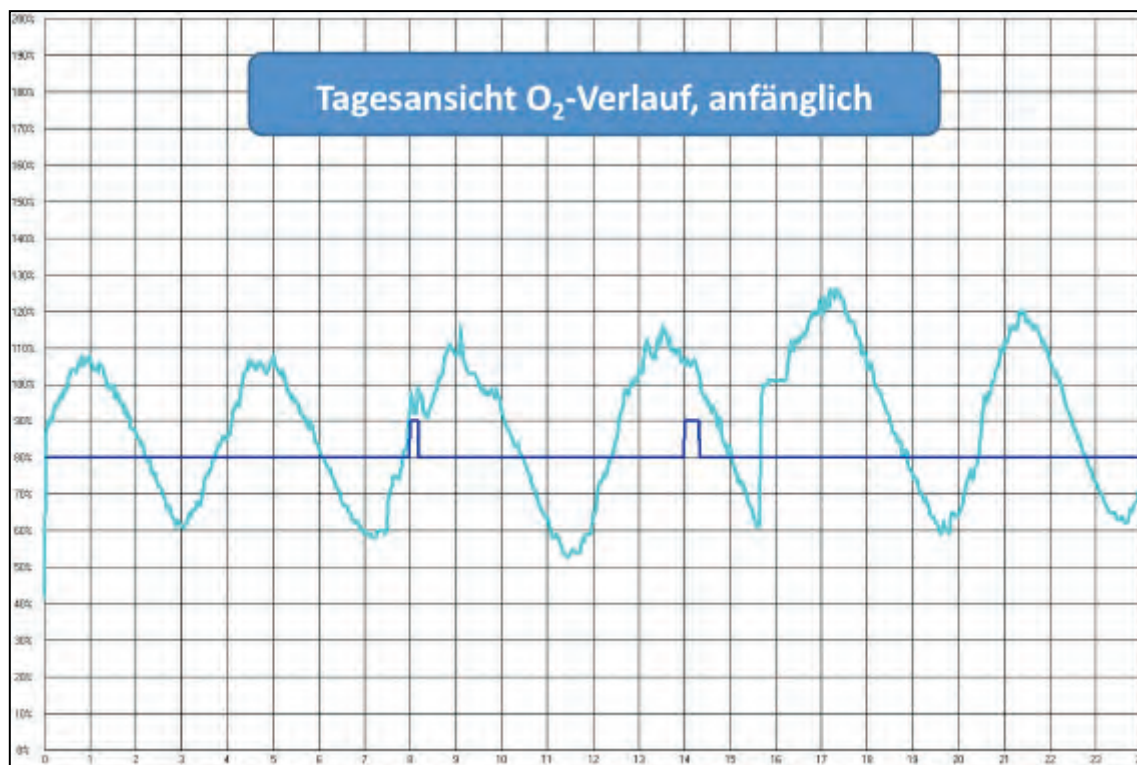


Abb. 10: Tagesaufzeichnung (24 h) der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf vor Abänderung der Steuerungssoftware (dunkelblaue Linie = Sauerstoff-Sollwert; hellblaue Linie = Sauerstoff-Istwert).

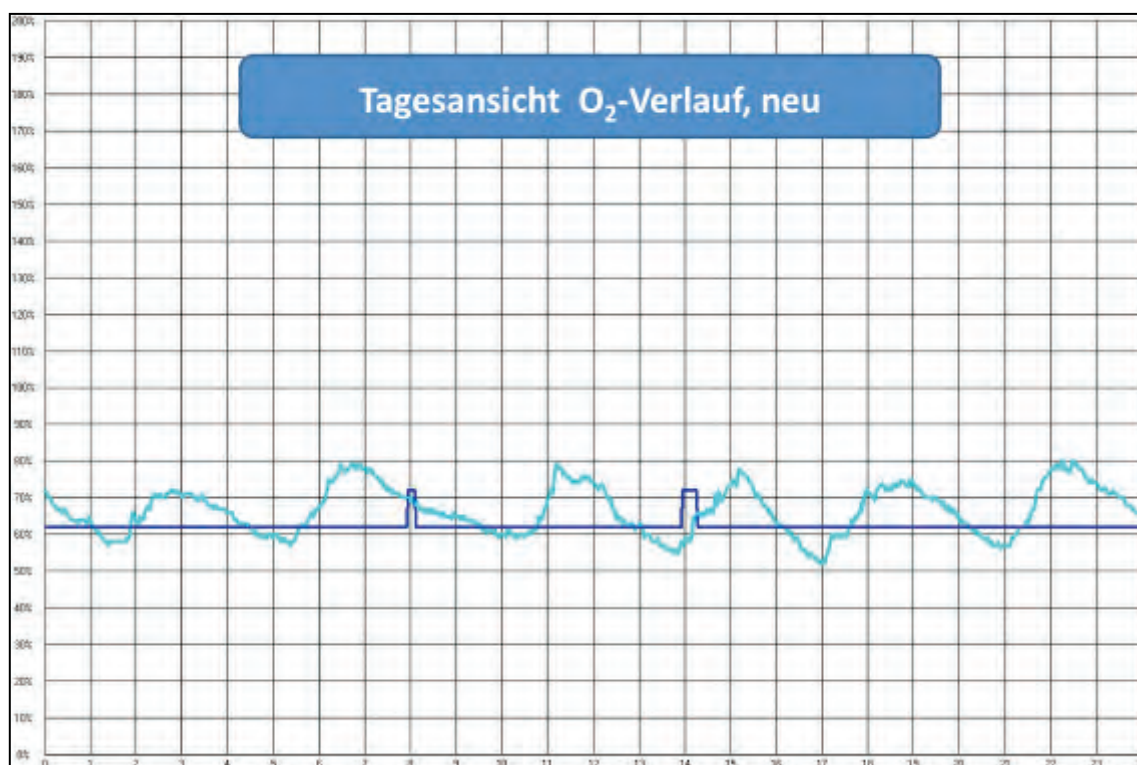


Abb. 11: Tagesaufzeichnung (24 h) der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf nach Abänderung der Steuerungssoftware.

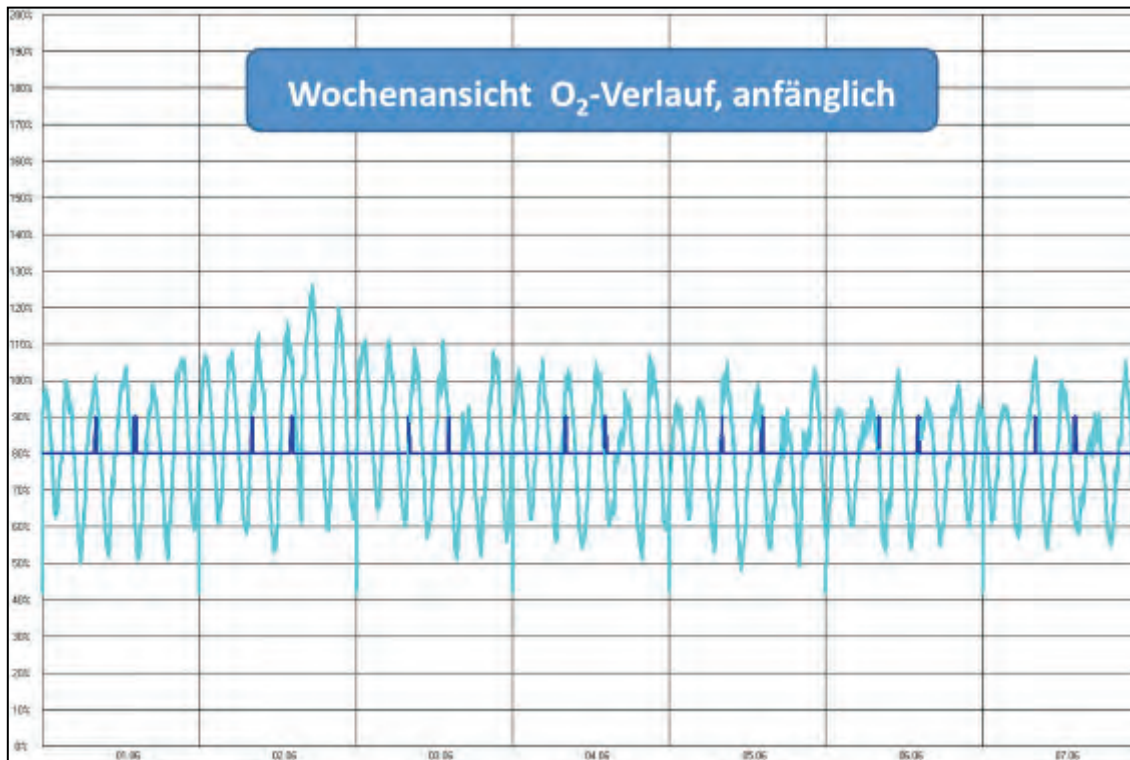


Abb. 12: Wochenaufzeichnung der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf vor Abänderung der Steuerungssoftware.

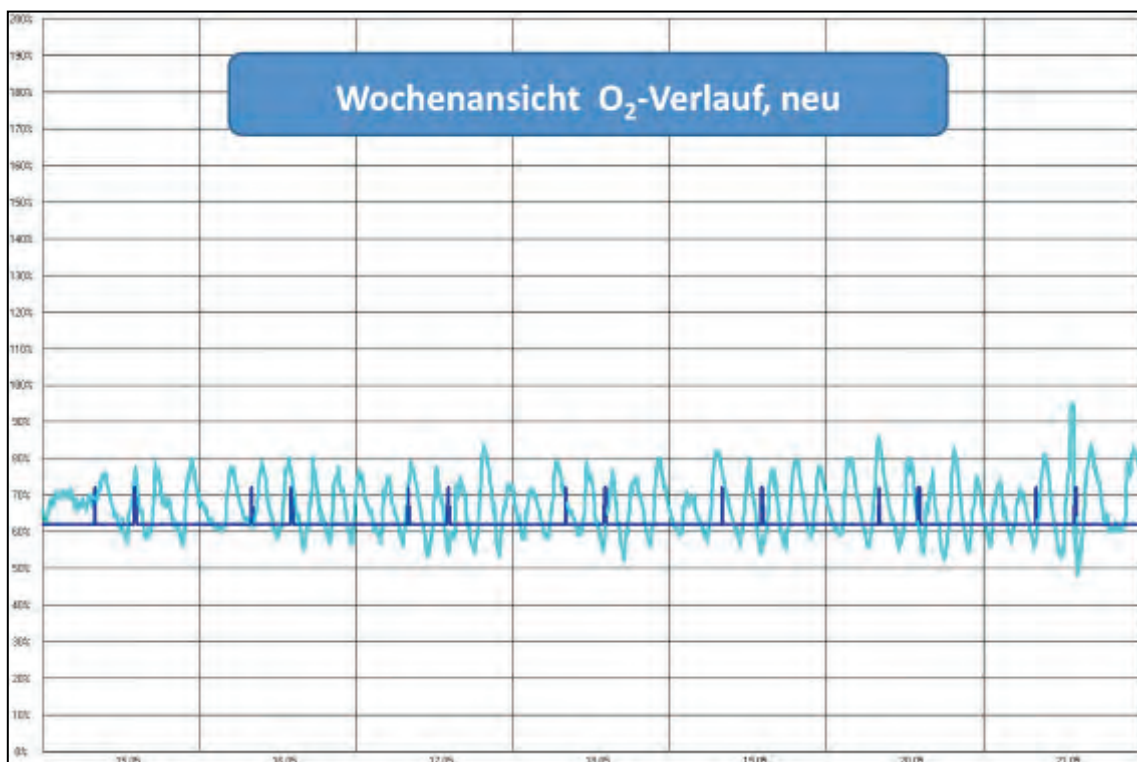


Abb. 13: Wochenaufzeichnung der Sauerstoffsättigung am Teichauslauf nach Abänderung der Steuerungssoftware.

## 5 Versuche zur Betriebsweise der installierten Technik

Bevor mit wissenschaftlichen Versuchen zur Produktion von Fischen begonnen wurde, schien es sinnvoll, die Technik in ihrem Auslieferungszustand auf ihre korrekte Betriebsweise und evtl. Fehlerquellen, die zu Falschaussagen führen könnten, zu untersuchen.

### 5.1 Fütterungsanlage

#### 5.1.1 Ermittlung des Futtermittelabriebs durch die Fütterungsanlage

Bei Probeläufen der Fütterungsanlage fiel auf, dass sich unter der ausgegebenen Futtermenge ein z. T. hoher Anteil an Futtermittelabrieb sowie stark beschädigte Futterpellets (Bruchstücke) befanden. Ein Futtermittel unterliegt auf dem Weg vom Herstellungsprozess bis zum letztlichen Einsatzzweck, der Fütterung, verschiedenen Prozessen mechanischer Beanspruchung. Trotz vorangeschrittener Technik bei der Futtermittelherstellung (z. B. Extrudieren), wodurch die Stabilität der Futterpellets deutlich erhöht werden konnte, ist ein völliges Verhindern von Abrieb nicht möglich. Durch das Verfüllen, Umlagern, den Transport und letztlich durch verschiedene Fütterungspraktiken, kann das Futterpellet beschädigt werden.

Um das Futter vom Vorratsbehälter bis zum gewünschten Teich zu befördern, passiert das Futter bei der hier untersuchten Fütterungsanlage verschiedene Stationen mit unterschiedlicher mechanischer Beanspruchung. Wie in der Funktionsbeschreibung der Fütterungsanlage bereits erwähnt, gelangt das Futter zunächst aus den Vorratsbehältern durch ein Rohr zur Wiegezone. Das Futter wird durch das Zubringerrohr über eine motorangetriebene archimedische Schnecke (Spiralförderschnecke) verlagert. Durch die Rotation der Schnecke wirken mechanische Kräfte auf die Futterpellets ein, die Beschädigungen des Futters bewirken können. Nach Förderung durch die Schnecke fällt das Futter aus dem Zubringerrohr in die Wiegeschale (ca. 1 m Höhenunterschied). Hier können schon angebrochene Pellets weiter beschädigt werden. Anschließend wird das Futter durch einen Mischerarm aus der Wiegezone in die Futterrohre verfrachtet. Von hier aus wird das Futter in einem Druckluftstrom durch Edelstahlrohre zur Ausgabestelle (Teich, Handfutterausgabe) geblasen. Auf dem Weg zur gewünschten Ausgabestelle muss das Futter unterschiedlich lange Wege durch die Rohre zurücklegen, bei denen es durch Anschläge an die Rohrwände (besonders bei Bögen) weiter beschädigt werden kann.

Um den Grad der Beschädigung der Pellets zu quantifizieren, wurden unterschiedliche Futterpelletgrößen nach verschiedenen Passagen durch die Fütterungsanlage mit einem Mikrogaze-Netz aufgefangen und auf ihre Abriebeigenschaften getestet. Als Referenz diente jeweils eine Probe aus den Futtermitteln vor Passage durch die Fütterungsanlage (Big-Pack, Futtersack).

Insgesamt wurden vier unterschiedliche Pelletgrößen (3 mm, 4,5 mm, 6 mm, 9 mm) eines Futtermittelherstellers untersucht. Die getesteten Pelletgrößen sind gängige Größen und werden häufig in der Forellenzucht als Futter eingesetzt. Jedes Futtermittel wurde mindestens drei Mal an jeder Probestelle beprobt. Für die Ergebnisdarstellung wurde jeweils der Mittelwert aus den einzelnen Proben gebildet.

Zur Bestimmung des Abriebs wurde jeweils eine definierte Futtermenge (je 1 kg/Probe) an unterschiedlichen Stellen der Fütterungsmaschine und jeweils aus den Ursprungsbehältnissen zur Ermittlung der Referenz entnommen. Anschließend wurden die Proben durch eine genormte Siebkaskade in ihre unterschiedlichen Kornfraktionen getrennt. Auf



dem oberen Sieb blieben die unversehrten Futterpellets sowie grobe Bruchstücke liegen. In den unteren Sieben befanden sich je nach Gitterabstand kleinere Bruchstücke bzw. die Feinanteile. Die jeweiligen Kornfraktionen wurden einzeln abgewogen (Abb. 14).

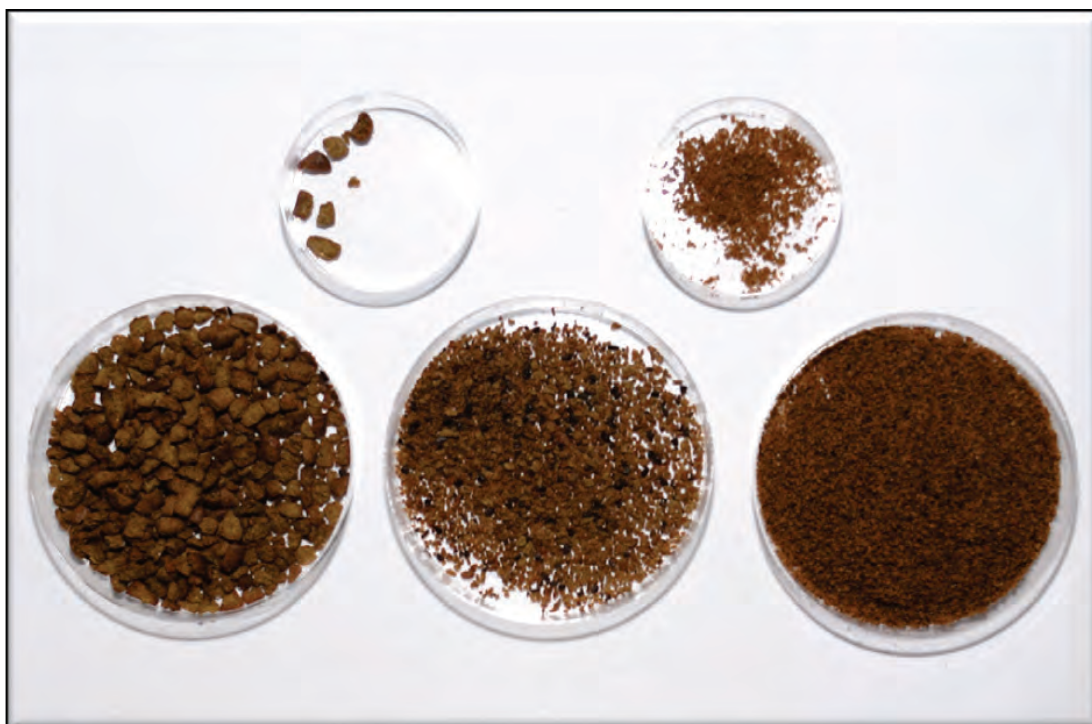


Abb. 14: Ermittelter Abrieb eines Futtermittels (Laichfischfutter, 9 mm). Die beiden oberen Schälchen zeigen Bruchstücke bzw. Abrieb von 1 kg Futter aus einem 25 kg Futtersack. Gesamtgewicht: 1,2 g. Die unteren drei Schälchen zeigen Bruchstücke bzw. Abrieb von 1 kg des gleichen Futters nach Passage durch die Fütterungsanlage. Gesamtgewicht: 28,2 g.

#### 5.1.1.1 Ergebnisse der Abriebbemessung

In der folgenden Abbildung 15 werden die Mittelwerte der ermittelten Abriebbemengen für die verschiedenen Futterpelletgrößen dargestellt. Auf der Ordinate wird die durchschnittliche Abriebbemenge in g pro kg Futter angegeben. Auf der Abszisse werden die jeweiligen Probenentnahmeorte sowie die beprobten Futtermittelgrößen dargestellt.

Betrachtet man die Ergebnisse in Abbildung 15, fällt auf, dass das Futter mit einem Pelletdurchmesser von 6,5 mm am stärksten beschädigt wurde. Im Durchschnitt wurden hier 123 g Abrieb pro 1000 g Futter (= 12,25 %) bei der Handfütterausgabe (HA) und 111 g (= 11,08 %) bei der Probestelle im Teich (T) ermittelt. Gemessen an der Referenzprobe (Ref) aus dem Futtermittelsack mit 0,23 g Abrieb sind die Abriebbemengen durch die Fütterungsanlage rund 500 Mal höher. Die zweitgrößte Abriebbemenge wurde bei 9 mm-Körnung festgestellt. Mit knapp 30 g Abrieb (= 2,82 %) bei der Handfütterausgabe und knapp 25 g (= 2,41 %) im Teich liegen die Abriebbemengen im Vergleich zum 6,5 mm Futter etwa bei einem Viertel. Das Futter mit dem Durchmesser von 3 mm wurde am wenigsten beschädigt und der Abrieb weist prozentual nur geringfügig von der Referenzprobe ab.

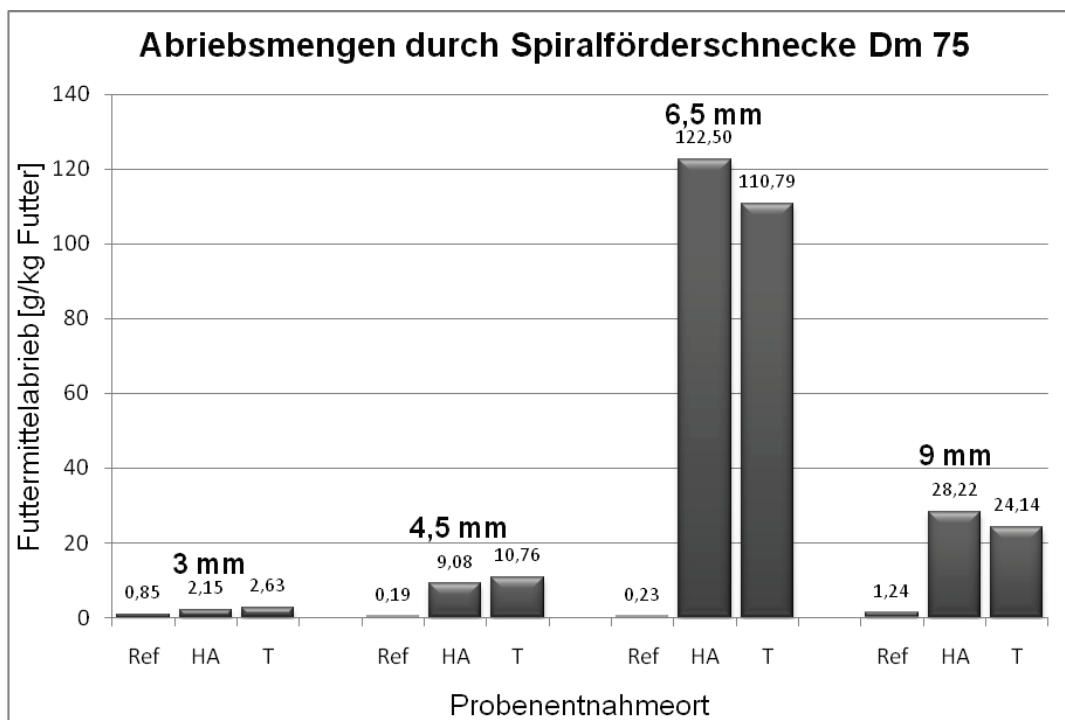


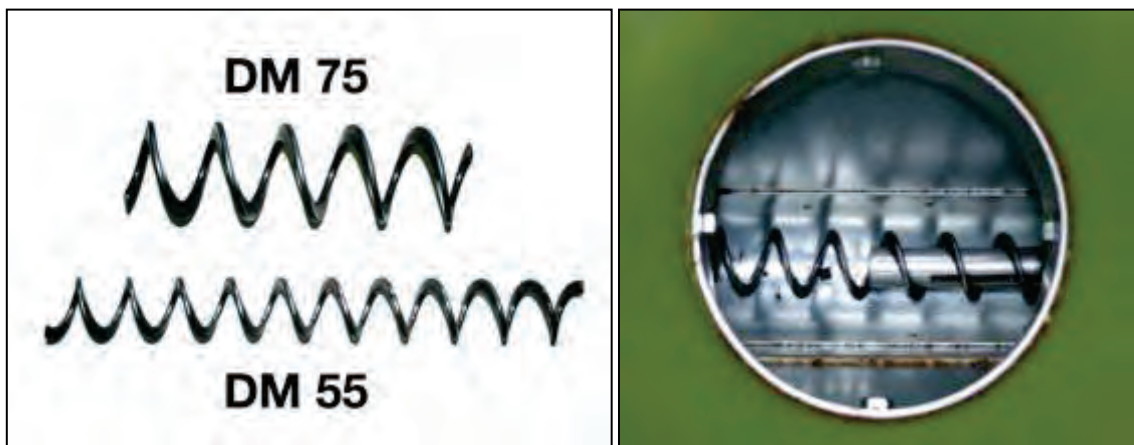
Abb. 15: Ermittelte Abriebmengen verschiedener Futterpelletgrößen an unterschiedlichen Probenentnahmeorten der Fütterungsanlage (Ref = Referenzprobe, HA = Handfütterausgabe, T = Teich).

Im Auslieferungszustand wurde die Fütterungsanlage mit den Spiralförderschnecken-Modellen Dm 75 versehen. Nach ersten Testläufen stellte sich heraus, dass der Abrieb einzelner Futtermittelgrößen sehr hoch war. Bei Untersuchungen der einzelnen Passagen der Futtermittelführung wurde schnell ersichtlich, dass der Hauptanteil des Abriebes durch die mechanische Einwirkung der Förderschnecke auf die Futterpellets verursacht wird. Hierfür wurde das Futter unmittelbar beim Übergang der Förderschnecken zur Wiegezone aufgefangen und auf die entstandenen Abriebmengen untersucht. Besonders stark wurden die Futterpellets mit einem Durchmesser von 6,5 mm beschädigt. Diese Futtergröße passte von ihrem Durchmesser ziemlich genau in den Zwischenraum von Spiralförderschnecke und Futterleitungsrohr. Höchstwahrscheinlich war das der Grund für die hohe Beschädigung. Es lag daher nahe einen anderen Spiralförderschneckentyp zu testen, da die ermittelten Abriebmengen nicht akzeptabel erschienen.

#### 5.1.1.2 Ergebnisse nach Einbau neuer Spiralförderschnecken

Die Ergebnisse der Futtermittelabriebuntersuchungen zeigten z. T. sehr hohe Abriebmengen. Durch die Spiralförderschnecke wurde der Hauptabrieb verursacht. Um den Abrieb zu reduzieren, wurden Spiralförderschnecken mit einem geringeren Durchmesser (Dm 55) installiert (Abb. 16, links) und die Abriebmengen für die gleichen Futtermittelgrößen erneut bestimmt. Beim Ausbau der Spiralförderschnecken Dm 75 sind mehrere kg Feinabrieb aus den Förderrohren geborgen worden (trotz der kurzen Einsatzzeit!), welcher nicht durch die Schnecke mittransportiert wurde, sondern sich im unteren Teil der Rohre gesammelt hatte.

Um eine Vergleichbarkeit zum anderen Spiralförderschneckenmodell zu haben wurden die gleichen Futtermittelgrößen des gleichen Futtermittelherstellers mit dem neu installierten Modell erneut getestet.



*Abb. 16: Das linke Bild zeigt Stücke der beiden getesteten Spiralförderschnecken. Wie man gut erkennen kann, unterscheiden sich die beiden Modelle deutlich in ihrem Durchmesser. Das obere Modell wurde im Auslieferungszustand eingebaut und verursachte hohe Abriebmengen beim Futtertransport. Der Wechsel zu dem darunter dargestellten, kleineren Modell erbrachte eine deutliche Reduzierung der Abriebmengen. Das rechte Bild zeigt eine eingebaute Spiralförderschnecke Dm 55 am Boden eines Futtersilos. Der Abstand zwischen Schneckenrand und Futterleitungsrohr hat sich gegenüber dem vorherigen Modell vergrößert.*

Die Ergebnisse zeigen, dass die Abriebmengen aller getesteten Futtermittelgrößen durch den Wechsel der Spiralförderschnecken reduziert werden konnten (Abb. 17). Der deutlichste Unterschied konnte bei dem 6,5 mm Futter erzielt werden. Hier konnte die Abriebmenge von 12,25 % auf 1,16 % bei der Handfuttermittelabgabe und von 11,08 % auf 1,37 % bei der Probestelle im Teich jeweils um den Faktor 10 reduziert werden. Auch die zuvor hohen Abriebmengen bei einem 9 mm Futter konnten deutlich von knapp 3 % auf knapp 1 % reduziert werden. Ebenso ließ sich die Abriebmenge des 4,5 mm Futters von ca. 1 % auf ca. 0,2 % herabsetzen.

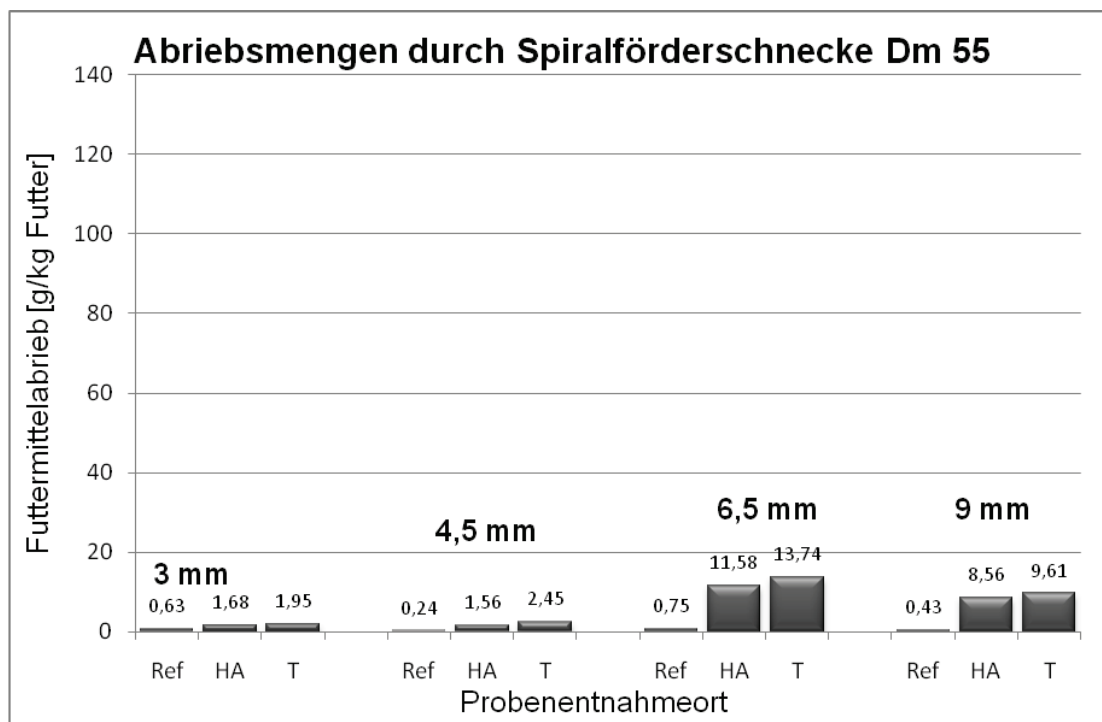


Abb. 17: Ermittelte Abriebsmengen nach Einbau des Spiralförderschnecken-Modells Dm 55. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den ermittelten Abriebsmengen der Spiralförderschnecken Dm 75, wurde die gleiche Skalierung der Ordinate wie in Abb. 15 gewählt.

Trotz der deutlichen Reduzierung der Abriebsmengen durch den Austausch der Förderschneckenmodelle, entsteht bei den Pelletgrößen 6,5 mm und 9 mm immer noch ein deutlich höherer Anteil an Abrieb, als bei den kleineren Futtergrößen. Diese Mengen können wirtschaftlich gesehen von Bedeutung sein. Ausgehend von einem Fischzuchtbetrieb, der 100 t Futter/Jahr verfüttert, würde bei nur einem Prozent Abrieb 1 t Futtermittelverlust entstehen.

Um die Abriebsmengen auch bei den größeren Futtersorten noch weiter zu reduzieren, könnte man einen weiteren Förderschneckentyp testen, der speziell bei größeren Korndurchmessern weniger Abrieb verursacht. Bis heute wurden nach Angaben des Herstellers nur Fütterungsanlagen mit den Förderschneckentypen Dm 55 und Dm 75 verbaut. Dies hat den Grund, dass sich diese beiden Typen gut eignen, kleine Korngrößen zu transportieren. Es gibt jedoch noch ein weiteres Förderschnecken-Modell (Modell HMC), welches bisher in der Schweinezucht Verwendung findet, um Pellets mit Korndurchmessern bis 10 mm zu fördern. Untersuchungen zum Einsatz einer Spirale dieses Typs sind erstrebenswert, um den Futtermittelverlust größerer Futtermittel weiter reduzieren zu können.

Der Abrieb von Futtermitteln bedeutet zum einen Verlust von Futter, da der entstehende Futterstaub von den Fischen nicht gefressen werden kann, was einen schlechteren Fischzuwachs bzw. Futterquotient bedeutet. Zum anderen entsteht durch den Abrieb eine größere Belastung des Wassers. Die Feinanteile haben eine sehr viel größere Oberfläche, so dass aus ihnen die Nährstoffe schneller emittieren. Diese Nährstoffbelastung kann sich wiederum negativ auf die Fischgesundheit auswirken und das Wachstum beeinflussen.

### 5.1.2 Überprüfung der Wiegegenauigkeit

Die Fische eines Teiches werden mit Futtermengen nach bestimmten Futterkurven gefüttert, welche optimalerweise täglich an die Fischbiomasse angeglichen werden. In diesem Fall erledigt das die Software der Fütterungsanlage, indem sie den täglichen Zuwachs der Fische mittels Fütterungsvorgaben errechnet und die Futtermengen der geänderten Fischmasse angleicht. Damit diese Werte stimmen, müssen die einzelnen Futterportionen exakt abgewogen werden. Das Wissen um die Genauigkeit der Wägung spielt im Bezug auf die geplanten Fütterungsversuche eine große Rolle. Um die Genauigkeit der Wiegen zu überprüfen, wurden verschiedene Versuche durchgeführt.

#### 5.1.2.1 Ergebnisse der Überprüfung der Wiegegenauigkeit

Zunächst wurden definierte Futtermengen in den Fütterungscomputer eingegeben, die über die Handfutterausgabe oder direkt im Teich ausgegeben werden sollten. Diese wurden an der jeweiligen Ausgabestelle mit einem Mikrogaze-Netz aufgefangen und nachgewogen. Dabei zeigte sich, dass im Durchschnitt die Differenz (in Gramm) zwischen der Soll- und der Ist-Menge relativ ähnlich war. Betrachtet man jedoch die Differenz prozentual gesehen zur gewünschten Ausgabemenge, hat man deutlich höhere Abweichungen, je kleiner die Ausgabemenge gewählt wurde. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Durchschnittswerte der erhobenen Ergebnisse:

Tab. 4: Prüfung der Wiegegenauigkeit der Fütterungsanlage durch Ausgabe einzelner Futterportionen.

Anzahl Fütterungen	Futtermenge Soll	Futtermenge Ist	Differenz	
1	1.000 g	1.046 g (Ø von 20 Proben)	46 g	4,4 %
1	500 g	548 g (Ø von 20 Proben)	48 g	9,6 %
1	200 g	246 g (Ø von 30 Proben)	46 g	23 %

Die Ergebnisse zeigen, dass es Abweichungen zwischen den Soll- und Istwerten gibt. Die nachgemessenen Abweichungen waren alle der Art, dass mehr Futter ausgegeben als eingestellt wurde. Es fällt auf, dass die Differenzen, unabhängig von der gewünschten Ausgabemenge, ähnlich hoch sind (im Durchschnitt 46,7 g).

Die oben aufgeführten Einzelmessungen wurden durch Tagesprogramme mit fiktivem Fischbestand ergänzt, um die tatsächliche Wiegegenauigkeit bei verschiedenen Fütterungsfrequenzen im Praxiseinsatz zu simulieren. Die jeweiligen Tagesfuttermengen wurden an der Handfutterausgabe oder an einer Futterausgabestelle in einem leeren Teich aufgefangen. Anschließend wurden die aufgefangenen Futtermengen mit einer geeichten Waage abgewogen. So konnte man die Werte der eingestellten Futtermengen (Sollmengen) mit den tatsächlich ausgegebenen Mengen (Istmengen) vergleichen. Laut Aussage der Herstellerfirma sollte es keine großen Abweichungen zwischen gewünschter und tatsächlich ausgegebener Tagesfuttermenge geben. Zwar könnte es sein, dass die einzelnen Futtermengen eines Tagesprogrammes nicht gleich groß sind, der Computer aber aufaddiert, wie viel er insgesamt zu viel bzw. zu wenig gefüttert hat und die Differenz bei der letzten Fütterung im Tagesprogramm berücksichtigt und dadurch ausgleicht. Die folgende Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Tests von Tagesprogrammen mit verschiedenen Fütterungsfrequenzen:

Tab. 5: Prüfung der Wiegegenauigkeit der Fütterungsanlage durch Ausgabe unterschiedlich vieler Futterportionen.

Anzahl Fütterungen	Futtermenge Soll	Futtermenge Ist	Differenz	
10	10,77 kg	11,43 kg	0,66 kg	6,1 %
20	11,22 kg	12,44 kg	1,22 kg	10,9 %
40	11,37 kg	13,83 kg	2,46 kg	22,60 %

Auch nach diesen Testläufen mit Fütterungen nach Tagesprogramm zeigten sich deutliche Abweichungen zwischen den Soll- und den Istwerten. Es zeigte sich, dass die Abweichungen von den Tages-Sollwerten umso höher waren, je höher die Anzahl der Fütterungen pro Tag war. Die Wiegegenauigkeit pro Einzelfütterung bleibt jedoch wieder relativ gleich, wenn man die jeweiligen Differenzmengen durch die Anzahl der Fütterungen dividiert:

- Bei 10 Fütterungen/Tag = 66,0 g/Fütterung
- Bei 20 Fütterungen/Tag = 61,0 g/Fütterung
- Bei 40 Fütterungen/Tag = 61,5 g/Fütterung

Im Wiegeprozess schien ein Fehler vorzuliegen, der gemessen an den Einzelfutterportionen mit relativer Kontinuität auftrat. Für die bevorstehenden Versuche galt es diese Fehlerquelle auffindig zu machen, da sonst die Interpretation der Fütterungsversuchsergebnisse zu Fehlschlüssen führen könnte. Etwa: bei 40 Fütterungen/Tag wachsen die Fische besser als bei 10 Fütterungen/Tag. Auszuschließen ist das nicht, aber wie man gesehen hat, wird bei 40 Fütterungen auch der Wiegefehler größer, d. h. mehr Futter/Tag verabreicht und dadurch auch evtl. der Fischzuwachs beeinflusst.

#### 5.1.2.2 Eichung der Waage

Die festgestellten Wiegegenauigkeiten wichen so stark von den angegebenen Werten ab, dass die Fütterungsanlage für wissenschaftliche Fütterungsversuche so nicht eingesetzt werden konnte. Es musste also ein Weg gefunden werden, wie die Waage genauere Messungen der einzelnen Futterportionen vornimmt. Hierzu wurde zunächst die Waage der Fütterungsanlage mit Eichgewichten neu geeicht. Hierbei zeigte sich, dass die Waage Abweichungen zu den Eichgewichten zeigte. Die Abweichungen lagen jedoch lediglich im Bereich von 5 – 10 g und konnten nicht die alleinige Ursache für die festgestellten Wiegegenauigkeiten sein.

#### 5.1.3 Frequenz der Spiralschneckenmotoren

Wenn man den Aufbau der Fütterungsanlage noch einmal speziell im Bereich der Futterzufuhr zur Waage betrachtet, fällt eine weitere Stelle ins Auge, die für die Wiegegenauigkeit verantwortlich sein könnte. Nachdem das Futter durch die Spiralförderschnecke in die Fütterungsmaschine gelangt, fällt es ca. 1 m tief, bis es in der Waagschale landet. Der Computer der Fütterungsanlage stoppt die Futterzufuhr, sobald die gewünschte Futtermenge in der Waagschale liegt und die Spiralförderschnecke hält an. Da aber ein Teil des Futters noch 1 m Höhenunterschied vom Futterrohr bis zur Waagschale zurückzulegen hat, befindet sich nach Stoppen der Anlage immer noch eine Restmenge Futter in der Luft, die das Wiegeergebnis beeinflusst.

Die Grundeinstellungen der Motoren, die die Spiralförderschnecken antreiben, waren auf eine Frequenz von 20 Hz eingestellt. Die Frequenz der Antriebsmotoren lässt sich manuell herabsetzen. Dadurch dreht sich die Spiralförderschnecke langsamer und es wird zeitlich betrachtet weniger Futter/Zeiteinheit in die Waage gefördert. Ob dadurch erreicht werden kann, dass der Futternachlauf geringer und die Futtermenge genauer wird, sollten weitere Messungen bestätigen.

Die bis hierhin ermittelten Differenzen schwankten durchschnittlich von 46 bis 66 g/Fütterung. Durch die Eichung der Waage und die Herabsetzung der Frequenz konnte die bisher festgestellte Wiegegenauigkeit deutlich herabgesetzt werden. Im Durchschnitt erbrachten die Untersuchungen Differenzen von 10 bis 30 g pro Fütterung. Die festgestellten Differenzen wichen jedoch z. T. stark voneinander ab, so dass kein genauer Messfehler definiert werden konnte.

Um genauere Aussagen zur Wiegegenauigkeit machen zu können, schienen versuchsbegleitende Langzeitmessungen sinnvoll.

#### 5.1.4 Langzeitmessung der Wiegegenauigkeit

Weitere Versuche zur Wiegegenauigkeit wurden versuchsbegleitend durchgeführt. Das sollte zum einen Aufschluss über die Messgenauigkeit über einen längeren Zeitraum geben, als auch zur Kontrolle der laufenden Fütterungsversuche dienen, in wie weit die tatsächlichen Tagesfuttermengen von den Sollmengen abweichen. Hierfür wurde unter den Auslass der Handfutterausgabe ein Behältnis aufgestellt. Dieses Behältnis simulierte einen Teich, der nach gleicher Futterkurve wie die Fische in den Versuchsteichen gefüttert wurde. Durch diesen Versuch sollten Langzeituntersuchungen zur Fütterungsgenauigkeit gemacht werden. Die so abgefangene Futtermenge wurde mit der Sollfuttermenge über einen bestimmten Zeitraum verglichen, um eventuelle Abweichungen zu erfassen.

Am 02.10.2009 wurde die Handfutterausgabe als fiktiver Teich mit einem hypothetischen Fischbesatz ausgewählt, der identisch mit dem eines laufenden Versuches war:

- Versuchsbeginn: 02.10.2009
- Fischanzahl: 4.150 Stk.
- Durchschnittsgewicht der Fische: 37,75 g
- Fütterungsintensität: 1,5 %
- Fütterungshäufigkeit: 4 x/Tag

Versuchsbeginn	Fischanzahl	Schnittgewicht	Fütterungsintensität	Fütterungshäufigkeit
02.10.2009	4150 Stk.	37,75 (g)	1,50 %	4 x / Tag

Versuchsdauer	Anzahl Fütterungen	Futtermenge Soll	Futtermenge Ist	Differenz
35 Tage	120	92,50 kg	94,80 kg	2,3 kg (2,5%)

Über den Zeitraum von 35 Tagen wurden 120 Einzelfütterungen in einen Auffangbehälter ausgegeben. Die nachgewogene Futtermenge wich dabei um 2,3 kg nach oben von der Sollfuttermenge ab. Dies entspricht knapp 2,5 % mehr Futter. Auf die Einzelfütterung gerechnet bedeutet dies: Differenz in g (2.300) dividiert durch die Anzahl der Fütterungen (120) = Abweichung in g pro Fütterung. Das Ergebnis erbringt eine Abweichung von knapp 20 g mehr Futter/Fütterung. Diese Differenz muss bei Fütterungsversuchen berücksichtigt werden.

## 5.2 Sauerstoffeintragungssystem

Sauerstoff ist häufig der limitierende Faktor in der Forellenproduktion. Der Sauerstoffgehalt im Wasser ist abhängig von der Temperatur, dem Verhältnis zwischen Gewässervolumen und Gewässeroberfläche, den chemischen Abbauprozessen organischer Substanzen sowie der Besatzdichte der Fische. Da der Grad der Futterausnutzung im direkten Zusammenhang mit dem Sauerstoffgehalt steht, ist es oftmals gerade bei höheren Besatzdichten unumgänglich, Sauerstoff (Luft- oder technischen Sauerstoff) in das Gewässer einzubringen, um damit eine möglichst ökonomische Produktion zu gewährleisten. Es gibt verschiedene Methoden zur Anreicherung des Wassers mit Sauerstoff, wobei für deren Effektivität der Sauerstoffnutzung drei ausschlaggebende Faktoren bestehen: 1. die Kontaktfläche zwischen Wasser und Gas, 2. die Kontaktdauer sowie 3. der Druck, unter dem der Kontakt erfolgt.

Durch den Eintrag von Sauerstoff kann die Produktionsintensität erheblich gesteigert werden. Stromlos betriebene Sauerstoffeintragsgeräte haben hierbei Vorteile durch geringere laufende Kosten sowie geringere Gefahr von Fischverlusten bei Stromausfall. Allerdings sind gewisse Voraussetzungen erforderlich, damit diese Technik funktioniert und entsprechend effektiv ist. Unter Effektivität ist dabei zu verstehen, welcher Anteil des eingebrachten Sauerstoffs im Wasser gelöst wird und damit den Fischen zur Verfügung steht.

### 5.2.1 Ermittlung der Effektivität des Sauerstoffeintrags

Die Water-Jet-Plattform wurde im Einsatz unter verschiedenen Voraussetzungen auf ihre Effektivität getestet (Reiter et al., 2011). Wasserzulauf und Sauerstoffzufuhr wurden gemessen, ebenso wie die Gasmenge und die -zusammensetzung aus dem Entlüftungsrohr sowie der Sauerstoffgehalt im Teichwasser nach Passage des Eintragsgeräts. Hierzu war eine aufwändige Versuchsanordnung notwendig, die von der Fa. Linde zur Verfügung gestellt wurde. Neben einem Fass zum Abscheiden von Wasser, kamen eine Waschflasche, ein Sauerstoffmessgerät (Bühler BA 4000), eine Ansaugpumpe (KNF Miniport; 200 l/h), eine Gasuhr (Fa. Elster;  $P_{\max}$  0,05 bar;  $Q_{\max}$  0,2 m<sup>3</sup>/h), eine Stoppuhr sowie ein portables Oximeter mit Sonde (WTW Oxi 315 i) zum Einsatz. Nach der Überprüfung der Genauigkeit der handelsüblichen Sauerstoffdurchflussmengenmesser wurde der Wirkungsgrad des Sauerstoffeintrags bei verschiedenen Sauerstoffzufuhrmengen pro Sekundenliter (l/s) Wasserzulauf, bei unterschiedlichem Wasserpolster im Jet-System sowie bei unterschiedlichem Gefälle von Zuleiter zur Techoberfläche getestet werden.

#### 5.2.1.1 Ergebnisse

Es zeigte sich, dass die handelsüblichen Sauerstoffdurchflussmengenmesser sehr ungenau arbeiten und stets zu geringe Durchflussmengen anzeigen. Die tatsächlichen Durchflussmengen liegen 40 % (bei 3 l/min O<sub>2</sub>-Durchfluss) bis über 100 % (bei 0,5 l/min O<sub>2</sub>-Durchfluss) über den angezeigten Werten. Für die weiteren Untersuchungen wurde deshalb die genaue Gasuhr verwendet.

Die Effektivität der Sauerstoffeintragsgeräte wurde anhand der über das Entlüftungsrohr abgegebenen Gasmenge und -zusammensetzung ermittelt. Die Höhendifferenz von Zuleiter zu Techoberfläche lag in diesem Fall bei 73 cm. Dabei zeigte sich, dass die Effektivität des Sauerstoffeintrags bei höherer Wasserzulaufmenge pro l/min Sauerstoffgabe erheblich besser ist. Während bei einem Verhältnis von 1 l/s Zulaufwasser auf 1 l/min O<sub>2</sub>-Eintrag die effektive Sauerstoffnutzung nur bei 65 – 75 % liegt, steigt sie bei einem Wasserzulauf von 2,5 l/s pro 1 l/min O<sub>2</sub>-Eintrag auf 80 bis über 90 % (Abb. 18). Ein weiterer ganz entscheidender Einflussfaktor auf die Effektivität ist zudem die Höhe des Sauerstoff-



polsters unter der Düsenplatte, die über das Entgasungsrohr eingestellt werden kann. Dies lässt sich ebenfalls aus der Grafik (Abb. 18) entnehmen. Die obere Kurve wurde bei einem Gaspolster von 33 cm und die untere Kurve bei einem Gaspolster von 32 cm ermittelt. Das heißt mit einem richtig eingestellten Entgasungsrohr kann die Effektivität um etwa 10 % gesteigert werden.

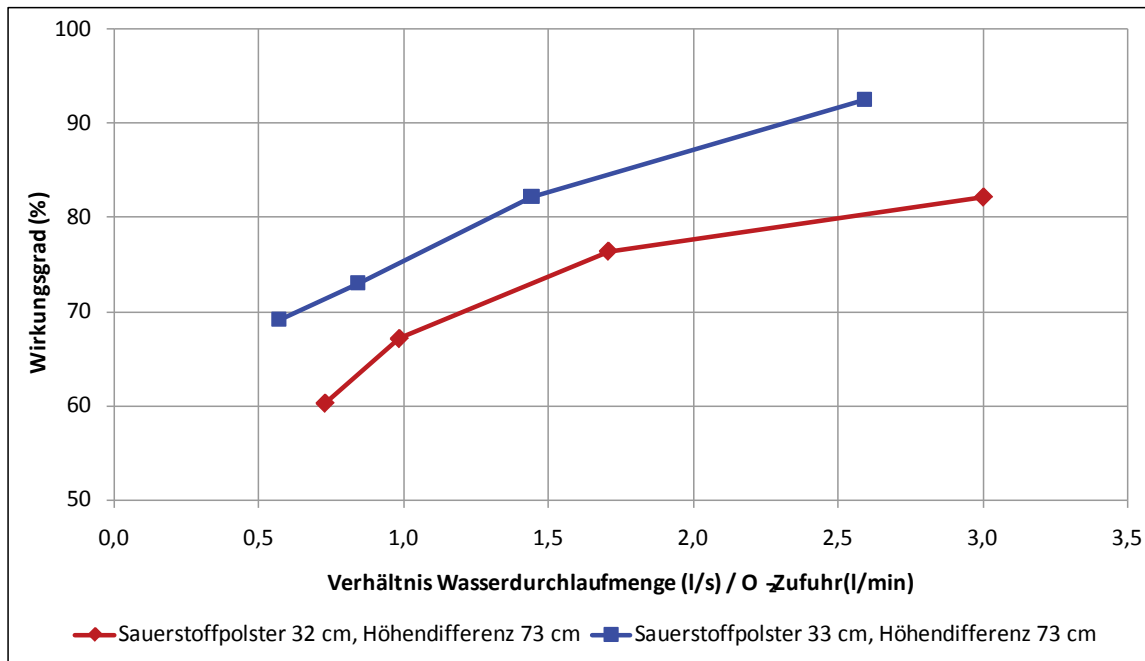


Abb. 18: Effektivität des Sauerstoffeintrags in Abhängigkeit vom Verhältnis Wasserzulauf zu Sauerstoffzufuhr (Mittelwerte bei 6, 8, 10 und 12 geöffneten Düsen pro Eintragsgerät).

Desweiteren zeigte sich, dass in gewissen Fällen auch die Anzahl der offenen Düsen eine Auswirkung auf die Effektivität haben kann. Bei ungünstigen Bedingungen, z. B. einem niedrigen Sauerstoffpolster und einer geringen Wasserzulaufmenge pro l/min Sauerstoffgabe, ist es besser über mehr geöffnete Düsen mehrere Wasserstrahlen durch die O<sub>2</sub>-Atmosphäre zu leiten. In diesem Versuch konnte die Effektivität mit 12 offenen Düsen gegenüber 6 geöffneten Düsen um etwa 20 % gesteigert werden (Abb. 19). Bei Erhöhung der Wasserzulaufmenge ist dieser Effekt allerdings nicht mehr zu beobachten.

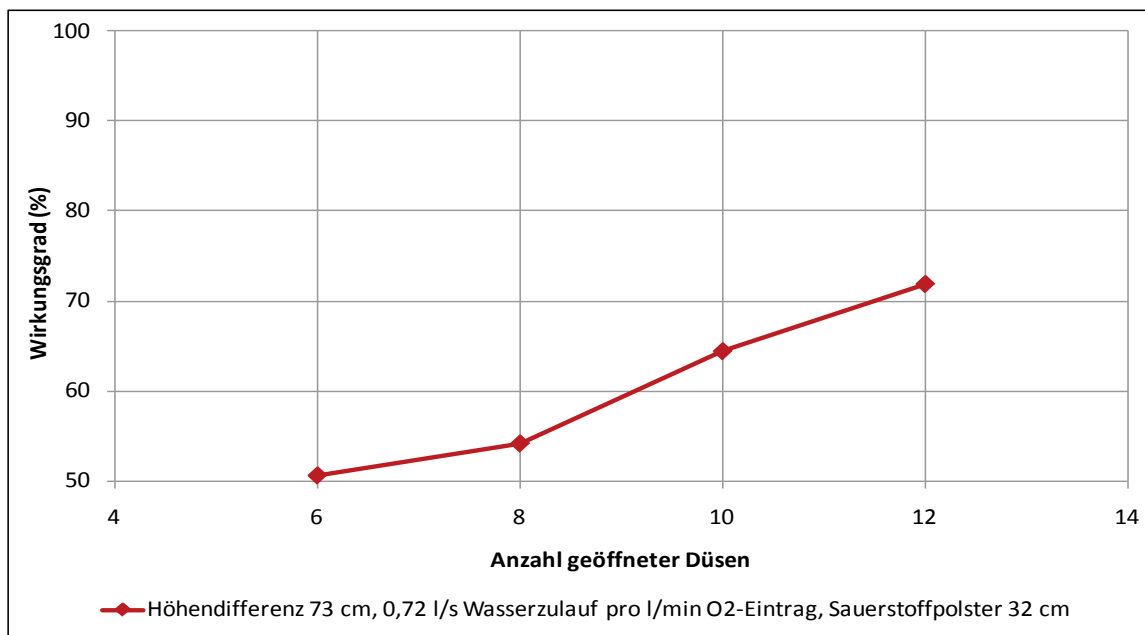


Abb. 19: Effektivität des Sauerstoffeintrags bei unterschiedlicher Anzahl geöffneter Düsen.

Weiterhin wurde festgestellt, dass das Gefälle von Zuleiter zur Teichoberfläche einen gravierenden Einfluss auf die Effektivität hat. Bei einem Sauerstoffpolster von 32 cm und einem Höhenunterschied von 73 cm liegt der effektive Sauerstoffeintrag je nach Verhältnis von O<sub>2</sub>-Eintrag zu Wasserzulauf zwischen 60 und 80 %, bei 56 cm Differenz dagegen nur zwischen 40 und 65 % (Abb. 20).

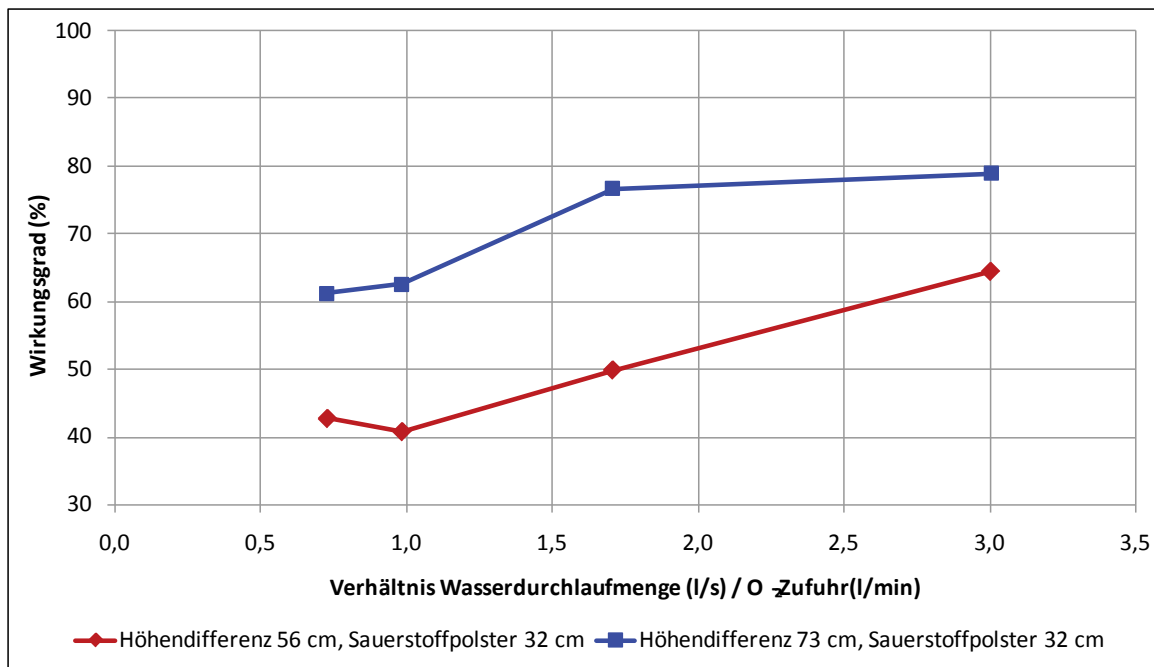


Abb. 20: Effektivität des Sauerstoffeintrags bei unterschiedlicher Höhendifferenz zwischen Zuleiter und Teichoberfläche (Mittelwerte bei 6 und 12 geöffneten Düsen pro Eintragsgerät).

Zusammenfassend zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit der Effektivität von einem ausgewogenen Verhältnis zwischen O<sub>2</sub>-Zufuhr und der Wasserdurchlaufmenge. Je größer die

Sauerstoffzufuhr im Verhältnis zur Wasserdurchflussmenge ist, desto schlechter wird der Wirkungsgrad der Anlage. Bei einem größeren Höhenunterschied und der daraus resultierenden höheren Wassersäule oberhalb der Düsenplatte wird der Druck der Wasserstrahlen, die das Gaspolster passieren, erhöht und somit ein höherer Nutzungsgrad erreicht. Weiterhin wurde ermittelt, inwieweit sich die Mächtigkeit des Gaspolsters auf die Effektivität der Anlage auswirkt. Es zeigte sich, dass in dem untersuchten Bereich eine deutliche Effektivitätssteigerung durch eine Vergrößerung des Gaspolsters zu erreichen ist.

### **5.2.2 Ermittlung der Durchflussmengen und der Sauerstoffkonzentration bei Betrieb der Water-Jet-Plattform**

Die Verwendung von Systemen zur Einbringung von Reinsauerstoff ermöglicht die Erhöhung der Produktionsintensität im Teich. Dadurch kann die benötigte Wassermenge je produzierter Fischmenge deutlich reduziert werden, dafür ist aber eine effiziente Anreicherung des Wassers notwendig. Die Effektivität des Water-Jet-Systems ist neben der Fallhöhe des Wassers abhängig von der Höhe des Sauerstoffpolsters im Gerät. Diese lässt sich über das Entlüftungsrohr regulieren (Abb. 21).

Für die Untersuchung wurde zuerst das Sauerstoffpolster aus dem Jetsystem entfernt. Anschließend wurden verschiedene Polsterhöhen ausgewählt (20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 und 38 cm). Nach jeder Veränderung der Polsterhöhe wurde 30 Minuten gewartet, dann erfolgte eine Sauerstoffmessung im Zuleiter, am Ausgang des Jetsystems und im hinteren Teichdrittel. Zeitgleich wurde die Wassermenge am Teichabfluss in Dreifachwiederholungen bestimmt.

#### **5.2.2.1 Ergebnisse**

Bei einer Polsterhöhe von 0 cm konnte eine Durchflussrate von 3,2 l/s ermittelt werden. Mit dem Einrichten eines Sauerstoffpolsters im Jetsystem kommt es zu einer Verringerung der durchfließenden Wassermenge. Die Wasserdurchlaufmenge korreliert reziprok mit der Polsterhöhe des Sauerstoffs. Allerdings verringert sich bei 20 cm Höhe die Durchlaufmenge noch nicht (3,2 l/s). Bei 25 cm kommt es zu einer Reduzierung der Durchlaufmenge (3,1 l/s). Bei der größten getesteten Polsterhöhe (38 cm) fließt nur noch eine Menge von 2,4 l/s (Abb. 22).

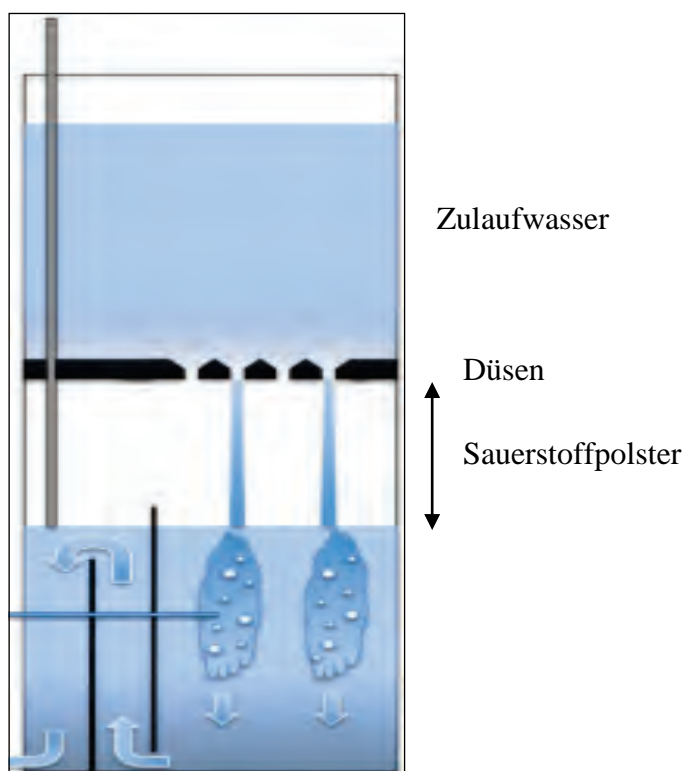


Abb. 21: Seitenansicht des Water-Jet-Systems mit Sauerstoffpolster.

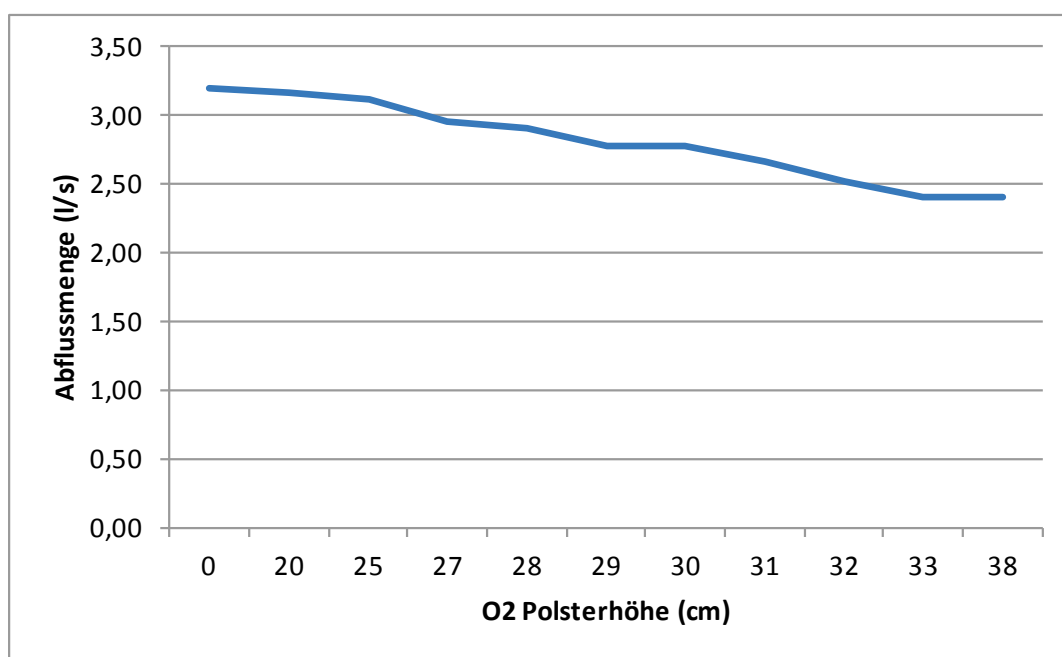


Abb. 22: Verlauf der Abflussmenge in Abhängigkeit von der Höhe des Sauerstoffpolsters.

Vor der Einrichtung des Sauerstoffpolsters entsprach die Sauerstoffkonzentration am Ausgang des Jetsystems der Menge an gelöstem Sauerstoff im Zuleiter (9,1 mg/l). Dagegen ist die Sauerstoffkonzentration im Teich mit 9,7 mg/l etwas höher. Grund dafür kann eine Anreicherung des untersättigten Wassers mit Sauerstoff über die Teichoberfläche sein. Die Sauerstoffkonzentration des Zulaufwassers blieb über die gesamte Versuchsdauer kon-

stant. Durch die Einrichtung eines 20 cm hohen Sauerstoffpolsters steigt die Sauerstoffkonzentration am Ausgang des Jetsystems auf einen Wert von 11,8 mg/l. Bis zu einer Polsterhöhe von 27 cm steigt der Sauerstoffgehalt am Ausgang des Jetsystems bis auf 11,9 mg/l an, darüber hinaus ist durch die Erhöhung des Polsters aber keine Steigerung möglich. Tendenziell kommt es dann sogar zu einem geringen Absinken des Sauerstoffgehaltes am Auslauf des Jetsystems. Der leichte Abfall der Sauerstoffkonzentration im Teich ist einerseits auf die geringere Durchflussmenge zurückzuführen. Andererseits kommt es über die Teichoberfläche zu einem Austrag des im Wasser übersättigten Sauerstoffs (Abb. 23).

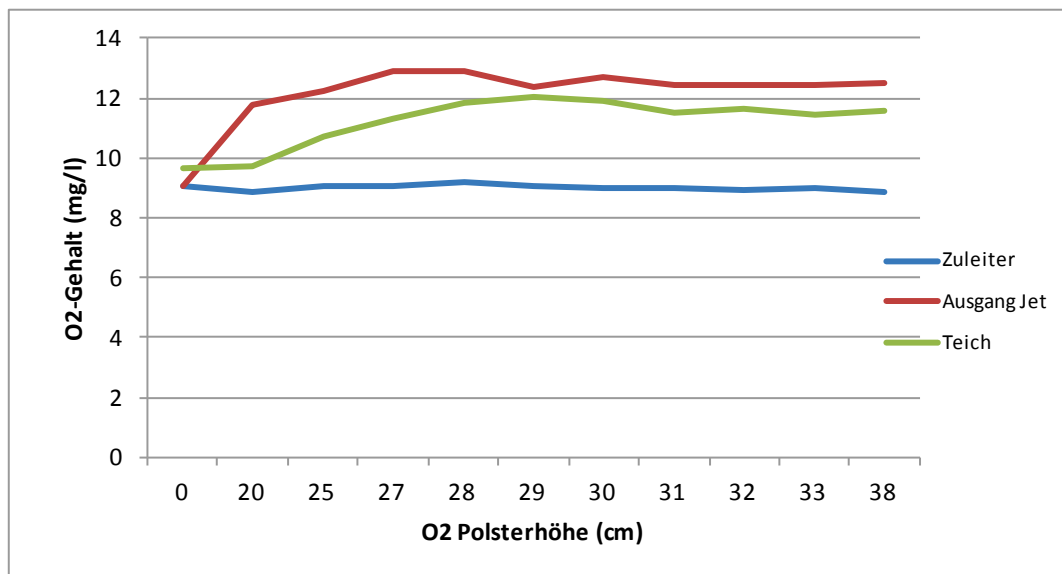


Abb. 23: Verlauf der Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Höhe des Sauerstoffpolsters.

### 5.2.3 Überprüfung der Messgenauigkeit der Dryden-Sauerstoffsonden

Es wurde häufig beobachtet, dass die Sonden unabhängig von der Häufigkeit der Kalibrierung unterschiedliche Messwerte anzeigen, daher wurde die Messgenauigkeit der Sonden überprüft. Dafür wurden alle Sonden vorab kalibriert und 24 h später der erste Messwert der Dryden-Sonden abgelesen. Danach wurde die Sonde kurzzeitig aus dem Wasserkörper entfernt. Stattdessen wurde ein Handmessgerät der Firma WTW (Oxy 315 i) an der Messstelle eingesetzt. Vor jeder Messung wurde das Handmessgerät kalibriert. Für die Messung wurde die Sonde nicht bewegt, sondern gleichmäßig angeströmt. Beide Messwerte wurden anschließend miteinander verglichen. Die vergleichenden Messungen wurden täglich über einen Zeitraum von 24 Tagen durchgeführt.

#### 5.2.3.1 Ergebnisse

Es zeigte sich, dass mit voranschreitender Laufzeit die Messgenauigkeit der Dryden-Sonden abnimmt. Bereits nach drei Wochen, gegen Ende der Messreihe, wurden in Einzelfällen Werte ermittelt, die einer fast 50 %-igen Abweichung entsprechen. In der Regel bewegte sich die Abweichung jedoch in einem Bereich unter 20 % (Abb. 24).

Das Ergebnis konnte kurzzeitig durch eine Verringerung des Kalibrierintervalls verbessert werden, vor allem aber durch eine Modifizierung des Kalibriervorgangs. Entscheidend war dabei, dass die Sondenköpfe nur in den Morgenstunden oder über Nacht kalibriert

wurden und nicht wechselnden Temperaturen, Wind und Luftfeuchtigkeit ausgesetzt waren. Daneben war es entscheidend, dass die Sonde mindestens 1 bis 2 Stunden vor Beginn der Kalibrierung aus dem Wasser genommen wurde. Eine Wartezeit von einer ½ Stunde, wie in der Wartungsanleitung beschrieben, war keinesfalls ausreichend. Unglücklicherweise nimmt dieser Vorgang sehr viel Arbeitszeit in Anspruch, und ein Erfolg der Maßnahme ist nicht in jedem Fall zu garantieren. Dazu kommt, dass in dieser Zeit keine Sauerstoffüberwachung möglich ist.

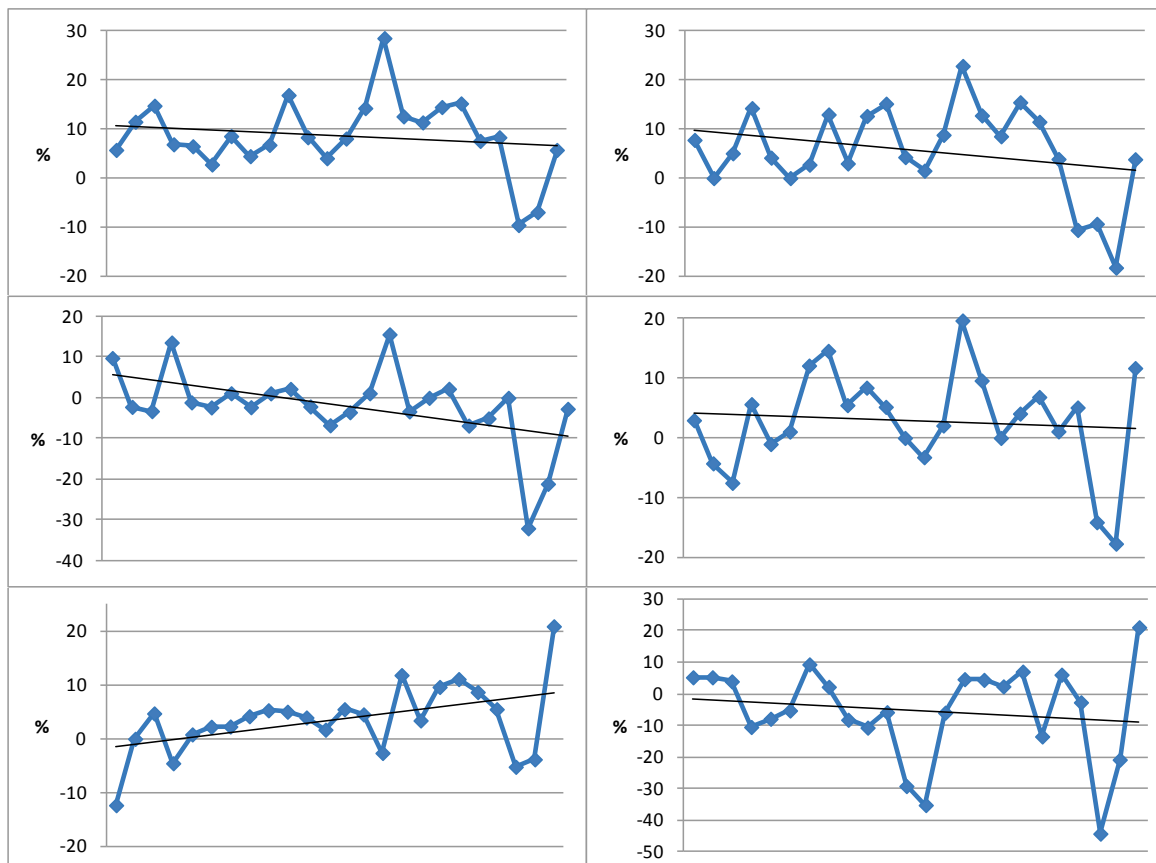


Abb. 24: Prozentuale Abweichung der Dryden-Messsonden von der tatsächlichen Sauerstoffsättigung (gemessen mit WTW 315 i).

## 6 Versuche zum Praxiseinsatz der installierten Technik

Nachdem durch umfangreiche Untersuchungen der Technik einige Fehlerquellen behoben und Abänderungen getroffen wurden, konnte die Technik als Einheit für Praxisversuche eingesetzt und untersucht werden.

### 6.1 Erfassung des Arbeitszeitbedarfes und Funktionskontrolle der Technik im laufenden Betrieb

Während der laufenden Versuche wurden Daten zum Arbeitszeitbedarf sowie praktische Erfahrungen im Umgang mit der eingesetzten Technik gesammelt. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Einfachheit der Handhabung der Geräte, der korrekten Betriebsweise sowie deren Wartungsaufwand.

### 6.1.1 Stand des Wissens

„In landwirtschaftlichen Unternehmen untergliedern sich die Arbeiten in zuteilbare, nicht zuteilbare und bedingt zuteilbare Arbeiten. Die zuteilbaren Arbeiten sind fest mit dem Produktionsverfahren verbunden und in der Regel termingebunden. Die nicht zuteilbaren und bedingt zuteilbaren Arbeiten beinhalten als Hauptpunkte Planung, Organisation und Kontrolle des Betriebes, also die Betriebsführung und allgemeine Betriebsarbeiten, welche für die Durchführung der zuteilbaren Arbeiten Voraussetzung sind“ (Forster, 2002).

In dieser Studie sollen hauptsächlich die zuteilbaren Arbeiten zur Erfassung des Arbeitszeitbedarfes untersucht werden. Im Wesentlichen betrifft das die Fütterung der Fische (Handfütterung) und die Wartung der eingesetzten Technik.

Bisher ist in wenigen Studien der Arbeitszeitbedarf in der Forellenproduktion genauer untersucht worden. Es geht aus ihnen hervor, dass die Fütterungsprozesse per Hand einen erheblichen Kostenfaktor darstellen (Wedekind & Jährling, 2006, Abb. 25).

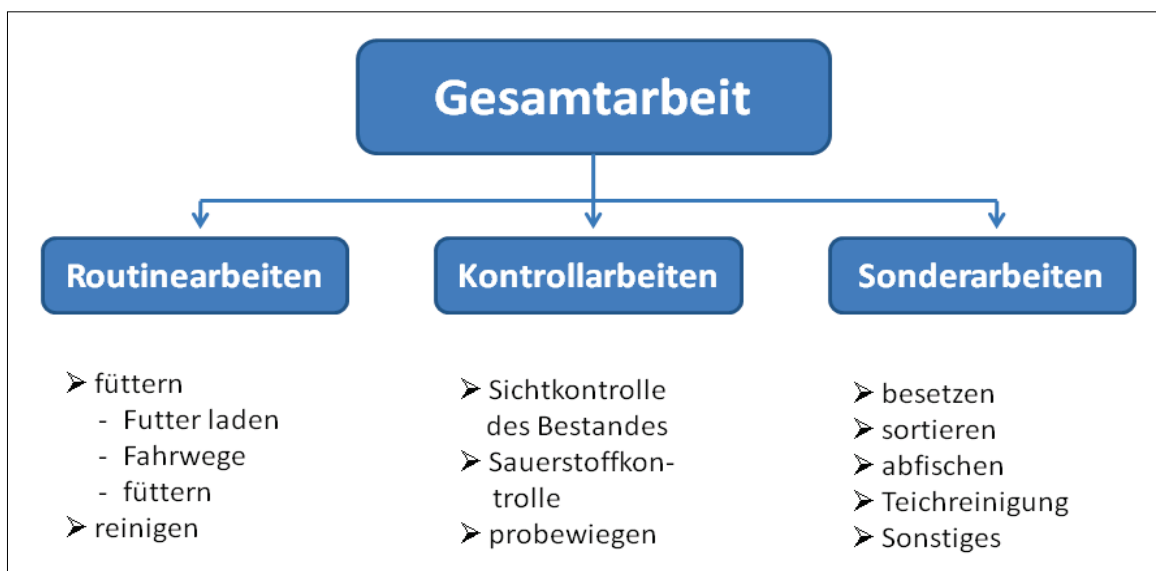


Abb. 25: Darstellung der Gesamtarbeitsschritte bei der Forellenzucht (aus Wedekind & Jährling, 2006).

In dieser Studie soll untersucht werden, wie zeitintensiv der Arbeitsprozess der Handfütterung ist, um die dabei entstehenden Kosten mit den Kosten für die Fütterungsanlage zu vergleichen. Aus diesem Grund werden die anderen Arbeitsschritte hier nicht erfasst, da diese bei beiden Fütterungsmethoden ähnlich sind.

Es werden hier die entstehenden Kosten durch die Handfütterung (konventionell) mit den Kosten einer modernen vollautomatischen Fütterungsanlage verglichen und geprüft, ob sich der Einsatz der Technik gegenüber der herkömmlichen Fütterung auszahlt.

### 6.1.2 Zeitelementmethode

Um den Zeitbedarf für die Arbeitselemente (z. B. Handfütterung) zu erfassen, wurden in einem Versuch die Arbeitsabläufe mit einer Stoppuhr ermittelt (vgl. Auernhammer, 1975). Der Arbeitsablauf wurde hierfür in mehrere Teilschritte untergliedert.

### 6.1.3 Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes bei Handfütterung

Für die Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes der Handfütterung wurde an verschiedenen Tagen die Zeit mit einer Stoppuhr erfasst, die verschiedene Personen (Lehrlinge) für den gesamten Fütterungsablauf benötigten. Die Handfütterung gehört bei den Lehrlingen zur täglichen Routinearbeit, so dass die Auswahl der Lehrlinge als Testperson für die Arbeitszeiterfassung als repräsentativ angesehen werden kann. Insgesamt erfolgte die Arbeitszeitermittlung für die Fütterung von 6 Teichen. Gefüttert wurde jeweils 2 Mal am Tag, einmal vormittags, einmal nachmittags. Die Arbeitszeit wurde für 3 Testpersonen (Lehrlinge) ermittelt. Für jede Testperson wurde die Dauer der Handfütterung an 5 verschiedenen Tagen erfasst. Der gesamte Arbeitsablauf der Handfütterung wurde hierfür in 5 Teilarbeitsschritte unterteilt und jede einzeln zeitlich erfasst:

- Abwiegen der täglichen Futtermenge
- Transport der Futterbehälter zu den Teichen
- Dauer der 1. Fütterung (1. Hälfte der Tagesfuttermenge)
- Dauer der 2. Fütterung (2. Hälfte der Tagesfuttermenge)
- Rückführung der leeren Futterbehälter

Gestartet wurde die Zeiterfassung bei Beginn der Wägung der Tagesfuttermenge. Die erste Zwischenzeit wurde genommen, wenn alle Tagesfuttermengen in den jeweiligen Behälter eingewogen waren. Die zweite Zwischenzeit wurde genommen, wenn die Testperson alle Futtereimer an die Teiche gebracht hatte. Hierfür wurden die Futtereimer auf eine Handkarre gestellt und zu den jeweiligen Teichen gefahren. Nun erfolgte die erste Fütterung. Die dritte Zwischenzeit wurde erfasst, nachdem alle 6 Teiche gefüttert waren. Ebenso erfolgte die Erfassung für die Dauer der zweiten Fütterung. Nachdem die zweite Tagesfütterung beendet war erfolgte die letzte Zeiterfassung für den Rücktransport der Futtereimer. Die Futtereimer wurden hierfür alle per Hand zurück zum Ursprungsort gebracht.

### 6.1.4 Ergebnisse der Arbeitszeiterfassung durch Handfütterung

Die nachfolgende Tabelle 6 stellt die erhobenen Zeiten für die Teilarbeitsschritte der einzelnen Testpersonen dar.

Tab. 6: Erfassung der Arbeitszeit für Handfütterungen.

Testperson	Futtermenge (kg)	Futter abwiegen (min)	Futter zu Teichen (min)	Fütterung 1 (min)	Fütterung 2 (min)	Futtereimer zurück (min)	Summe Arbeitsschritte (min)	Mittelwert Zeit / kg Futter (min)
1	25,83	05:19	03:02	13:26	09:19	00:58	32:04	<b>01:17</b>
1	26,58	08:12	02:38	12:46	10:24	00:52	34:52	
1	27,26	07:05	02:09	14:29	12:33	01:09	37:25	
1	29,50	06:47	02:44	14:21	11:57	01:17	37:06	
1	29,81	06:55	01:59	15:03	12:42	01:12	37:51	
<b>Summe</b>	<b>138,98</b>	<b>34:18</b>	<b>12:32</b>	<b>70:05</b>	<b>56:55</b>	<b>05:28</b>	<b>179:18</b>	
2	30,06	02:52	01:52	16:15	10:53	01:08	33:00	<b>01:10</b>
2	30,72	06:34	02:38	13:19	14:44	02:10	39:25	
2	31,48	06:24	02:09	14:36	10:49	00:59	34:57	
2	32,05	07:08	02:23	15:33	12:26	01:02	38:32	
2	32,10	06:34	02:31	14:22	12:01	01:34	37:02	
<b>Summe</b>	<b>156,41</b>	<b>29:32</b>	<b>11:33</b>	<b>74:05</b>	<b>60:53</b>	<b>06:53</b>	<b>182:56</b>	
3	32,91	05:45	02:22	15:49	10:35	00:56	35:27	<b>01:00</b>
3	33,50	06:12	02:15	14:34	08:59	01:19	33:19	
3	34,27	06:02	02:41	16:55	09:36	00:59	36:13	
3	35,15	07:01	02:36	15:41	08:51	01:24	35:33	
3	36,20	06:49	02:19	13:11	09:05	01:07	32:31	
<b>Summe</b>	<b>172,03</b>	<b>31:49</b>	<b>12:13</b>	<b>76:10</b>	<b>47:06</b>	<b>05:45</b>	<b>173:03</b>	



Es fällt auf, dass alle Testpersonen ähnliche Gesamtzeiten für die Arbeitsabläufe hatten. Obwohl sich die Futtermengen von Testperson 1 zu Testperson 3 steigerten, erreichte die 3. Testperson die insgesamt niedrigste Gesamtzeit. Dies hing vor allem mit der Dauer der 2. Fütterung zusammen, bei der Testperson 3 am schnellsten war. Im Durchschnitt wurde für die Einbringung von 1 kg Futter samt den dazugehörigen Arbeitsschritten 1:09 Minuten gebraucht.

Die erhobenen Arbeitszeiten für die Handfütterungen sollen für eine Hochrechnung dienen, die den Einsatz der Fütterungsanlage mit den entstehenden Arbeitskraftstunden durch Handfütterungen monetär vergleicht.

### **6.1.5 Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes für Wartungsarbeiten**

- Fütterungsanlage

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes gestaltete sich der Wartungsaufwand für die Fütterungsanlage als sehr gering. Es wurden lediglich nach ca. einem Jahr Einsatz die Schmiernippel an den Rotationsverteilern geschmiert, Schrauben an den Futterrohren nachgezogen und in unregelmäßigen Abständen (nach Bedarf) Reinigungsarbeiten durchgeführt. Selten sind Störmeldungen aufgetreten. Diese ließen sich problemlos und innerhalb kurzer Zeit beheben. Insgesamt belief sich der Wartungsaufwand innerhalb der Untersuchung auf 10 bis maximal 15 Arbeitsstunden (AKh) pro Jahr. Die Futterrohre mussten einmalig neu befestigt werden, was mit weiteren 10 AKh zu Buche schlug, insgesamt also etwa 20-25 AKh pro Jahr. Die Einstellungen von neuen Fütterungsrationen (z. B. nach Ab- oder Umfischungen) und das Beheben von Störmeldungen sind je nach Bedarf notwendig und können mit etwa 1 AKh pro Woche angesetzt werden. Alle sonstigen Arbeiten, wie Futter bestellen und einlagern, sind bei Hand- wie Automatenfütterung gleich.

- Sauerstoffeintrag

Der Wartungsaufwand für die Sauerstoffeintragsgeräte gestaltete sich schon deutlich zeitintensiver. Der Aufbau der Eintragsgeräte bietet an drei Stellen Angriffspunkte für Geschwemmsel (Laub, Rasenschnitt, Wasserpflanzen etc.), welches durch den Wasserzuleiter in die Systeme eingebracht wird und zum Verstopfen der Geräte führen kann. Besonders im Herbst und im Frühjahr mussten die entsprechenden Stellen der Sauerstoffeintragsgeräte teilweise zweimal pro Tag gereinigt werden. Man kann jedoch den Wartungsaufwand (hauptsächlich Reinigungsarbeiten) deutlich reduzieren, in dem man die Grobpartikelfilter am Zu- und Ablauf der Jetsysteme entfernt. Die Funktion der Jetsysteme wird hierdurch nicht gemindert.

- Sauerstoffüberwachung

Die Wartungsarbeiten an der Sauerstoffüberwachung beziehen sich fast ausschließlich auf das Reinigen und Kalibrieren der Sauerstoffsonden. Einmal pro Woche wurden die Sonden jedes Teiches kurz aus dem Wasser entnommen und die Membranen mit einem feuchten Tuch von Schmutz (Algenaufwuchs) gereinigt. Im Durchschnitt wurden alle Sonden im viermonatigen Turnus komplett neu kalibriert (Austauschen von Elektrolytflüssigkeit und Membran sowie Komplettreinigung der Sonden). Für diesen Prozess benötigte man im Durchschnitt 13 Minuten pro Sonde.

## 6.2 Aufzuchtversuche

### 6.2.1 Aufzuchtversuche mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz I

Sechs Teiche wurden mit je 380 kg Regenbogenforellen (Schnittgewicht 85 g/Fisch; Besatzdichte 20 kg/m<sup>3</sup>) besetzt. Drei der Teiche wurden zweimal pro Tag per Hand gefüttert, die anderen drei Teiche wurden 16 Mal durch die Fütterungsanlage gefüttert. Sechs weitere Teiche wurden mit je 190 kg Regenbogenforellen (Schnittgewicht 150 g/Fisch, Besatzdichte 10 kg/m<sup>3</sup>) besetzt. Drei dieser Teiche wurden ebenfalls zweimal pro Tag per Hand gefüttert, die anderen drei wurden 8 Mal durch die Fütterungsanlage gefüttert. Durch diesen Versuch sollte unter anderem der Einfluss der Fütterungsfrequenz auf das Fischwachstum untersucht werden. Die nachfolgende Abbildung 26 fasst die wesentlichen Parameter und Versuchseinstellungen zusammen, die in einem ersten Versuch zum Praxiseinsatz der Technik untersucht wurden.

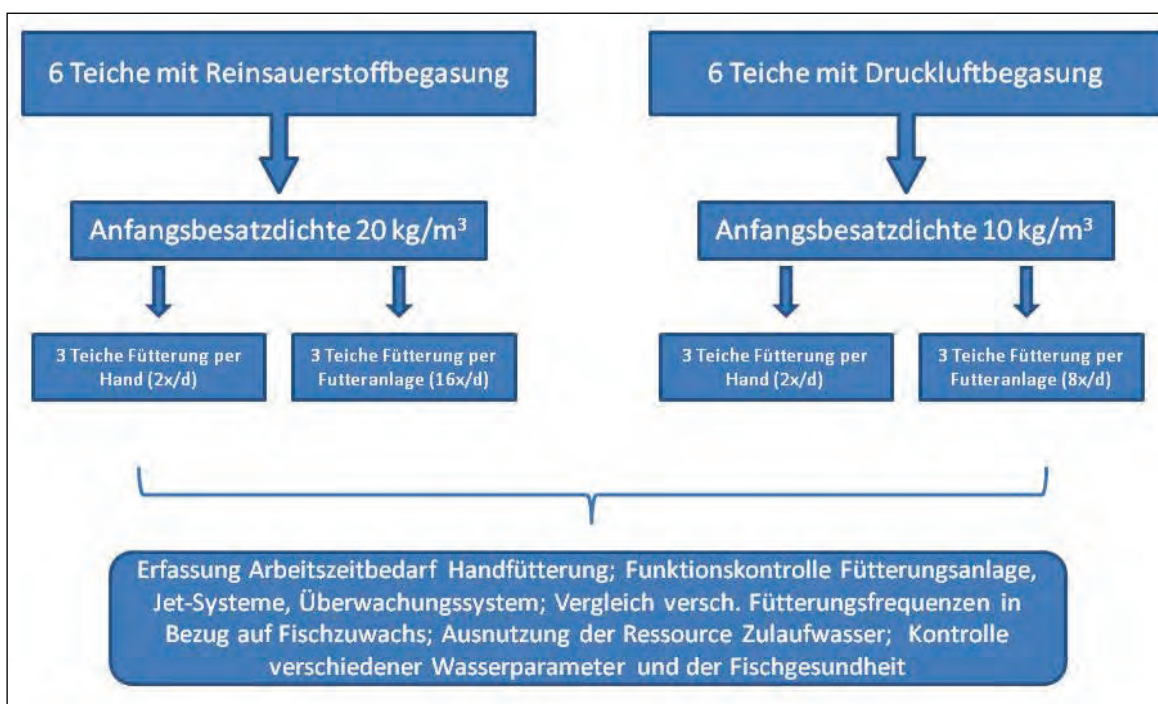


Abb. 26: Versuchsdarstellung.

Jeder der Versuchsteiche ist baugleich (Volumen ca. 19 m<sup>3</sup>) und wird mit Wasser gleicher Herkunft gespeist.

#### 6.2.1.1 Ergebnisse der Aufzuchtversuche mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz I

Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der ermittelten Leistungsparameter von Regenbogenforellen, die jeweils 2 bzw. 16 Mal pro Tag gefüttert wurden:

Tab. 7: Vergleich der Leistungsparameter von Regenbogenforellen bei unterschiedlicher Fütterungsfrequenz.

	Versuchsbeginn	Handfütterung 2 x/d	Fütterungsanlage 16 x/d
<b>Gesamtbiomasse (kg)</b>	380,00	781,00 ± 31,73	859,00 ± 34,27
<b>Zuwachs (kg)</b>		401,00 ± 31,73	479,00 ± 34,27
<b>Einzelgewicht (g)</b>	80,84 ± 16,55	212,53 ± 41,81	228,97 ± 48,12
<b>Körperlänge (cm)</b>	20,40 ± 1,22	26,39 ± 1,56	26,64 ± 1,63
<b>K-Faktor</b>	0,94 ± 0,07	1,14 ± 0,07	1,19 ± 0,09
<b>SGR (%/d)</b>		0,77 ± 0,04	0,88 ± 0,04
<b>FQ</b>		1,36 ± 0,09	1,15 ± 0,08
<b>Überlebensrate</b>		98,19 ± 1,24	98,25 ± 0,83

K-Faktor: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SGR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzuchtdauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

Auffällig ist die Tatsache, dass die Gesamtbiomasse und damit der Fischzuwachs der Fischkohorten, die 16 Mal pro Tag mit der Fütterungsanlage gefüttert wurden, sehr viel höher ist, als bei den 2 Mal pro Tag per Hand gefütterten. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Wie weiter oben dargestellt, besteht trotz der Verbesserung der Wiegegenauigkeit der Fütterungsanlage immer noch ein Wiegefehler. Wie die Auswertungen einer Langzeitkontrolle zeigten, werden durch die Fütterungsanlage pro Fütterung ca. 20 g mehr Futter ausgegeben. Bei 16 Fütterungen am Tag entspricht das 320 g. Auf die Versuchsdauer von 63 Tagen würde das 20,16 kg mehr Futter bedeuten und auch einen ähnlich hohen Fischzuwachs. Für die Aussage, dass mehr Futter gefüttert worden ist spricht auch das ermittelte Durchschnittsgewicht der Fische. Die Fische in den Einheiten mit 16-maliger Fütterung waren im Durchschnitt rund 16 g schwerer als die 2 Mal gefütterten Fische. Der festgestellte Unterschied innerhalb der Versuchseinheiten liegt bei durchschnittlich ca. 80 kg mehr Zuwachs. Dieser kann alleine nicht durch die Wiegeungenauigkeiten erklärt werden. Es könnte daran liegen, dass eine 16-malige Fütterung eine bessere Futterverwertung mit sich bringt. Dies müsste gegebenenfalls durch weitere Versuche abgeklärt werden. Innerhalb der Versuche kam es jedoch auch zu nicht quantifizierbaren Fischverlusten durch Fressfeinde (s. Kap. 9.2), die ebenfalls zur Ergebnisverfälschung beigetragen haben. Hierfür sprechen auch die innerhalb der Triplikate auftauchenden hohen Abweichungen der Gesamtbiomasse pro Teich. Hier lagen die höchste Gesamtbiomasse bei 894,0 kg und die niedrigste bei 825,5 kg in den Teichen mit 16-maliger Fütterung. In den Teichen mit 2-maliger Handfütterung konnten die höchste Biomasse mit 817,5 kg und die niedrigste mit 760,0 kg ermittelt werden.

Die Anfangsbesatzdichte von 20 kg/m<sup>3</sup> konnte bis Beendigung des Versuches auf knapp 50 kg/m<sup>3</sup> erhöht werden. Diese scheint durch den Einsatz der Water-Jet-Plattformen noch weiter erhöht werden zu können. Genaue Untersuchungen zur Ausnutzung der Zulaufwassermenge im Bezug auf die Sauerstoffanreicherung des Wassers durch die Water-Jet-Plattformen sind in Planung.

In einem weiteren Versuch wurde in Haltungseinrichtungen mit herkömmlicher Belüftung (Drucklufteintrag mittels Ringverdichtergebläse und Kreuzausströmer) ein weiterer Fütterungsversuch unternommen. Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der ermittel-

ten Leistungsparameter von Regenbogenforellen die jeweils zweimal pro Tag per Hand bzw. 8 Mal am Tag durch die Fütterungsanlage gefüttert wurden:

Tab. 8: Vergleich der Leistungsparameter von Regenbogenforellen bei unterschiedlicher Fütterungsfrequenz.

	Versuchsbeginn	Handfütterung 2 x/d	Fütterungsanlage 8 x/d
<b>Gesamtbiomasse (kg)</b>	190,00	348,50 ± 2,29	338,17 ± 6,45
<b>Zuwachs (kg)</b>		158,50 ± 2,29	148,17 ± 6,45
<b>Einzelgewicht (g)</b>	157,28 ± 31,39	314,44 ± 63,08	288,40 ± 58,50
<b>Körperlänge (cm)</b>	24,37 ± 1,58	29,02 ± 1,94	28,14 ± 1,83
<b>K-Faktor</b>	1,08 ± 0,09	1,27 ± 0,10	1,28 ± 0,14
<b>SGR (%/d)</b>		0,96 ± 0,01	0,91 ± 0,03
<b>FQ</b>		1,22 ± 0,02	1,31 ± 0,06
<b>Überlebensrate</b>		99,05 ± 0,52	99,11 ± 0,28

K-Faktor: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SGR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzucht-dauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

Hier liegen die Ergebnisse der abgefischten Gesamtbiomasse sehr viel näher beieinander als im vorherigen Versuch. Auffällig ist jedoch, dass genau umgekehrt zum vorherigen Versuch, durch die Handfütterung, trotz geringerer Fütterungsfrequenz, ein höherer Zuwachs erzielt wurde. Die ermittelten Einzelfischgewichte sind ebenfalls bei den handgefütterten Kohorten höher. Dies würde für eine höhere Futtergabe in diesen Teichen sprechen. Ob die Fehlerquellen durch nicht genaue Abwiegung der Handfuttermengen oder durch Einstellungen der Fütterungsanlage verursacht wurden, lässt sich nicht genau erörtern. Ebenfalls wurde teilweise nicht gefressenes Futter in den Teichen festgestellt, dessen Menge nicht bestimmt werden konnte.

### 6.2.2 Aufzuchtversuche mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz II

Die Untersuchungen erfolgten unter den praktischen Bedingungen einer Forellenteichwirtschaft. In Dreifachwiederholungen wurden zwei Gruppen von Regenbogenforellensetzlingen mit mittleren Stückmassen von 7 g über einen Zeitraum von 81 Tagen in Betonteichen ( $9 \text{ m}^3$  Aufzucht-volumen) aufgezogen. Gruppe 1 erhielt täglich alle 45 Minuten zehn Futtergaben mittels automatischer Fütterungsanlage, während Gruppe 2 einmal täglich am Morgen von Hand gefüttert wurde. Die Fütterungsintensität betrug bei allen Gruppen in der ersten Versuchshälfte 2 % in der zweiten Hälfte wurde die Intensität auf 1,8 % verringert. Es wurde ein handelsübliches Trockenmischfuttermittel verwendet, die Partikelgröße wurde dem Wachstum der Fische angepasst. In der ersten Versuchshälfte wurde ein 1,5 mm Pellet gefüttert, anschließend wurden 2 mm Pellets gereicht. Die Besatzdichte betrug zu Versuchsbeginn  $7,5 \text{ kg/m}^3$  und stieg bis zum Versuchsende im Mittel auf  $38 \text{ kg/m}^3$  an. Die Leistungseigenschaften (Wachstum, Futtermittelverwertung, Überlebensrate und Kondition) wurde am Beginn, in der Mitte und am Ende der Untersuchung erfasst. Für die Bestimmung der äußeren Fischqualität (Flossenqualität) wurden zu Beginn und am Ende der Untersuchung die Flossen von 300 Fischen je Gruppe der Länge nach vermessen und ins Verhältnis zur Gesamtlänge gesetzt (relative Flossenlänge (%)). Über den gesamten Versuchsverlauf wurden regelmäßig die wichtigsten Wasserparameter erfasst.

### 6.2.2.1 Ergebnisse des Aufzuchtversuchs mit Regenbogenforellen-Fütterungsfrequenz II

Zu Beginn der Untersuchung ergab die Auswertung der Ausgangsqualität mittlere Stückmassen von  $7,3 \pm 2,45$  g, während die durchschnittliche Länge  $8,8 \pm 0,97$  cm betrug (Tab. 9). Mit nahezu 5 MJ/kg FM waren die Fische ausreichend gut konditioniert. Während die Rückenflossen eine mittlere relative Flossenlänge von  $5,2 \pm 1,98$  % aufwiesen, es sich also um mittelschwer beschädigte Flossen handelte, waren leichte Schäden nur noch an den Brustflossen festzustellen. Alle anderen Flossen waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht beschädigt. Im Versuchsverlauf stieg die Gesamtmasse von Gruppe 1 um 904,43 kg auf 1.102,43 kg an, während für Gruppe 2 am Ende der Untersuchung ein Zuwachs von 751,68 kg und eine Gesamtmasse von 949,68 kg ermittelt wurden. Mit errechneten mittleren Stückmassen von 36,5 g waren die automatengefütterten Fische (Gruppe 1) deutlich schwerer als die Forellen der Gruppe 2 mit mittleren 31,5 g. Dementsprechend lag die spezifische Wachstumsrate der Gruppe 1 bei 2,12 %/d und die der Gruppe 2 bei 1,92 %/d. Letztere Gruppe wies einen Futterquotienten von 0,78 auf, gegenüber 0,65 bei der Gruppe 1. Die Überlebensrate war bei beiden Gruppen mit über 99 % gleich hoch. Die individuelle Begutachtung einer repräsentativen Menge ergab keine signifikanten Wachstumsunterschiede der Gruppen. Insgesamt präsentierten sich die handgefütterten Fische etwas weniger korpulent (k-Faktor  $1,15 \pm 0,10$  gegenüber  $1,23 \pm 0,12$ ). Die automatengefütterte Gruppe erwies sich geringfügig besser konditioniert ( $6,9 \pm 0,46$  gegenüber  $6,6 \pm 0,33$  MJ/kg FM). Die Begutachtung der Flossen ergab einen nur geringen Einfluss der Fütterungsart. Leichte Unterschiede konnten nur an den Rücken- und Afterflossen festgestellt werden. Die mittlere relative Rückenflossenlänge betrug bei Gruppe 1  $7,5 \pm 2,24$  %, die relative Länge der Afterflossen im Mittel  $9,5 \pm 1,03$  %. Gruppe 2 wies eine durchschnittliche Flossenlänge von  $6,9 \pm 1,99$  % der Rückenflosse und der Afterflossen von  $9,2 \pm 0,84$  %. Allerdings konnten die Unterschiede aufgrund der starken Streuung der Werte statistisch nicht abgesichert werden. Die Vermessung der anderen Flossen ergab keine weiteren Unterschiede. Gegenüber der Ausgangsqualität verbesserte sich der Status der Rückenflossen bei beiden Gruppen. Dagegen wurde die Qualität der Schwanz-, Brust-, Bauch- und Afterflossen am Versuchsende etwas schlechter beurteilt als zu Beginn der Untersuchung. Insgesamt aber konnten bei diesen nur geringfügige Schäden festgestellt werden.

Darüber hinaus konnten bei den Gruppen unterschiedliche Verhaltensmuster festgestellt werden. Während die Handfütterung einen positiven Trainingseffekt hinsichtlich der Prägung auf den Menschen aufwies, konnte bei den automatengefütterten Forellen keine Prägung auf den Menschen festgestellt werden. Im Gegenteil, erst mit dem Anstieg der Besatzdichte im Laufe der Untersuchung, reagierten die Forellen nicht mit Fluchtreaktionen auf die Anwesenheit von Menschen an den Teichen.

Tab. 9: Vergleich der Leistungsparameter und der Flossenqualität von Regenbogenforellen zu Versuchsbeginn und -beendigung.

	Versuchsbeginn	Gruppe 1 (10 x Automatenfütterung)	Gruppe 2 (1 x Handfütterung)
Biomasse (kg)	198,0	1.102,43	949,68
Zuwachs (kg)		904,43	751,68
Mittl. Stückgewicht (g)	7,3 ± 2,45	36,5	31,5
Spezifische Wachstumsrate (%/d)		2,12	1,93
Futterquotient		0,65	0,78
Überlebensrate (%)		99,6	99,6
Einzelbeurteilung (Ausgangsqualität: n = 100; Endqualität: n = 300)			
Masse (g)	7,3 ± 2,45	28,3 ± 12,31	27,5 ± 10,63
Körperlänge	8,8 ± 0,97	12,9 ± 1,97	13,2 ± 1,72
Standardlänge (cm)	7,8 ± 0,91	11,6 ± 1,91	11,8 ± 1,61
k-Faktor	1,0 ± 0,08	1,23 ± 0,12	1,15 ± 0,10
Trockensubstanzgehalt (%)	22,9 ± 1,61	28,2 ± 1,11	27,6 ± 0,82
Bruttoenergiegehalt (MJ/kg FM)	4,9 ± 0,58	6,9 ± 0,46	6,6 ± 0,33
Flossenqualität	rel. Flossenlängen (%)		
Rückenflosse	5,2 ± 1,98	7,5 ± 2,24	6,9 ± 1,99
Schwanzflosse oben	12,9 ± 1,08	11,7 ± 1,20	11,4 ± 1,03
Schwanzflosse unten	13,0 ± 0,99	11,6 ± 1,23	11,4 ± 1,11
Brustflosse links	9,8 ± 1,66	10,0 ± 1,58	9,9 ± 1,51
Brustflosse rechts	9,8 ± 1,49	9,7 ± 1,69	9,7 ± 1,50
Bauchflosse links	9,9 ± 0,92	9,8 ± 0,86	9,7 ± 0,87
Bauchflosse rechts	9,9 ± 0,92	9,8 ± 1,01	9,7 ± 0,85
Afterflosse	9,4 ± 0,84	9,5 ± 1,03	9,2 ± 0,84
Fettflosse	4,8 ± 0,79	5,5 ± 0,65	5,4 ± 0,58

Während der Untersuchung wurde eine Wiegeungenauigkeit der Fütterungsanlage festgestellt. Je Fütterungsintervall wurden durchschnittlich 50 g zu viel ausgegeben. Wird damit die ausgegebene Futtermenge neu errechnet, so ergeben sich Futterquotienten von 0,76 (Gruppe 1) und 0,78 (Gruppe 2). Damit wird deutlich, dass in vorliegendem Fall eine hohe Fütterungsfrequenz keine höhere Wachstumsleistung zur Folge hatte. Während die einmalige Fütterung einen hohen Sauerstoffverbrauch zur Folge hatte, führte die Portionierung der Futtermenge über den Tag verteilt zu einer ausgeglichenen Sauerstoffkonzentration im Teich. Damit konnte die Unterschreitung kritischer Sauerstoffkonzentrationen verhindert und somit die Produktionssicherheit verbessert werden. Dagegen kam es bei Gruppe 2 nach der täglichen Fütterung regelmäßig zum starken Absinken der Sauerstoffkonzentrationen im Wasser, wobei Grenzwerte von 5 mg/l deutlich unterschritten wurden.

Bei der Kostenrechnung (Tab. 10) blieben die Personalkosten für die manuelle Fütterung, sowie für Wartungs- und Reinigungsarbeiten an der Fütterungsanlage und den Teichen unberücksichtigt. Die Ermittlung der Kosten der Sauerstoffüberwachung und der Fütterungsanlage ergab für den 81-tägigen Versuch einen Stromverbrauch von 0,87 kWh/d. Bei einem Kostenansatz von 0,20 €/kWh beliefen sich damit die Kosten für eine Aufzuchteinheit der Gruppe 1 auf 0,17 €/d, wobei der überwiegende Anteil auf den

Stromverbrauch der Fütterungsanlage zurückzuführen ist (0,11 €/d). Demgegenüber entfielen auf die Sauerstoffüberwachungstechnik 0,06 €/d. Diese waren auch die einzigen Kosten, die bei der Gruppe 2 (Handfütterung) anfielen.

Tab. 10: Vergleich des Stromverbrauchs und der Kosten der Fütterungsanlage und der Sauerstoffüberwachung.

Posten	Gesamt	Gruppe 1	Gruppe 2
<b>Stromverbrauch</b>			
Verbrauch SPS O <sub>2</sub> -Überwachung gesamt (kWh)	393,72		
Verbrauch Fütterungssystem gesamt (kWh)	138,27		
Verbrauch SPS O <sub>2</sub> -Überwachung pro Teich (kWh)		24,61	24,61
Verbrauch Fütterungssystem pro Teich (kWh)		46,09	0,00
Gesamtverbrauch Teich (kWh/Versuchszeitraum)		70,70	24,61
<b>Teich (kWh/d)</b>		<b>0,87</b>	<b>0,30</b>
<b>Kosten</b>			
Kosten SPS O <sub>2</sub> -Überwachung pro Teich (€)		4,92	4,92
Kosten Fütterungssystem pro Teich (€)		9,22	0,00
Kosten Teich/Versuchszeitraum (€); 1 kWh = 0,20 €		14,14	4,92
Kosten SPS O <sub>2</sub> -Überwachung pro Teich (€/d)		0,06	0,06
Kosten Fütterungssystem pro Teich (€/d)		0,11	0,00
<b>Kosten Teich/d (€); 1 kWh = 0,20 €</b>		<b>0,17</b>	<b>0,06</b>

### 6.2.3 Versuche zur Nachtfütterung verschiedener Salmonidenarten

Aus der Literatur ist bekannt, dass verschiedene Salmonidenarten nicht ausschließlich tagaktiv sind, sondern auch Aktivitätsphasen während der Dunkelheit und der Nachtzeiten aufweisen. Nach aktuellem Kenntnisstand wurde diese Eigenschaft bisher noch nicht zum Zwecke der Fischproduktion untersucht. Dabei scheint auf Grund der vorhandenen Studien ein solcher Versuch unter mehreren Gesichtspunkten lohnenswert und durch den Einsatz der modernen Fütterungs- und Überwachungstechnik problemlos durchführbar.

#### 6.2.3.1 Stand des Wissens

Das Aktivitätsmuster von Tieren im Tagesverlauf wird gewöhnlich als nachtaktiv, tagaktiv oder dämmerungsaktiv beschrieben. Säugetiere und Vögel zeigen normalerweise beständige Verhaltensmuster in Bezug auf ihre Aktivitätsphasen innerhalb einer Art. Jedoch gibt es hier auch Ausnahmen.

Die Beständigkeit der Aktivitätsphasen findet man auch bei vielen Fischarten (Helfman et al., 1997), aber nicht bei allen. Bei einer Reihe von Fischarten zeigen einige Individuen Tagaktivität, während andere Individuen der gleichen Art nachtaktiv sind. Manchmal können die Individuen innerhalb weniger Tage von tagaktiv zu nachtaktiv wechseln. Deshalb wird das Aktivitätsmuster von Fischen oft als plastisch dargestellt (Reebs, 2003). Die Gründe für die unterschiedlichen Verhaltensmuster können auf verschiedene Umweltfak-

toren zurückgeführt werden, u. a. Jahreszeit, Lichtintensität, Temperatur, Schwarmgröße, Fressfeinde, intraspezifische Konkurrenz, Futtermittelverfügbarkeit, Krankheiten und Änderungen des Wasserchemismus.

Verhaltensstudien über das Fressverhalten von Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) zeigen, dass die Fische verschiedene Aktivitätsphasen im tagesperiodischen Verlauf aufweisen, wenn sie sich selbst am Futter bedienen können, z. B. mittels Pendelfutterspender (Landless, 1976; Alanärä, 1992; Alanärä & Brännäs, 1997; Brännäs & Alanärä, 1997; Bolliet et al., 2001; Chen et al., 2002; Chen & Tabata, 2002; Bailey & Alanärä, 2006).

Die Ergebnisse einiger dieser Studien zeigen neben tagaktiven Phasen deutlich nächtliche Aktivitäts- und Fressphasen von Regenbogenforellen auf.

Landless (1976) zeigte in seiner Studie über das Abruf-Fütterungs-Verhalten von Regenbogenforellen, dass sich die Fische schnell daran gewöhnen einen Trigger anzustoßen, um mit Futter belohnt zu werden. Die Hauptaktivität konnte während der Abenddämmerung verzeichnet werden, jedoch wurde ein erheblicher Teil des Futters während der Nacht aufgenommen, mit einer Hauptaktivitätsphase zwischen 00:00 – 06:00 Uhr. Es erscheint auffällig, dass in den Herbst- und Wintermonaten (Oktober, November, Februar) offenbar die stärkste nächtliche Fressaktivität vorliegt. Diese Beobachtung wird auch von anderen Wissenschaftlern gestützt.

Fische, die sich hauptsächlich optisch bei ihrer Nahrungssuche orientieren („Sichträuber“), wie z. B. Salmoniden, werden typischerweise als tagaktiv betrachtet (Hoar, 1942), mit Aktivitätsspitzen während der Dämmerungsphasen (Eriksson, 1973; Jørgenson & Jobling, 1989; Boujard & Leatherland 1992; Eriksson & Alanärä, 1992). Dieses Aktivitätsmuster trifft aber hauptsächlich nur auf die Frühlings-, Sommer- und Herbstmonate zu. Während der Wintermonate sind einige Salmonidenarten überwiegend nachtaktiv. Als Beispiele seien hier der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) und die Bachforelle (*Salmo trutta fario*) genannt, die sich im Winter tagsüber im Flussbett verbergen und nachts aktiv werden. Im restlichen Jahresverlauf zeigen sie ein tagaktives bzw. dämmerungsaktives Verhalten (Richardson & McCleave, 1974; Fraser et al., 1993, 1995; Heggenes et al., 1993). Der Seesaibling (*Salvelinus alpinus*) zeigt ein ähnliches Verhalten. Er ist nachtaktiv im Winter (November) und tag- bzw. dämmerungsaktiv im restlichen Jahresverlauf (Linnér et al., 1990). Die Gründe für diese Verhaltensweisen rühren u. a. aus der Räubermeidung und des Futteraufkommens (Eriksson, 1973; Fraser et al., 1993). Zum Beispiel korreliert die nächtliche Aktivität junger Salmoniden positiv mit der Drift verschiedener Insekten (-larven), welche hauptsächlich in den Wintermonaten bei Nacht in den gemäßigten Zonen einsetzen (Müller, 1978; Eriksson & Alanärä 1992).

Jedoch sind die täglichen und nächtlichen Aktivitätsmuster nicht nur saisonal ausgeprägt. Laborversuche weisen darauf hin, dass Fische dann fressen, wenn Futter verfügbar ist, unabhängig vom Lichtregime. Dies zeigen auch Untersuchungen zum Einfluss der Beleuchtungsintensität auf das Wachstum und die Satzfishqualität von Schmidt und Wedekind (2011), die bei der Aufzucht von Forellen in abgedunkelten Haltungseinrichtungen nahezu identische Leistungsparameter feststellten, wie bei der Aufzucht bei einem künstlichen Lichtregime. Wenn die Futterressourcen eingeschränkt sind und der Konkurrenzdruck hoch ist, könnte sich eine individuelle Adaption auf verschiedene Aktivitätsphasen im tageszeitlichen Verlauf ausbilden. Alanärä & Brännäs (1997) untersuchten die tägliche und nächtliche Fressaktivität von Seesaiblingen (*Salvelinus alpinus*) und Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) mittels Pendelfutter Spendern. Innerhalb dieser Studie untersuchten



sie die Aktivitätsphasen jedes einzelnen Individuums (je Gruppen von 10 Individuen), in dem sie die Fische individuell markierten. Das Futter wurde in verschiedenen Intensitäten jeweils für Seesaiblinge und Regenbogenforellen zur Verfügung gestellt. Für die Regenbogenforellen kam heraus, dass bei einer geringen Futterverfügbarkeit eine tendenziell höhere Tagaktivität vorherrschte. Bei einer hohen Futterverfügbarkeit waren jedoch keine tageszeitlichen Präferenzen festzustellen.

#### 6.2.3.2 Nachtfütterungsversuch mit Amerikanischen Seesaiblingen

Als richtungsweisenden Vorversuch, ob man die Fütterungsanlage problemlos für gezielte nächtliche Fütterungen einsetzen kann, wurden zwei Teiche mit jeweils 210 kg Amerikanischen Seesaiblingen (*Salvelinus namaycush*) besetzt. Das Durchschnittsgewicht der Fische lag bei 205 g (ermittelt aus 400 Fischen) und die aus der Gesamtbioasse und dem Durchschnittsgewicht ermittelte Stückzahl entsprach 1025 Fischen pro Teich. Die Anfangsbesatzdichte in den Haltungseinheiten betrug 11,05 kg/m<sup>3</sup>. Der Bestand des einen Teiches wurde je 4 Mal tagsüber gefüttert, mit Fütterungszeiten um 10:00, 12:00, 14:00 und 16:00 Uhr. Der Bestand des anderen Teiches wurde hingegen 4 Mal nachts gefüttert, mit Fütterungszeiten jeweils um 22:30, 00:30, 02:30 und 04:30 Uhr. Die Fütterungsintensität betrug 1 % der Gesamtbioasse und die Tages- bzw. Nachtfuttermenge wurde zu je 25 % pro Fütterung verabreicht. Da sich die Fische in ihrer Größe und ihrem Gewicht zum Teil stark voneinander unterschieden, wurde ein Futter mit einem Korndurchmesser von 3 mm gefüttert. Damit sollte gesichert werden, dass das Futter auch von den kleineren Fischen akzeptiert wird. Die Dauer des Versuches betrug 67 Tage, wobei an 55 Tagen gefüttert wurde. An insgesamt 12 Tagen während des Versuches erfolgte keine Fütterung. Die Fütterung wurde bei folgenden Ereignissen ausgesetzt: Teichreinigung (3 Tage), krankheitsbedingte Futterverweigerung (Gasblasenkrankheit GBD, 6 Tage) und Nüchterung (3 Tage) vor Beendigung des Versuches.

Ziel dieses Versuches war es, Erkenntnisse über die gezielte Nachtfütterung in Bezug auf Biomassezuwachs, Futterverwertung und Auseinanderwachsen zu sammeln. Dieser Versuch stellt in seinem Umfang nur einen kleinen Vor- bzw. Nebenversuch dar. Er wurde im Gegensatz zu den Hauptversuchen nicht im Triplikate durchgeführt und diente lediglich zum Überprüfen der Eignung der Fütterungstechnik für Nachteinsätze und sollte Beobachtungen liefern, ob das Futter auch nachts gefressen wird.

#### 6.2.3.3 Ergebnisse der Nachtfütterungsversuche mit Amerikanischen Seesaiblingen

In nachfolgender Tabelle 11 sind die untersuchten Wachstumsparameter dargestellt. Die aufgeführten Ergebnisse der Einzelgewichte, Körperlängen und der Korpulenz stellen die Mittelwerte und die Standardabweichung dar, die jeweils aus 50 einzeln vermessenen Fischen erhoben wurden.

Tab. 11: Vergleich der Leistungsparameter Amerikanischer Seesaiblinge bei unterschiedlichen Fütterungszeiten (Tag/Nacht).

	Versuchsbeginn	Auswertung Tagfütterung	Auswertung Nachtfütterung
<b>Gesamtbiomasse (kg)</b>	210,00	327,35	341,19
<b>Zuwachs (kg)</b>	-	117,35	131,19
<b>Einzelgewicht (g)</b>	171,13 ± 46,85	327,10 ± 86,94	313,77 ± 94,74
<b>Körperlänge (cm)</b>	27,4 ± 2,68	31,09 ± 2,75	30,71 ± 2,77
<b>Korpulenz</b>	0,81 ± 0,05	1,08 ± 0,29	1,05 ± 0,10
<b>SGR (%/d)</b>	-	0,66	0,72
<b>FQ</b>	-	1,28	1,15
<b>Überlebensrate (%)</b>	-	97,07	96,59

Korpulenz: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SGR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzucht-dauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

Die zu Versuchsbeginn ermittelten Einzelfischgewichte heben noch einmal den Grad der unterschiedlichen Gewichtszusammensetzungen der Fische hervor. Auffällig ist dabei auch, dass der Mittelwert der 50 einzeln gewogenen Fische deutlich von dem erhobenen Durchschnittsgewicht der 400 gewogenen Fische (205 g) abweicht. Um eine genauere Aussage zu den einzelnen Parametern machen zu können, wäre eine Einzelwiegung von mehr als 50 Fischen repräsentativer gewesen. Es scheint daher für die Auswertung des Versuches sinnvoll, eine Aussage über den Zuwachs der Fische insgesamt zu treffen. Die Fischkohorte, die innerhalb des Versuchszeitraums während der Nacht gefüttert wurde, hat einen höheren Zuwachs als die tags gefütterte Kohorte zu verzeichnen. Dadurch ergeben sich auch ein niedrigerer Futterquotient und eine höhere spezifische Wachstumsrate.

Ob sich der Effekt der Nachtfütterung tatsächlich positiv auf den Zuwachs der Fische auswirkt, muss durch weitere, umfangreichere Versuche abgeklärt werden.

Zumindest geben diese Ergebnisse erste Hinweise auf die Futteraufnahme von nächtlich ablaufenden Fütterungen.

Im Versuchsverlauf wurde in beiden Versuchsteichen nicht gefressenes Futter am Teichboden lokalisiert. Die Mengen konnten jedoch nicht bestimmt werden und dementsprechend nicht für die genaue Berechnung der Futterverwertung verwendet werden. Dies könnte auch ein Grund für die relativ schlechten Futterquotienten sein.

#### 6.2.3.4 Nachtfütterungsversuch mit Regenbogenforellen

Um Erkenntnisse über das Wachstum von Regenbogenforellen während gezielter Nachtfütterungen zu bekommen, wurde eine Versuchsreihe in 6 Teichen durchgeführt. In drei Teichen wurden die Futtergaben nur während der Nachtzeiten (Dunkelphasen) und in weiteren drei Teichen die Futtergaben herkömmlich nur am Tage (Kontrollgruppe, Hellphasen) gereicht. Für die Definition „Nachtfütterung“ wurde vor Versuchsbeginn der Zeitpunkt von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang berücksichtigt. Die Fütterungen begannen jeweils mindestens eine Stunde nach Sonnenuntergang und endeten mindestens eine Stunde vor Sonnenaufgang. Hierdurch sollte sichergestellt werden, dass die Fische keine Futtergaben während der Dämmerungsphasen erhielten. Im jahreszeitlichen Verlauf wurden die Fütterungszeiten den entsprechenden Sonnenaufgangs- bzw. Sonnenuntergangs-

zeiten angeglichen. Auch die Zeitspanne von der ersten Fütterung bis zur letzten Fütterung wurde bei beiden Gruppen berücksichtigt und im jahreszeitlichen Verlauf angeglichen.

Dieser Versuch wurde im Zeitraum vom 21.09.2009 bis 22.06.2010 durchgeführt und in vier Auswertungsphasen unterteilt. Nach jeder Versuchsphase wurde der Zuwachs in den einzelnen Teichen ermittelt. Zusätzlich wurden je 100 Fische aus jedem Teich genau vermessen (Körperlänge) und gewogen (Körpergewicht). Die Fütterungsfrequenz innerhalb des Versuches betrug viermal pro Tag/Nacht im ersten Versuchszeitraum (21.09.-23.11.2009) und wurde anschließend auf 8 Mal pro Tag/Nacht erhöht.

Um die Aktivität der Fische während der Nachtfütterungen zu beobachten, wurden vier Infrarotkameras eingesetzt, die das Verhalten der Fische während der Nachtfütterungen zeigten. Die Positionen der Kameras innerhalb einer Haltungseinrichtung wurden so gewählt, dass sowohl die Oberflächenaktivität als auch die Aktivität der Fische im Freiwasser sowie am Boden des Teiches während der Fütterungen sichtbar wurden. Die Beobachtungen sollten Aufschluss darüber geben, ob die Fische in der Nacht das Futter aufnehmen und wo die Futteraufnahme erfolgt (Oberfläche, Freiwasser oder Boden). Die Aktivität der Fische während der Nachtfütterung wurde bei verschiedenen Mondzyklen und Wetterverhältnissen untersucht. Diese Beobachtungen sollen Aufschluss darüber geben, ob die Fische bestimmte Restlichtmengen benötigen, um das Futter zu detektieren.

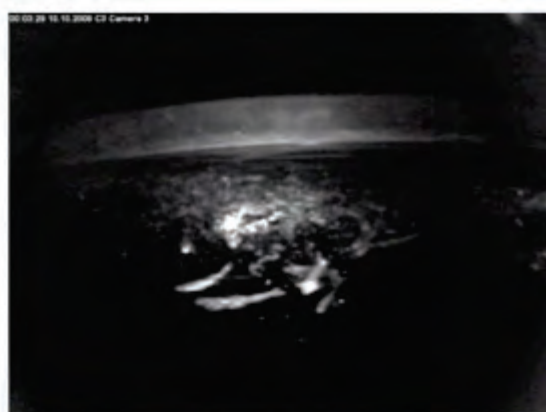
Zur Versuchsbeendigung erfolgte eine Untersuchung der Körperzusammensetzung der Regenbogenforellen (Ganzkörper). Dafür wurden von jeder Gruppe 30 Individuen (10 je Teich) einzeln homogenisiert. Der Wasseranteil, Asche und der Gehalt an Makronährstoffen wurde analysiert. Daraus wurde anschließend nach Kleiber (1967) der Bruttoenergiegehalt der Fische errechnet (1 g Protein: 24,3 kJ, 1 g Fett 39,7 kJ).

#### 6.2.3.5 Ergebnisse der Nachtfütterung von Regenbogenforellen

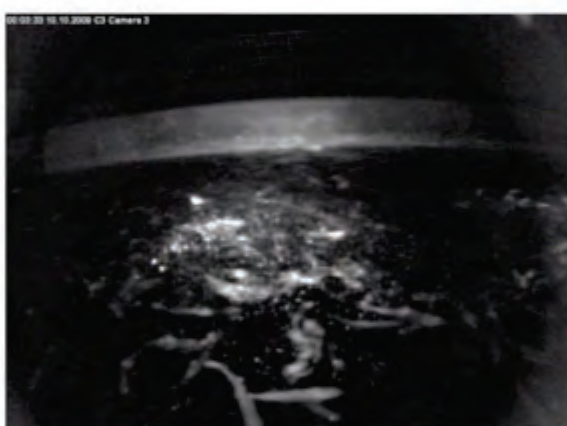
Die unten dargestellten Bilder der Infrarotkamera (Abb. 27) zeigen die Aktivität von Regenbogenforellen (á 40 g) bei Ablauf einer nächtlichen Fütterung. Wie man deutlich erkennen kann, ändert sich die Aktivität der Fische an der Oberfläche im Zeitverlauf. Während die Fische kurze Zeit vor der Fütterung relativ geringe Aktivität aufwiesen kam es während der Fütterung schlagartig zu einem Aktivitätsanstieg. Dies wurde dadurch ersichtlich, dass sich die Anzahl der Fische an der Wasseroberfläche vervielfachte. Kurze Zeit nach Ablauf der Fütterung waren nur noch relativ wenige Fische an der Oberfläche auszumachen. Einzelne, noch an der Wasseroberfläche schwimmende Futterpellets wurden von einigen Fischen gezielt angeschwommen und gefressen. Unterwasserbilder von Kameras, die am Boden des Teiches angebracht wurden, zeigten nun eine erhöhte Aktivität der Fische am Boden des Teiches. Die zu Boden gesunkenen Futterpellets wurden dort von den Fischen in „Kopfstandhaltung“ aufgenommen. Scheinbar wird das meiste Futter direkt von der Oberfläche bzw. vom Teichboden aufgenommen. Die Futteraufnahme im Freiwasser war nur schlecht nach zu verfolgen, da die Trübung des Wassers und die Menge an Fischen die Beobachtung freischwebender Futterpellets nicht ermöglichte. Um hierüber genaue Aussagen zu machen, müsste ein Laborversuch mit wenigen Individuen durchgeführt werden.



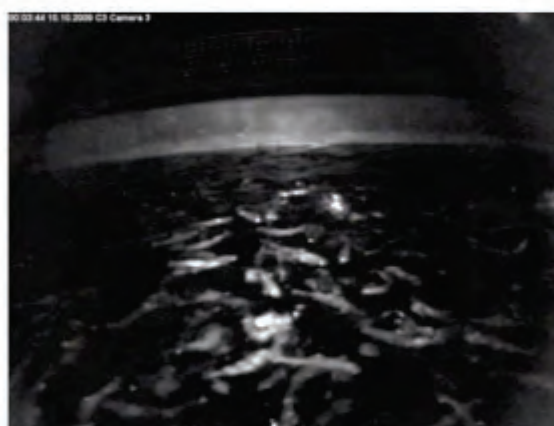
Kurze Zeit vor der Nachtfütterung (00:03:26 Uhr)



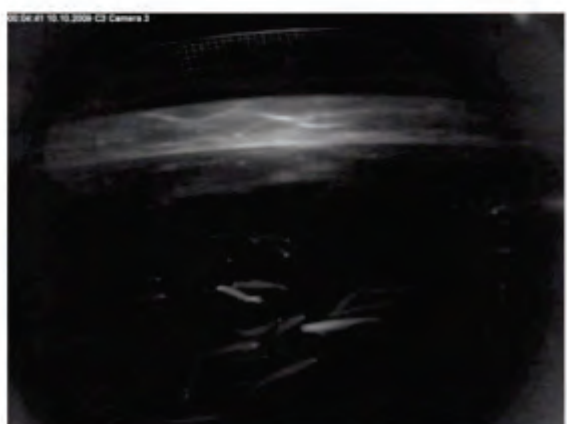
Beginn der Fütterung (00:03:29 Uhr)



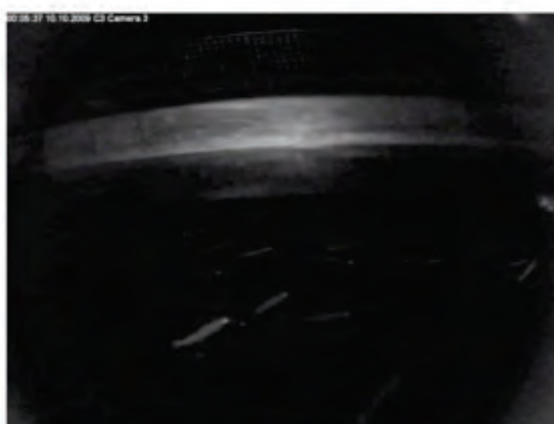
Kurz vor Ende der Fütterung (00:03:33 Uhr)



Kurze Zeit nach der Fütterung (00:03:44 Uhr)



1 min nach Ende der Fütterung (00:04:41 Uhr)



2 min nach Ende der Fütterung (00:05:37 Uhr)

Abb. 27: Bilder einer nächtlichen Fütterung von Regenbogenforellen mit der Fütterungsanlage (Datum: 10.10.2009, Uhrzeit: 00:03:26 – 00:05:37 Uhr, abnehmender Halbmond, bewölkter Himmel).

Nachfolgend werden die Ergebnisse des Nachtfütterungsversuches dargestellt. Die aufgeführten Ergebnisse stellen jeweils die Mittelwerte und Standardabweichungen aus den 6 Versuchseinheiten (3 Teiche mit Tagfütterung und 3 Teiche mit Nachtfütterung) dar.

Die Auswertung zeigt, dass die nachtgefütterten Fische einen geringfügig niedrigeren Zuwachs hatten. Die Differenz betrug knapp 20 kg im Gegensatz zu den taggefütterten Fischen (Tab. 12).

Tab. 12: Ergebnisse der ersten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 21.09. – 23.11.2009.

Versuchsdauer: 62 Tage	Versuchsbeginn	Auswertung Tagfütterung	Auswertung Nachtfütterung
Besatz-/Abfischgewicht (kg)	133,00	324,00 ± 9,04	304,33 ± 15,54
Zuwachs (kg)	-	191,00 ± 9,04	171,33 ± 15,54
Einzelgewicht (g)	32,18 ± 7,44	70,52 ± 18,21	70,45 ± 22,56
Körperlänge (cm)	14,75 ± 1,07	18,22 ± 1,64	18,04 ± 1,85
Korpulenz	0,99 ± 0,06	1,14 ± 0,09	1,16 ± 0,08
SWR (%/d)	-	1,65 ± 0,05	1,59 ± 0,10
FQ	-	0,87 ± 0,04	1,03 ± 0,10

Korpulenz: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SWR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzuchtdauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

Auch im zweiten Versuchsdurchlauf wiesen die nachtgefütterten Fische einen schlechteren Gesamtzuwachs auf. Die Differenz zu den taggefütterten Fischen betrug im Mittel ca. 35 kg (Tab. 13).

Tab. 13: Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 01.12.2009 – 16.02.2010.

Versuchsdauer: 78 Tage	Versuchsbeginn	Auswertung Tagfütterung	Auswertung Nachtfütterung
Besatzgewicht (kg)	-	324,00 ± 9,04	304,33 ± 15,54
Abfischgewicht (kg)	-	681,00 ± 10,15	628,00 ± 27,51
Zuwachs (kg)	-	357,00 ± 7,37	323,67 ± 12,17
Einzelgewicht (g)	70,49 ± 20,39	151,96 ± 31,31	146,95 ± 57,09
Körperlänge (cm)	18,13 ± 1,75	23,78 ± 1,54	23,57 ± 1,55
Korpulenz	1,15 ± 0,08	1,12 ± 0,09	1,11 ± 0,08
SWR (%/d)	-	0,95 ± 0,03	0,93 ± 0,01
FQ	-	0,93 ± 0,04	0,95 ± 0,03

Korpulenz: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SWR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzuchtdauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

In der dritten Versuchsphase zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen wurde nur der Zuwachs der Fische in den einzelnen Versuchsteichen ermittelt. Der Bestand wurde auf 500 kg pro Teich ausgedünnt. In dieser Auswertung zeigte sich ein etwas höherer Zuwachs bei den nachtgefütterten Fischen. Die Differenz zu den taggefütterten betrug im Mittel ca. 25 kg (Tab. 14).

Tab. 14: Ergebnisse der dritten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 18.02. – 26.04.2010.

Versuchsdauer: 68 Tage	Versuchsbeginn	Auswertung Tagfütterung	Auswertung Nachtfütterung
Besatz-/Abfischgewicht (kg)	640,00	1141,67 ± 14,57	1165,50 ± 9,58
Zuwachs (kg)		501,67 ± 14,57	525,50 ± 9,58
Einzelgewicht (g)	152,00 bzw. 147,00	nicht ermittelt	nicht ermittelt
Körperlänge (cm)	23,68 ± 1,55	nicht ermittelt	nicht ermittelt
Korpulenz	1,12 ± 0,09	nicht ermittelt	nicht ermittelt
SWR (%/d)		0,89 ± 0,02	0,92 ± 0,01
FQ		1,06 ± 0,03	1,05 ± 0,02

Korpulenz: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SWR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzucht-dauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

In der vierten und letzten Versuchsphase wurde bei den nachgefütterten Fischen wieder ein etwas geringerer Zuwachs als bei den taggefütterten Fischen festgestellt. Die Differenz betrug im Mittel ca. 10 kg (Tab. 15).

Tab. 15: Ergebnisse der vierten Versuchsreihe zur Tag-/Nachtfütterung von Regenbogenforellen im Zeitraum 28.04. – 22.06.2010.

Versuchsdauer: 54 Tage	Versuchsbeginn	Auswertung Tagfütterung	Auswertung Nachtfütterung
Besatz-/Abfischgewicht (kg)	500,00	817,67 ± 10,28	806,17 ± 15,57
Zuwachs (kg)	-	317,67 ± 10,28	306,17 ± 15,57
Einzelgewicht (g)	nicht ermittelt	431,37 ± 105	414,36 ± 101
Körperlänge (cm)	nicht ermittelt	31,89 ± 2,22	31,69 ± 2,32
Korpulenz		1,29 ± 0,11	1,28 ± 0,10
SWR (%/d)		0,89 ± 0,02	0,87 ± 0,04
FQ		1,15 ± 0,04	1,19 ± 0,05

Korpulenz: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SWR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzucht-dauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

Zu Beginn der Untersuchung verfügten die Regenbogenforellen über einen Wasseranteil von 74,4 %, einen Proteinanteil von 16,4 %, einen Fettgehalt von 7,2 % und einen Ascheanteil von 2,5 %. Während der Protein- und Ascheanteil nahezu gleich blieben, konnten am Versuchsende mit über 16 % Rohfett deutlich höhere Fettgehalte in den Fischen nachgewiesen werden (16,4 % bei beiden Gruppen). Resultat davon war mit 64,8 bzw. 64,9 % ein geringerer Wasseranteil in den Speiseforellen (Gruppe 1 und 2) als in den Setzlingen (74,3 %). Die unterschiedlichen Fütterungstermine beeinflussten nicht die Körperzusammensetzung der Fische. Demzufolge war der Energiegehalt der Fische bei beiden Gruppen mit 10,7 MJ/kg FM gleich (Abb. 28).

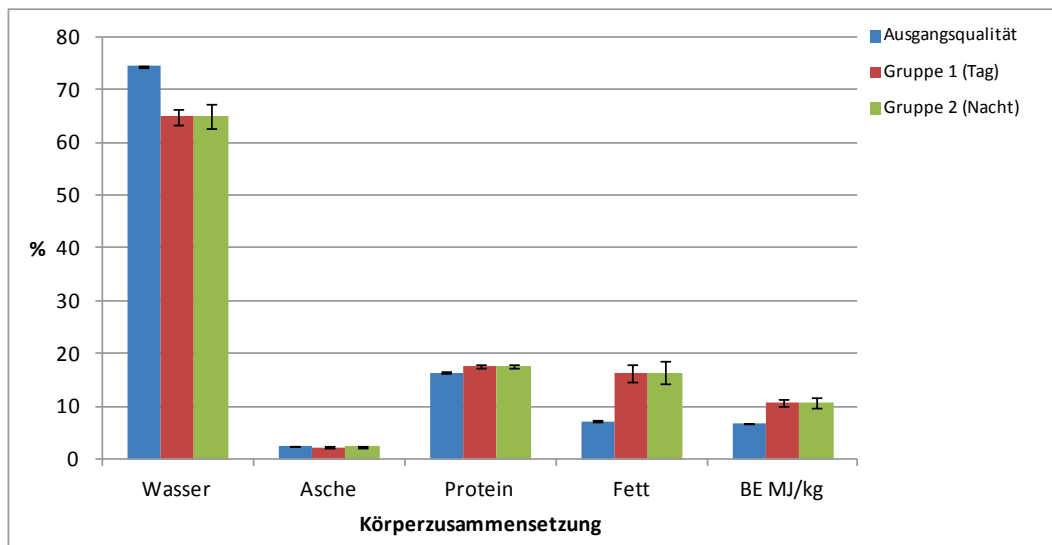


Abb. 28: Vergleich der Körperzusammensetzung der automatengefütterten Fische (Gruppe 1,  $n=30$ ), der handgefütterten Fische (Gruppe 2,  $n=30$ ) und der Ausgangsqualität ( $n=10$ ).

#### 6.2.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse bei Tag-/Nachtfütterung

In einer Versuchsreihe wurden Regenbogenforellen über eine Dauer von 262 Tagen von anfänglich 32 g auf 430 g (Tagfütterung) bzw. 414 g (Nachtfütterung) gemästet. Die Auswertungen deuten darauf hin, dass die taggefütterten Fische im Schnitt etwas besser gewachsen sind als die Nachtgefütterten.

In den Versuchseinheiten „Nachtfütterung“ wurde häufiger nicht gefressenes Futter gefunden, als bei den taggefütterten Fischen. Die genaue Menge der Futterreste konnte jedoch nicht bestimmt werden. Ein ersichtlicher Grund für nichtgefressenes Futter war in der Regel auf mangelhafte Wasserparameter, insbesondere auf Sauerstoffmangel zurückzuführen. Dieser kam sowohl bei den taggefütterten als auch bei den nachtgefütterten Fischen gelegentlich vor. Die Ursache für den Sauerstoffmangel lag hauptsächlich an zeitweilig geringen Zulaufwassermengen. Diese entstanden hauptsächlich durch wetterbedingte Einflüsse (Sturm, starke Niederschläge), die dazu führten, dass die Siebe an den Teichzuleitern durch Geschwemmsel verstopft wurden. Tagsüber konnten solche Ereignisse schneller erkannt und behoben und dadurch weniger Futterverluste erzielt werden.

Die Wachstumsparameter fallen in diesem Versuch für die taggefütterten Fische insgesamt etwas besser aus. Pro Teich konnten in dieser Versuchsperiode im Durchschnitt 1.367 kg Zuwachs erreicht werden. Die Differenz zu den nachtgefütterten betrug im Durchschnitt 40 kg pro Teich (Tab. 16). Durch die Futterverluste fallen sowohl der Futterquotient als auch die Spezifische Wachstumsrate für die nachtgefütterten Regenbogenforellen etwas schlechter aus. Die Körperzusammensetzung der Fische wurde nicht durch die Fütterungstermine beeinflusst. Alle Fische verfügten über hohe Fettgehalte und damit auch über hohe Bruttoenergiegehalte.

Tab. 16: Zusammenfassung der Ergebnisse (Mittelwerte) aus dem Versuch Tag-/Nachtfütterung. Die dargestellten Ergebnisse sind Mittelwerte aus den jeweiligen Versuchsteichen.

Versuchsdauer: 262 Tage	Versuchsbeginn	Auswertung Tagfütterung	Auswertung Nachtfütterung
Zuwachs (kg)		1.367,34	1.326,67
Einzelgewicht (g)	32,18 ± 7,44	431,37 ± 105	414,36 ± 101
Körperlänge (cm)	14,75 ± 1,07	31,89 ± 2,22	31,69 ± 2,32
Korpulenz	0,99 ± 0,06	1,18	1,18
SWR (%/d)		1,095	1,078
FQ		1,00	1,06

Korpulenz: Korpulenzfaktor =  $W / L^3 \times 100$ . W = Körpergewicht in g; L = Körperlänge in cm. SWR: Spezifische Wachstumsrate =  $(\ln W_d - \ln W_0) / d \times 100$ ; d = Aufzuchtdauer in Tagen;  $W_0$  = Lebendgewicht zum Zeitpunkt 0 (Fischgesamtgewicht zu Beginn der Aufzucht);  $W_d$  = Fischgesamtgewicht zum Ende der Aufzucht (nach d Tagen) + Gesamtgewicht der Fischverluste.

**Anmerkung:** Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse wurden die aus dem Versuch genommenen Fische im Zuwachs nicht berücksichtigt. Im gesamten Versuchsverlauf wurden bei der taggefütterten Gruppe 2.048 kg und bei der nachgefütterten Gruppe 1.961 kg Fische aus dem Versuch ausgedünnt. Der gesamte Zuwachs innerhalb des Versuchszeitraumes von 262 Tagen beträgt im Durchschnitt also 2.050 kg pro Teich für die taggefütterten und 1.980 kg pro Teich für die nachgefütterten Fische. Diese erhobenen Produktionsdaten dienen auch zur Berechnung der Deckungsbeiträge für die eingesetzte Technik.

### 6.3 Wasseranalysen

Ebenfalls wurde das Ablaufwasser der Haltungseinrichtungen im zweiwöchigen Turnus untersucht. Die Wasseranalysen wurden vom Tiergesundheitsdienst Bayern e.V. (TGD) durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle 17 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der analysierten Wasserproben in den jeweiligen Versuchsteichen B<sub>1</sub> – B<sub>12</sub> (Referenzwert: Zu = Zuleiter aller Teiche).



Tab. 17: Ermittelte Wasserparameter im Projektzeitraum.

		<b>Zu</b>	<b>B 1</b>	<b>B 2</b>	<b>B 3</b>	<b>B 4</b>	<b>B 5</b>	<b>B 6</b>	<b>B 7</b>	<b>B 8</b>	<b>B 9</b>	<b>B 10</b>	<b>B 11</b>	<b>B 12</b>
<b>Temperatur °C</b>	<b>MW</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>9,9</b>	<b>9,7</b>	<b>9,7</b>	<b>9,7</b>	<b>9,7</b>
	<b>STABW</b>	0,21	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,40	0,31	0,31	0,34	0,31	0,33	0,32
<b>pH (-lg(H+))</b>	<b>MW</b>	<b>7,4</b>	<b>7,3</b>	<b>7,3</b>	<b>7,3</b>	<b>7,3</b>	<b>7,3</b>	<b>7,3</b>	<b>7,4</b>	<b>7,4</b>	<b>7,4</b>	<b>7,4</b>	<b>7,4</b>	<b>7,5</b>
	<b>STABW</b>	0,19	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,12	0,08	0,10	0,11	0,12
<b>Leitfähigkeit (µS/cm)</b>	<b>MW</b>	<b>770</b>	<b>771</b>	<b>772</b>	<b>771</b>	<b>771</b>	<b>772</b>	<b>771</b>	<b>766</b>	<b>766</b>	<b>768</b>	<b>768</b>	<b>767</b>	<b>768</b>
	<b>STABW</b>	10,78	9,09	8,41	8,31	8,68	8,61	9,39	6,33	6,33	6,40	8,05	8,81	7,18
<b>SBV (mval/l)</b>	<b>MW</b>	<b>5,59</b>	<b>5,57</b>	<b>5,42</b>	<b>5,68</b>	<b>5,70</b>	<b>5,89</b>	<b>5,90</b>	<b>5,78</b>	<b>5,53</b>	<b>5,22</b>	<b>5,49</b>	<b>5,64</b>	<b>5,69</b>
	<b>STABW</b>	0,72	0,56	0,66	0,54	0,49	0,55	0,61	0,88	0,89	1,10	1,01	1,07	1,03
<b>freies CO<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>31,66</b>	<b>34,33</b>	<b>34,46</b>	<b>35,35</b>	<b>36,21</b>	<b>34,68</b>	<b>34,46</b>	<b>27,28</b>	<b>24,63</b>	<b>22,76</b>	<b>24,43</b>	<b>25,00</b>	<b>23,62</b>
	<b>STABW</b>	12,53	11,73	10,78	10,09	9,79	10,56	10,02	9,53	8,24	5,56	6,72	7,23	6,81
<b>O<sub>2</sub> (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>9,27</b>	<b>9,67</b>	<b>8,64</b>	<b>9,37</b>	<b>8,67</b>	<b>8,71</b>	<b>8,12</b>	<b>7,64</b>	<b>7,25</b>	<b>6,45</b>	<b>7,00</b>	<b>6,37</b>	<b>6,52</b>
	<b>STABW</b>	1,07	1,75	2,20	2,33	1,99	1,79	2,12	1,23	1,31	1,00	1,01	0,97	1,20
<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>MW</b>	<b>88,40</b>	<b>92,75</b>	<b>83,35</b>	<b>89,76</b>	<b>82,47</b>	<b>82,65</b>	<b>77,24</b>	<b>72,29</b>	<b>68,50</b>	<b>61,50</b>	<b>67,00</b>	<b>60,30</b>	<b>61,30</b>
	<b>STABW</b>	10,25	17,43	20,91	23,07	18,70	17,26	20,24	11,80	12,89	9,99	9,68	9,55	11,17
<b>TOC (mg C/l)</b>	<b>MW</b>	<b>2,70</b>	<b>3,76</b>	<b>3,85</b>	<b>3,89</b>	<b>4,13</b>	<b>4,22</b>	<b>4,03</b>	<b>3,48</b>	<b>3,33</b>	<b>3,24</b>	<b>3,50</b>	<b>3,53</b>	<b>3,31</b>
	<b>STABW</b>	1,18	1,11	1,68	1,14	1,43	1,71	1,44	1,71	1,37	1,26	1,53	1,34	1,32
<b>Ammonium (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>0,01</b>	<b>0,48</b>	<b>0,63</b>	<b>0,55</b>	<b>0,72</b>	<b>0,64</b>	<b>0,74</b>	<b>0,35</b>	<b>0,44</b>	<b>0,45</b>	<b>0,38</b>	<b>0,53</b>	<b>0,42</b>
	<b>STABW</b>	0,01	0,19	0,25	0,22	0,29	0,23	0,31	0,24	0,22	0,14	0,17	0,16	0,12
<b>Freies Ammoniak (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>
	<b>STABW</b>	0,000	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Nitrit (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>0,001</b>	<b>0,013</b>	<b>0,017</b>	<b>0,019</b>	<b>0,022</b>	<b>0,021</b>	<b>0,025</b>	<b>0,015</b>	<b>0,018</b>	<b>0,021</b>	<b>0,015</b>	<b>0,027</b>	<b>0,023</b>
	<b>STABW</b>	0,001	0,007	0,015	0,010	0,019	0,016	0,019	0,014	0,010	0,011	0,009	0,016	0,012
<b>Phosphat (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>0,03</b>	<b>0,15</b>	<b>0,19</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,19</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,14</b>
	<b>STABW</b>	0,01	0,14	0,25	0,15	0,28	0,18	0,23	0,13	0,12	0,17	0,14	0,19	0,11
<b>Bromid (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>2,02</b>	<b>1,95</b>	<b>1,97</b>	<b>1,98</b>	<b>1,99</b>	<b>1,77</b>	<b>1,82</b>	<b>1,87</b>	<b>1,86</b>	<b>1,98</b>	<b>1,89</b>	<b>1,87</b>	<b>1,64</b>
	<b>STABW</b>	0,61	0,42	0,47	0,52	0,35	0,35	0,45	0,51	0,66	0,79	0,70	0,65	0,67
<b>Chlorid (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>39,81</b>	<b>39,98</b>	<b>40,26</b>	<b>40,67</b>	<b>40,56</b>	<b>40,43</b>	<b>41,25</b>	<b>42,62</b>	<b>40,74</b>	<b>40,56</b>	<b>40,76</b>	<b>41,30</b>	<b>41,85</b>
	<b>STABW</b>	2,73	2,35	2,48	2,64	3,09	4,82	3,46	4,05	2,96	4,53	4,48	4,55	5,07
<b>Sulfat (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>12,34</b>	<b>12,60</b>	<b>12,69</b>	<b>12,90</b>	<b>12,86</b>	<b>13,07</b>	<b>13,16</b>	<b>13,96</b>	<b>13,40</b>	<b>13,48</b>	<b>14,36</b>	<b>13,80</b>	<b>13,96</b>
	<b>STABW</b>	1,93	1,53	1,55	1,70	1,77	1,95	1,99	1,14	1,15	1,63	2,95	1,64	1,92
<b>Nitrat (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>20,86</b>	<b>20,71</b>	<b>20,81</b>	<b>21,07</b>	<b>20,88</b>	<b>21,28</b>	<b>21,30</b>	<b>21,52</b>	<b>20,68</b>	<b>20,88</b>	<b>21,12</b>	<b>21,25</b>	<b>20,95</b>
	<b>STABW</b>	1,43	1,22	1,21	1,23	1,05	1,29	1,38	1,65	1,84	2,50	2,75	2,76	4,26
<b>Kalium (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>0,71</b>	<b>1,44</b>	<b>1,46</b>	<b>1,20</b>	<b>1,35</b>	<b>1,26</b>	<b>1,23</b>	<b>1,10</b>	<b>0,80</b>	<b>0,94</b>	<b>0,82</b>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>
	<b>STABW</b>	0,65	0,64	0,56	0,46	0,53	0,42	0,50	0,67	0,61	0,69	0,83	0,71	0,63
<b>Natrium (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>20,41</b>	<b>20,61</b>	<b>20,19</b>	<b>19,89</b>	<b>19,72</b>	<b>19,83</b>	<b>19,82</b>	<b>18,90</b>	<b>18,42</b>	<b>18,25</b>	<b>18,31</b>	<b>18,46</b>	<b>18,11</b>
	<b>STABW</b>	3,01	3,48	2,59	2,49	2,32	2,11	2,33	1,74	1,42	1,45	2,03	1,79	1,84
<b>Calcium (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>98,81</b>	<b>97,42</b>	<b>93,90</b>	<b>98,76</b>	<b>99,98</b>	<b>99,87</b>	<b>92,37</b>	<b>90,28</b>	<b>94,55</b>	<b>90,23</b>	<b>91,38</b>	<b>92,55</b>	<b>91,59</b>
	<b>STABW</b>	13,08	9,72	24,20	10,63	12,71	11,45	24,23	27,44	16,15	11,15	9,05	8,67	10,02
<b>Magnesium (mg/l)</b>	<b>MW</b>	<b>23,98</b>	<b>23,58</b>	<b>23,45</b>	<b>23,25</b>	<b>23,17</b>	<b>22,94</b>	<b>23,71</b>	<b>21,49</b>	<b>21,36</b>	<b>20,79</b>	<b>20,88</b>	<b>20,80</b>	<b>20,85</b>
	<b>STABW</b>	6,23	5,16	5,62	5,19	4,76	5,40	4,99	4,58	3,82	3,88	4,16	3,67	3,23
<b>Gesamthärte (°dH)</b>	<b>MW</b>	<b>19,46</b>	<b>19,04</b>	<b>19,40</b>	<b>19,16</b>	<b>19,31</b>	<b>19,24</b>	<b>19,24</b>	<b>18,57</b>	<b>18,13</b>	<b>17,40</b>	<b>17,58</b>	<b>17,73</b>	<b>17,60</b>
	<b>STABW</b>	2,97	2,49	2,67	2,55	2,76	2,72	2,68	3,21	3,03	2,31	2,11	1,99	2,01
<b>Carbonathärte (°dH)</b>	<b>MW</b>	<b>15,78</b>	<b>15,57</b>	<b>15,18</b>	<b>15,95</b>	<b>16,08</b>	<b>16,47</b>	<b>16,65</b>	<b>16,17</b>	<b>15,69</b>	<b>14,61</b>	<b>15,37</b>	<b>15,80</b>	<b>15,93</b>
	<b>STABW</b>	2,06	1,61	1,84	1,48	1,34	1,55	1,66	2,47	2,58	3,08	2,84	2,99	2,89
<b>BSB5 (mg O<sub>2</sub>/l)</b>	<b>MW</b>	<b>0,57</b>	<b>3,72</b>	<b>4,41</b>	<b>4,24</b>	<b>4,46</b>	<b>4,64</b>	<b>4,61</b>	<b>3,06</b>	<b>2,91</b>	<b>2,94</b>	<b>3,15</b>	<b>3,74</b>	<b>3,00</b>
	<b>STABW</b>	0,36	2,38	2,62	2,47	2,47	2,53	2,48	2,79	1,75	1,77	3,09	2,36	1,64

MW: Mittelwert, STABW: Standardabweichung

Die Teiche wurden während der Fütterungsversuche in der Regel einmal pro Woche abgelassen um Kot und Futterreste zu entfernen. Die Wasserproben wurden hauptsächlich unmittelbar vor den Teichreinigungen entnommen. Die Auswertung der Wasserproben zeigt also Werte, die von Wasserproben stammen, bei der die Belastung am höchsten war.

Insgesamt betrachtet weichen die meisten Werte der Versuchsteiche nicht oder nur unwesentlich von denen der Zuleiterwerte ab. Die Mittelwerte von freiem  $\text{CO}_2$  (mg/l) liegen in allen Probenentnahmeorten recht hoch. Der Zuleiter weist einen Mittelwert von knapp 32 mg/l auf. In den Teichen  $B_1 - B_6$  liegen die Mittelwerte etwa 2-3 mg/l noch darüber. In den Teichen  $B_7 - B_{12}$  etwa 5 mg/l darunter. Dies liegt darin begründet, dass in den Teichen  $B_1 - B_6$  der Fischbestand doppelt so hoch war und damit auch die  $\text{CO}_2$ -Ausscheidungen der Fische höher waren. Zudem wurden in  $B_1 - B_6$  deutlich mehr Daten erhoben und Extremwerte von z. T. über 50 mg/l flossen in die Mittelwertbildung ein. Solch hohe Werte, die ebenfalls mit den Referenzwerten im Zuleiter korrelieren, wurden während der Versuche in den Teichen  $B_7 - B_{12}$  nicht festgestellt.

Ammonium und freies Ammoniak waren im Zuleiter innerhalb der Untersuchungen praktisch nicht nachweisbar. In den Versuchsteichen liegen die Durchschnittswerte für Ammonium zwischen 0,38 – 0,74 mg/l und für Ammoniak zwischen 0,002 – 0,003 mg/l. Die Werte für Ammoniak liegen damit deutlich unterhalb der Konzentrationen, die für Brut (0,07 mg/l  $\text{NH}_3$ ) und adulte Fische (0,1 mg/l  $\text{NH}_3$ ) als kritisch eingestuft werden (Schäperclaus & v. Lukowicz, 1998).

Die ermittelten  $\text{BSB}_5$ -Werte (Biochemischer Sauerstoffbedarf) liegen beim Zuleiterwasser um 0,57 mg  $\text{O}_2$ /l. Diese Werte deuten auf ein unbelastetes bis sehr gering belastetes Wasser hin. Die  $\text{BSB}_5$ -Werte in den Versuchsteichen liegen im Durchschnitt zwischen 3 und 4 mg  $\text{O}_2$ /l. Solche Werte werden typischerweise in Gewässern mit Güteklasse II (mäßig belastet) ermittelt. Die Tatsache, dass die Wasserproben jeweils unmittelbar vor den Reinigungsarbeiten der Teiche erhoben wurden, deutet auf eine nicht sehr hohe Belastung hin.

## **7 Probleme bei der Aufzucht**

Während der Fütterungsversuche sind Ereignisse aufgetreten, die die Auswertungen der einzelnen Versuche erschwerten und z. T. nicht verifizierbare Verluste innerhalb der Fischbestände verursachten.

### **7.1 Futterverweigerung**

In einigen Haltungseinrichtungen wurde während laufender Versuche nicht gefressenes Futter am Boden festgestellt. Die Menge des nicht gefressenen Futters konnte nicht quantifiziert werden. Wenn in den Haltungseinrichtungen verhältnismäßig viel Futter liegen geblieben war oder wenn festgestellt wurde, dass die Fische das Futter während der Fütterungen verweigerten, wurde die Fütterung eingestellt, bis die Ursache für die Futterverweigerung gefunden und behoben wurde. Zum Teil entstanden dadurch Zeiträume von mehreren Tagen, in denen kein Futter gereicht wurde. Das wirkte sich negativ auf das Fischwachstum aus und erklärt die z. T. hohen Futterquotienten und schlechten Wachstumsraten der Fische.

### **7.2 Fraßdruck durch Prädatoren**

Während der Freilandversuche kam es zu unerwarteten Beobachtungen, die die Auswertung der Ergebnisse z. T. stark einschränkten. Nachdem regelmäßig an den Teichen Federn von Reihern und Losungen von Füchsen gefunden wurden, tauchte die Frage auf, ob sie durch ihre Präsenz die Fische stark beunruhigen könnten. Dass Fische in den Versuchsteichen erbeutet würden, hielt man für unwahrscheinlich, da die Teiche rundherum

durch Drahtzäune sowie durch Vogelschutznetze von oben sehr gut abgesichert waren. Durch Beobachtungen in den frühen Morgenstunden konnten einige Reiher und sogar ein Fuchs beobachtet werden. Diese hielten sich jedoch vorzüglich an benachbarten Teichgruppen auf und es konnte kein direkter Angriff auf die Fische festgestellt werden (Abb. 29).



Abb. 29: Fuchs und Reiher auf der Teichanlage im Juni 2009.

Einige Zeit später waren in den Versuchsteichen bei einigen Fischen starke äußerliche Schädigungen in Form von tiefen Fleischwunden zu erkennen (Abb. 30). Diese Symptome dehnten sich auf einen größeren Bestand der Fische aus, sodass zunächst vermutet wurde, dass diese Erscheinungen krankheitsbedingte Ursachen haben. Wie in der Abbildung erkennbar, traten bei vielen Fischen die Verletzungen an der gleichen Körperstelle auf, besonders unmittelbar hinter der Rückenflosse. Dieses Bild ist bekannt von einer Fischkrankheit, der Sattelkrankheit (Columnaris-Erkrankung, „Saddle Back Disease“), die aber hauptsächlich bei Regenbogenforellenbrütlingen (2 – 3 cm Körperlänge) im Bruthaus auftritt (Baur & Rapp, 2003, Hoffmann, 2005). Seltener tritt sie in Teichen im Freiland auf und nach Transfer aus dem Bruthaus in Teiche verschwindet sie auch bei hoher Inzidenz oft spontan (Hoffmann, 2005). Angaben zum Auftreten dieser Krankheit bei Regenbogenforellen mit Größen von 20 – 30 cm, wie sie zu diesem Zeitpunkt in den Versuchen vorhanden waren, sind unbekannt.



Abb. 30: Verletzungen an einigen Versuchsfischen. Linkes Bild: vier Regenbogenforellen mit Verletzungen direkt hinter der Rückenflosse. Rechtes Bild: Neben der fehlenden Muskelpartie sind weitere Verletzungen (a, b, c) sowie eine großflächige Abschürfung unterhalb der Fleischwunde (innerhalb der gelb gestrichelten Linie) zu erkennen.

Bei den routinemäßigen Fischuntersuchungen, die mindestens alle 14 Tage in jeder Versuchseinheit durchgeführt wurden, sind auch keine Anzeichen erkannt worden, die auf das Ausbrechen einer Krankheit deuteten.

Beim genaueren Betrachten der verletzten, noch lebenden Fische, wurden häufig Bissspuren nachgewiesen. Zum Teil konnten diese Verletzungen eindeutig als Bissverletzungen durch Graureiher (*Ardea cinerea*), die nach Zuschnappen ihre Beute wieder fallen ließen, identifiziert werden (Abb. 31). Diese Primärverletzungen stellen Angriffsflächen für pathogene Keime (z. B. Bakterien) dar, die sich durch folgende Sekundärinfektionen weiter ausdehnen können.

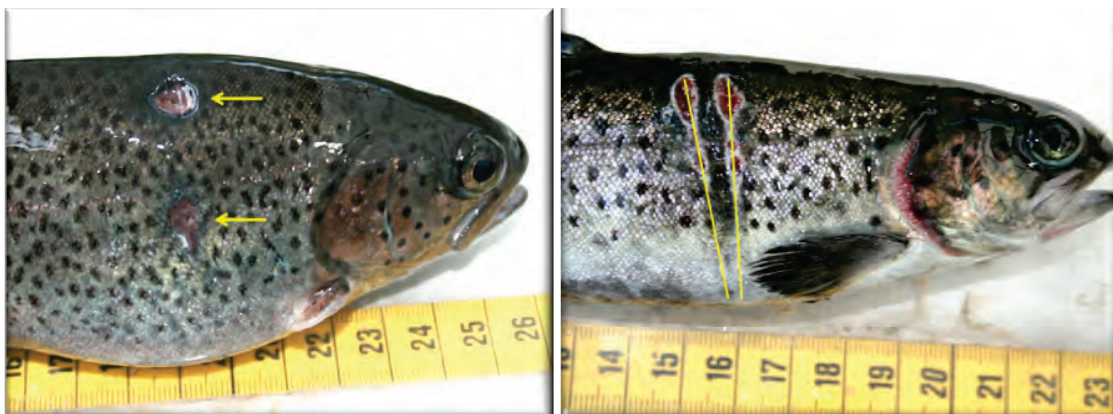


Abb. 31: Verletzungen durch Reiherhiebe und -bisse. Linkes Bild: Einstiche durch Hieb mit geöffnetem Schnabel (gelbe Pfeile). Rechtes Bild: Schnabelabdruck von dorsal nach ventral, sowohl auf rechter als auch auf linker Körperseite. Nachzeichnung des Schnabelabdruckes mit gelben Linien.

Die Verletzungen, wie in Abbildung 31 dargestellt, konnten jedoch nicht dem Graureiher zugeordnet werden und mussten anderen Ursprungs sein.

Die bis hierhin gemachten Beobachtungen wurden mit Hilfe von Infrarot-Videokameras ergänzt, um zu lokalisieren, wo den Reihern und evtl. anderen Tieren die Möglichkeit zum Beutemachen gegeben ist, um zukünftig weitere Schutzmaßnahmen ergreifen zu können. Hierfür wurden an einem der Versuchsteiche drei Videokameras installiert. Eine weitere wurde so aufgebaut, dass ein großflächiges Areal der Anlage überwacht werden konnte. Die Aufzeichnungen wurden jeweils zu den Zeiten gestartet, in denen sich kein Personal mehr auf der Anlage aufhielt (18:00 – 08:00 Uhr).

Die Auswertung der Videoaufnahmen ergab sehr aufschlussreiche und überraschende Hinweise auf das Geschehen an den Teichen während der Dämmerungs- und Nachtzeiten. So wurden neben 16 Reihern, die vornehmlich während der Abend- und Morgendämmerung präsent waren, insgesamt fünf Füchse beobachtet. Die Füchse besuchten die Teiche erst nach der Abenddämmerung und verschwanden vor der Morgendämmerung (Hauptaktivitätszeit 22:30 – 04:30 Uhr).

Anhand der ausgewerteten Videosequenzen, in denen Reiher versuchten, Fische zu erbeuten, wird deutlich, dass bei jedem Zustoßen ein Großteil des Fischbestandes mit heftigen Fluchtreaktionen reagiert (Abb. 32). Diese häufig wiederkehrenden Fluchtreaktionen der Fische sind Stressoren, die sich negativ auf die Fische auswirken. Wedekind & Schreckenbach (2004) führen unter anderem die Verfolgung durch Fressfeinde als Stressursache auf. Verhaltensänderungen, die Einstellung der Nahrungsaufnahme und dadurch

resultierende Mangelercheinungen, die eine Beeinträchtigung der Krankheitsabwehr und Wachstumsdepressionen zur Folge haben, können hierdurch hervorgerufen werden.



Abb. 32: Reiher beim Beutefang an den Versuchsteichen. Linkes Bild: beim Eintauchen des Schnabels ins Wasser, rechts mit Fisch im Schnabel (gelbe Pfeile). Auf beiden Bildern wird ersichtlich, dass viele Fische, die sich oberflächennah aufhalten, auf die Aktionen des Reihers mit Fluchtreaktionen antworten. (Bildausschnitte aus Videoaufnahme mit IR-Kamera).

Die Videoaufnahmen ergaben, dass neben Reiherern auch Füchse die gut besetzten Teiche zum Nahrungserwerb aufsuchten. Da der Fuchs als Aasfresser gilt, war es umso erstaunlicher zu beobachten, dass er auch lebende Fische erbeutet, wenn keine verendeten Fische als Beute zur Verfügung standen. Dies bestätigten nicht nur die Videoaufnahmen, sondern auch Untersuchungen an noch lebenden, verletzten Fischen, deren Verletzungen eindeutig dem Fuchs zugeordnet werden konnten. An mehreren Fischen wurde ein positiver „Bisspurenabgleich“ mit einem Fuchsschädel durchgeführt (Abb. 33). Der Fuchsschädel stammte von einem Fuchs, der kurze Zeit nach Auftreten der Bissverletzungen an den Fischen in einem Teich auf der Anlage ertrunken ist. Daher konnte man den Vergleich mit diesem Schädel als repräsentativ annehmen.

Der Verlust an Fischen, der während des Versuchszeitraumes entstand, konnte nicht quantifiziert werden. Jedoch konnten die Stellen, an denen die Prädatoren ihre Beute machten, durch den Einsatz der Infrarotkameras lokalisiert und weitere Schutzmaßnahmen ergriffen werden.



Abb. 33: Bisspurenabgleich an einer Regenbogenforelle mit einem Fuchsgebiss. Die *Dentes canini* (Eckzähne) passen exakt in die Verletzungen (a, b) der Regenbogenforelle. Eine weitere Verletzung (gelbe Pfeile) zwischen den beiden großen Einstichen passt genau auf das Profil der beiden mittleren *Dentes incisivi* (Schneidezähne).

Um dem Schaden durch Fressfeinde für zukünftige Versuche entgegenzuwirken, wurden die bestehenden Schutzmaßnahmen an den Teichen verstärkt. Da die Hauptschäden an den Teichausläufen verursacht wurden, sind die bestehenden Lücken mit Holzbrettern verschlossen worden. Die Vogelschutznetze sind durch neue, engmaschigere (50 mm Maschenweite) und mit stabilerem Garn geknüpft Netze ausgewechselt worden. Die vorher über den Teichen installierten Schattierungsmatten, die den Reihern und Füchsen als „Sprungbrett“ in den Teich dienten, wurden für weitere Versuche entfernt.

Die Eigenschaften der Füchse als Kulturfolger sind mittlerweile sehr gut beschrieben und werden fortlaufend untersucht. Dass sich Füchse selbst an lebenden Fischen an Fischteichen vergreifen, ist nach derzeitigem Kenntnisstand bisher nicht beschrieben worden. Es ergaben sich nicht nur wirtschaftliche Schäden auf Grund der Fischverluste, sondern es wurden auch Materialschäden durch die Füchse verursacht. Um besser an die Fische heranzukommen bissen sie z. T. große Löcher in die Vogelschutznetze und Schattierungsmatten. Eine Videoaufnahme zeigte, dass sie sogar nicht davor zurückschreckten, sich in die Drahtumzäunung zu verbeißen.

Es hätte sogar zu einem größeren Ausfall kommen können, da ein Fuchs mehrfach die zur Sauerstoffüberwachung notwendige Sonde aus dem Teich herausgehoben hat. Wäre es innerhalb dieser Zeit in dieser Einheit zu einem Sauerstoffmangel gekommen, wäre keine Alarmmeldung erfolgt und folglich keine Reaktion möglich gewesen. Im schlimmsten Fall wäre der Bestand an Fischen verendet.

### 7.3 Sauerstoffmangel

Bei den eingesetzten Sauerstoffeintragssystemen „Water-Jet-Plattform“ kam es einige Male zu Alarmen, die durch zu wenig Sauerstoff in den Versuchsteichen verursacht wurden. Die Eintragssysteme haben drei Schwachstellen, die anfällig gegenüber Verschmutzung (Eintrag von Geschwemmsel durch den Zuleiter) sind: Lochblechgitter, Düsenplatte und Auslaufgitter. Hier kann Geschwemmsel wie Laub (besonders im Herbst oder nach starkem Sturm), Rasenschnitt etc. dazu führen, dass sich die Gitter zusetzen und der Wasserdurchlauf massiv reduziert wird. In der Praxis hat sich das Entfernen der Siebe am Jetsystem bewährt. Grobes Geschwemmsel wird vom Sieb des Zuleiters abgehalten und feinere Fraktionen passieren ungehindert das Jetsystem, ohne es zu verstopfen. Das Entfernen der Siebe bedeutet auch einen weitaus geringeren Arbeitsaufwand.

## 8 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Auf der Datenbasis der durchgeführten Untersuchungen wurden Wirtschaftlichkeitsberechnungen angestellt. Ausgehend von der Produktion von Portionsforellen ohne Einsatz von Technik (Variante 0, Tab. 18) wurden verschiedene Szenarien (Variante 1: Einsatz von Fütterungstechnik, Variante 2: Einsatz von Sauerstoffeintragstechnik, Variante 3: Einsatz von Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik) durchkalkuliert. Basis ist jeweils die Produktionseinheit Betonteich mit einem Wasservolumen von 19,5 m<sup>3</sup>. Berechnet werden jeweils die Marktleistung abzüglich der proportionalen Spezialkosten = Deckungsbeitrag I (DB I) sowie weiterhin abzüglich der zuteilbaren Festkosten = Deckungsbeitrag II (DB II). Anhand des Gesamtarbeitszeitbedarfs (in Arbeitskraftstunden AKh) ist daraus die Arbeitsproduktivität (DB II/AKh) in €/AKh zu ermitteln, quasi eine Entlohnung der eingesetzten Arbeitszeit. Diese Zahl dient dazu, die verschiedenen Verfahren miteinander vergleichen zu können. Einen Überblick über diese Ergebnisse zur Arbeitsproduktivität gibt Abbildung 34.

Ohne Einsatz von Technik sind pro Betonteich jährlich 504 kg Portionsforellen mit einer Marktleistung von 1.814 € zu produzieren. Abzüglich der variablen Kosten errechnet sich ein DB I in Höhe von 530 €. Die zuteilbaren Festkosten (nur für den Betonteich) sind in diesem Fall gering und betragen 190 € pro Jahr. DB II beträgt demnach 340 €. Für die Arbeiten Fütterung, wöchentliche Teichreinigungen, Endreinigung, Fische besetzen, Wasserdesinfektion, Teichkontrolle, Sortieren und Abfischen der Forellen werden insgesamt 28,4 Arbeitskraftstunden (AKh) veranschlagt. Daraus errechnet sich eine Arbeitsproduktivität in Höhe von 11,98 €/AKh (Tab. 18).

Tab. 18: Variante 0: Ausgangs-Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen ohne Einsatz von Technik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	1.440	350	3,60	504	<b>1.814</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	1.500	50	7,50	75	563
Futter <b>FQ = 1,1</b>			1,20	483	580
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					15
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					10
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte					0
Strom					0
Sauerstoff					0
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					26
Risiko (5 %)					91
					<b>1.284</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					
					<b>530</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude					0
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung					0
Abschreibung Maschinen					0
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					90
Unterhalt/Versicherung Gebäude					0
					<b>190</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					
					<b>340</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:			sek/kg Futter	AKh	
Fütterung			69	9,3	
Teichreinigung				8,7	
Endreinigung				2,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				4,5	
Sortierung, Abfischen				4,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>					
				<b>28,4</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>					
				<b>€/AKh</b>	<b>11,98</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,1

Bei Einsatz der Fütterungstechnik ändert sich an der Produktionsmenge pro Betonteich nichts; es werden weiterhin 504 kg Portionsforellen pro Jahr erzeugt. Die variablen Kosten erhöhen sich vorwiegend um die Ausgaben für Wartung und Pflege der Technik sowie um die Stromkosten. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 483 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Fütterungstechnik erhöhen sich erheb-

lich und betragen 477 € pro Jahr. Der DB II sinkt demnach auf nur 7 € (Wert gerundet). Zwar können Arbeitszeiten für die Fütterung eingespart werden, sodass insgesamt nur mehr 22,1 AKh nötig sind, dennoch fällt die Arbeitsproduktivität auf einen sehr geringen Wert von nur 0,30 €/AKh (Tab. 19).

Tab. 19: Variante 1a: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	1.440	350	3,60	504	<b>1.814</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	1.500	50	7,50	75	563
Futter <b>FQ = 1,1</b>			1,20	483	580
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					15
Verbrauchsgegenstände (Keschel, Wannen, Netze)					10
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					41
Strom (0,20 €/kWh)					5
Sauerstoff					0
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					27
Risiko (5 %)					91
					<b>1.331</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					<b>483</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			9
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung					0
Abschreibung Maschinen		10			206
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					158
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					4
					<b>477</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					<b>7</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:				AKh	
Fütterung				3,0	
Teichreinigung				8,7	
Endreinigung				2,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				4,5	
Sortierung, Abfischen				4,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>				<b>22,1</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>				<b>€/AKh</b>	<b>0,30</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,1

Bei gleichen Voraussetzungen wie unter Tabelle 19, allerdings unter der Annahme, dass durch häufigere Fütterungen pro Tag die Futterverwertung besser wird (FQ 1,0 anstatt 1,1) errechnen sich folgende Zahlen. Die Jahresproduktion beträgt weiterhin 504 kg Portionsforellen pro Jahr. Die variablen Kosten sind aufgrund des geringeren Futterbedarfs niedriger. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 537 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Fütterungstechnik bleiben gleich bei 477 € pro Jahr. Der DB II beträgt demnach 61 €. Bei einem Arbeitsaufwand von 22,1 AKh liegt die Arbeitsproduktivität auf einem geringen Wert von 2,74 €/AKh (Tab. 20).



Tab. 20: Variante 1b: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	1.440	350	3,60	504	<b>1.814</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	1.500	50	7,50	75	563
Futter <b>FQ = 1,0</b>			1,20	440	527
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					15
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannern, Netze)					10
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					41
Strom (0,20 €/kWh)					4
Sauerstoff					0
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					26
Risiko (5 %)					91
					<b>1.277</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					
					<b>537</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			9
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung					0
Abschreibung Maschinen		10			206
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					158
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					4
					<b>477</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					
					<b>61</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:				AKh	
Fütterung				3,0	
Teichreinigung				8,7	
Endreinigung				2,0	
Besetzen, Wasserdessinfektion, Kontrolle				4,5	
Sortierung, Abfischen				4,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>				<b>22,1</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>					<b>2,74</b>
				€/AKh	

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,0

Größere Betriebe werden in der Regel mehr Teiche als in unserem Beispiel mit entsprechender Technik ausstatten. Dadurch können die Grundkosten für die Fütterungszentrale auf mehr Einheiten umgelegt werden, wodurch sich die Kosten pro Fütterungsstelle reduzieren. Werden z. B. anstelle der 18 Teiche die doppelte Anzahl, nämlich 36 Fütterungsstellen eingerichtet, so sinken die Bruttoanschaffungskosten abzüglich Förderung von 2.056,54 € auf 1.532,95 € pro Teich. Damit sinken auch vor allem die Festkosten pro Einheit. Unter diesen Voraussetzungen und sonst gleichen Annahmen wie unter Tabelle 20 (FQ 1,0), errechnen sich folgende Zahlen. Die Jahresproduktion beträgt weiterhin 504 kg Portionsforellen pro Jahr. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 548 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Fütterungstechnik betragen nur noch 409 € pro Jahr. Der DB II steigt demnach auf 139 €. Bei einem Arbeitsaufwand von 22,1 AKh liegt die Arbeitsproduktivität aber immer noch bei einem niedrigen Wert von 6,29 €/AKh (Tab. 21).

Tab. 21: Variante 1c: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	1.440	350	3,60	504	<b>1.814</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	1.500	50	7,50	75	563
Futter <b>FQ = 1,0</b>			1,20	440	527
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					15
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					10
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					31
Strom ( 0,20 €/kWh)					4
Sauerstoff					0
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					26
Risiko ( 5 %)					91
					<b>1.266</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					
					<b>548</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			9
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung					0
Abschreibung Maschinen		10			153
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					142
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					4
					<b>409</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					
					<b>139</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:				AKh	
Fütterung				3,0	
Teichreinigung				8,7	
Endreinigung				2,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				4,5	
Sortierung, Abfischen				4,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>					
				<b>22,1</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>					
				<b>€/AKh</b>	<b>6,29</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,0, doppelte Technikausstattung

Mit dem Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik (Water-Jet-Plattform mit Sauerstoffüberwachung und -steuerung) kann die Produktionsmenge pro Betonteich etwa um den Faktor 5 auf 2.520 kg Portionsforellen pro Jahr erhöht werden. Die variablen Kosten erhöhen sich entsprechend der höheren Produktion und weiterhin um die Ausgaben für Wartung und Pflege der Technik, Stromkosten sowie Sauerstoffkosten. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 1.829 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Sauerstofftechnik betragen 617 €/pro Jahr. Der DB II beträgt 1.212 €. Die erheblich höhere Produktionsmenge verursacht deutlich höhere Arbeitszeiten von 93,5 AKh pro Einheit. Dennoch errechnet sich eine Arbeitsproduktivität in Höhe von 12,96 €/AKh, die geringfügig über der Ausgangssituation liegt (Tab. 22).

Tab. 22: Variante 2a: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	7.200	350	3,60	2.520	<b>9.072</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	7.500	50	7,50	375	2.813
Futter <b>FQ = 1,1</b>			1,20	2.417	2.901
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					75
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					50
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					58
Strom ( 0,20 €/kWh)					23
Sauerstoff ( 0,25 €/kg)					281
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					135
Risiko ( 10 %)					907
					<b>7.243</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					
					<b>1.829</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			1
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung		20			30
Abschreibung Maschinen		10			290
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					196
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					1
					<b>617</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					
					<b>1.212</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:			sek/kg Futter	AKh	
Fütterung			69	46,3	
Teichreinigung				13,0	
Endreinigung				3,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				11,2	
Sortierung, Abfischen				20,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>					
				<b>93,5</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>					
				<b>€/AKh</b>	<b>12,96</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,1

Bei gleichen Voraussetzungen wie unter Tabelle 22, allerdings unter der Annahme, dass durch optimierte Sauerstoffwerte die Futterverwertung besser wird (FQ 1,0 anstatt 1,1) er rechnen sich folgende Zahlen. Die Jahresproduktion beträgt weiterhin 2.520 kg Portionsforellen pro Jahr. Die variablen Kosten sind aufgrund des geringeren Futterbedarfs niedriger. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 2.097 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Sauerstofftechnik bleiben gleich bei 617 € pro Jahr. Der DB II beträgt demnach 1.480 €. Der Arbeitsaufwand sinkt aufgrund der geringeren Futtermenge auf etwa 89,3 AKh. Die Arbeitsproduktivität steigt damit auf einen guten Wert von 16,57 €/AKh (Tab. 23).

Tab. 23: Variante 2b: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	7.200	350	3,60	2.520	<b>9.072</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	7.500	50	7,50	375	2.813
Futter <b>FQ = 1,0</b>			1,20	2.198	2.637
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					75
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					50
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					58
Strom (0,20 €/kWh)					23
Sauerstoff (0,25 €/kg)					281
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					131
Risiko (10 %)					907
					<b>6.975</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					<b>2.097</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			1
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung		20			30
Abschreibung Maschinen		10			290
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					196
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					1
					<b>617</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					<b>1.480</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:			sek/kg Futter	AKh	
Fütterung			69	42,1	
Teichreinigung				13,0	
Endreinigung				3,0	
Besetzen, Wasserdeseinfektion, Kontrolle				11,2	
Sortierung, Abfischen				20,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>					<b>89,3</b>
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>				<b>€/AKh</b>	<b>16,57</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,0

Auch hier ist davon auszugehen, dass größere Betriebe in der Regel mehr Teiche als in unserem Beispiel mit entsprechender Technik ausstatten werden. Dadurch können die Grundkosten für Schaltschrank, PC und Software auf mehr Einheiten umgelegt werden, wodurch sich die Kosten pro Sauerstoffeintragsstelle reduzieren. Wird die doppelte Anzahl an Teichen ausgestattet, so sinken die Bruttoanschaffungskosten abzüglich Förderung von 2.899,21 € geringfügig auf 2.581,30 € pro Teich. Damit sinken auch vor allem die Festkosten pro Einheit. Unter diesen Voraussetzungen und sonst gleichen Annahmen wie unter Tabelle 23 (FQ 1,0), errechnen sich folgende Zahlen. Die Jahresproduktion beträgt weiterhin 2.520 kg Portionsforellen pro Jahr. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 2.103 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Sauerstofftechnik betragen nur noch 576 € pro Jahr. Der DB II steigt demnach auf 1.527 €. Bei einem Arbeitsaufwand von 89,3 AKh liegt die Arbeitsproduktivität etwas höher, bei 17,11 €/AKh (Tab. 24).

Tab. 24: Variante 2c: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Sauerstoffeintragstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	7.200	350	3,60	2.520	<b>9.072</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	7.500	50	7,50	375	2.813
Futter <b>FQ = 1,0</b>			1,20	2.198	2.637
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					75
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					50
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					52
Strom ( 0,20 €/kWh)					23
Sauerstoff ( 0,25 €/kg)					281
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					131
Risiko ( 10 %)					907
					<b>6.969</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					
					<b>2.103</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			1
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung		20			30
Abschreibung Maschinen		10			258
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					186
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					1
					<b>576</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					
					<b>1.527</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:			sek/kg Futter	AKh	
Fütterung			69	42,1	
Teichreinigung				13,0	
Endreinigung				3,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				11,2	
Sortierung, Abfischen				20,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>					
				<b>89,3</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>					
				<b>€/AKh</b>	<b>17,11</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,0, doppelte Technikausstattung

Mit dem kombinierten Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik kann bei hoher Produktionsmenge pro Betonteich von 2.520 kg Portionsforellen pro Jahr die Arbeitsbelastung erheblich reduziert werden. Die variablen Kosten erhöhen sich zwar entsprechend der hohen Produktion und weiterhin um die Ausgaben für Wartung und Pflege der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik, Stromkosten sowie Sauerstoffkosten. Dadurch sinkt der DB I gegenüber Variante 2 auf 1.763 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Fütterungs- und Sauerstofftechnik sind hier am höchsten und betragen 904 €/pro Jahr. Der DB II sinkt auf 859 €. Da aber vor allem mit der eingesetzten Fütterungstechnik die Arbeitszeiten deutlich auf 51,2 AKh pro Einheit reduziert werden können, errechnet sich eine gute Arbeitsproduktivität in Höhe von 16,78 €/AKh (Tab. 25).

Tab. 25: Variante 3a: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	7.200	350	3,60	2.520	<b>9.072</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	7.500	50	7,50	375	2.813
Futter <b>FQ = 1,1</b>			1,20	2.417	2.901
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					75
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					50
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					99
Strom (0,20 €/kWh)					47
Sauerstoff (0,25 €/kg)					281
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					136
Risiko (10 %)					907
					<b>7.309</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					<b>1.763</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			10
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung		20			30
Abschreibung Maschinen		10			496
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					264
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					5
					<b>904</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					<b>859</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:				AKh	
Fütterung				4,0	
Teichreinigung				13,0	
Endreinigung				3,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				11,2	
Sortierung, Abfischen				20,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>				<b>51,2</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>				<b>€/AKh</b>	<b>16,78</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,1

Bei gleichen Voraussetzungen wie unter Tabelle 25, allerdings unter der Annahme, dass durch häufigere Fütterungen pro Tag und optimierte Sauerstoffwerte die Futterverwertung besser wird (FQ 1,0 anstatt 1,1) errechnen sich folgende Zahlen. Die Jahresproduktion beträgt weiterhin 2.520 kg Portionsforellen pro Jahr. Die variablen Kosten sind aufgrund des geringeren Futterbedarfs niedriger. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 2.033 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Fütterungs- und Sauerstofftechnik bleiben gleich bei 904 € pro Jahr. Der DB II beträgt demnach 1.129 €. Der Arbeitsaufwand bleibt gleich bei etwa 51,2 AKh. Die Arbeitsproduktivität steigt auf einen sehr guten Wert von 22,06 €/AKh (Tab. 26).

Tab. 26: Variante 3b: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	7.200	350	3,60	2.520	<b>9.072</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	7.500	50	7,50	375	2.813
Futter <b>FQ = 1,0</b>			1,20	2.198	2.637
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					75
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					50
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					99
Strom (0,20 €/kWh)					45
Sauerstoff (0,25 €/kg)					281
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					132
Risiko (10 %)					907
					<b>7.039</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					
					<b>2.033</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			10
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung		20			30
Abschreibung Maschinen		10			496
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					264
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					5
					<b>904</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					
					<b>1.129</b>
<b>Faktorsprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:				AKh	
Fütterung				4,0	
Teichreinigung				13,0	
Endreinigung				3,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				11,2	
Sortierung, Abfischen				20,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>					
				<b>51,2</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>					
				€/AKh	<b>22,06</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,0

Wenn auch hier davon ausgegangen werden kann, dass größere Betriebe in der Regel mehr Teiche als in unserem Beispiel mit entsprechender Technik ausstatten, dann können dadurch die gesamten Grundkosten auf mehr Einheiten umgelegt werden. Wird die doppelte Anzahl an Teichen ausgestattet, so sinken die Anschaffungskosten pro Teich und damit auch vor allem die Festkosten pro Einheit. Unter diesen Voraussetzungen und sonst gleichen Annahmen wie unter Tabelle 26 (FQ 1,0), errechnen sich folgende Zahlen. Die Jahresproduktion beträgt weiterhin 2.520 kg Portionsforellen pro Jahr. Es errechnet sich ein DB I in Höhe von 2.050 €. Die zuteilbaren Festkosten für den Betonteich und die pro Teich benötigte Fütterungs- und Sauerstofftechnik betragen nur noch 795 € pro Jahr. Der DB II steigt demnach auf 1.255 €. Bei einem Arbeitsaufwand von 51,2 AKh liegt die Arbeitsproduktivität auf dem insgesamt höchsten Wert von 24,53 €/AKh (Tab. 27).

Tab. 27: Variante 3c: Deckungsbeitrag für die Produktion von Portionsforellen bei Einsatz der Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik.

<b>Proportionale Marktleistung:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
	7.200	350	3,60	2.520	<b>9.072</b>
<b>Proportionale Spezialkosten:</b>					
	Stk.	g/Stk.	€/kg	kg	€
Besatz (Verlust 4 %)	7.500	50	7,50	375	2.813
Futter <b>FQ = 1,0</b>			1,20	2.198	2.637
Desinfektion, Tierarzt, Medikamente					75
Verbrauchsgegenstände (Kescher, Wannen, Netze)					50
Wartung/Pflege Maschinen u. Geräte (2 %)					82
Strom (0,20 €/kWh)					45
Sauerstoff (0,25 €/kg)					281
Zinsansatz Fisch-u. Umlaufkapital (6 %)					132
Risiko (10 %)					907
					<b>7.022</b>
<b>Deckungsbeitrag I:</b>					<b>2.050</b>
<b>Festkosten:</b>					
		Nutz.dauer (a)			€
Abschreibung Betonteich		30			100
Abschreibung Gebäude		25			10
Abschreibung Sauerstofftank, -rohrleitung		20			30
Abschreibung Maschinen		10			411
Zinsansatz (6 % vom halben NW)					239
Unterhalt/Versicherung Gebäude (2 %)					5
					<b>795</b>
<b>Deckungsbeitrag II:</b>					<b>1.255</b>
<b>Faktoransprüche:</b>					
Teich	19,5 m <sup>3</sup>				
Wasserbedarf	3 l/s				
Arbeit:				AKh	
Fütterung				4,0	
Teichreinigung				13,0	
Endreinigung				3,0	
Besetzen, Wasserdesinfektion, Kontrolle				11,2	
Sortierung, Abfischen				20,0	
<b>Gesamtarbeitszeitbedarf:</b>				<b>51,2</b>	
<b>Arbeitsproduktivität (DB II/AKh):</b>				<b>€/AKh</b>	<b>24,53</b>

Produktionsdaten pro Betonteich (19,5 m<sup>3</sup>), Futterquotient 1,0, doppelte Technikausstattung

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes moderner Technik in der Forellenproduktion ist abhängig von der betrieblichen Situation. Alle Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind in Abbildung 34 wiedergegeben und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Einsatz vollautomatischer Fütterungstechnik ist bei geringer Produktionsintensität unwirtschaftlich. Die Arbeitsproduktivität liegt in diesen Fällen nur zwischen 0,30 und 6,29 €/AKh.
- Mit Sauerstoffeintrags-, -überwachungs- und -steuerungstechnik kann die Produktionsintensität vervielfacht werden. Dadurch wird eine deutlich bessere Auslastung der Produktionseinheiten erreicht, was sehr wirtschaftlich ist. Die Arbeitsproduktivität liegt in diesen Fällen zwischen 12,96 und 17,11 €/AKh.
- Bei höherer Produktionsintensität ist der Einsatz vollautomatischer Fütterungstechnik sehr wirtschaftlich (Kombination von Fütterungs- und Sauerstoffeintragstechnik), da die Mehrkosten durch die eingesparte Arbeitszeit leicht aufgefangen werden können. Die Arbeitsproduktivität liegt in diesen Fällen auf den höchsten Werten zwischen 16,78 und 24,53 €/AKh.



- Werden durch die eingesetzte Technik Verbesserungen in der Futterverwertung erreicht, so erhöht sich die Wirtschaftlichkeit erheblich (2,74 gegenüber 0,30 €/AKh, 16,57 gegenüber 12,96 €/AKh und 22,06 gegenüber 16,78 €/AKh).
- Eine höhere Anzahl von Fütterungs- bzw. Sauerstoffeintragsstellen reduziert die Festkosten pro Station, wodurch eine bessere Wirtschaftlichkeit im Gesamtbetrieb erreicht wird (6,29 gegenüber 2,74 €/AKh, 17,11 gegenüber 16,57 €/AKh und 24,53 gegenüber 22,06 €/AKh).
- In jedem Fall wird durch den Einsatz von Technik eine Arbeitseinsparung pro produzierte Einheit erreicht, wodurch mehr Zeit für andere Tätigkeiten (z. B. Vermarktung) bleibt.

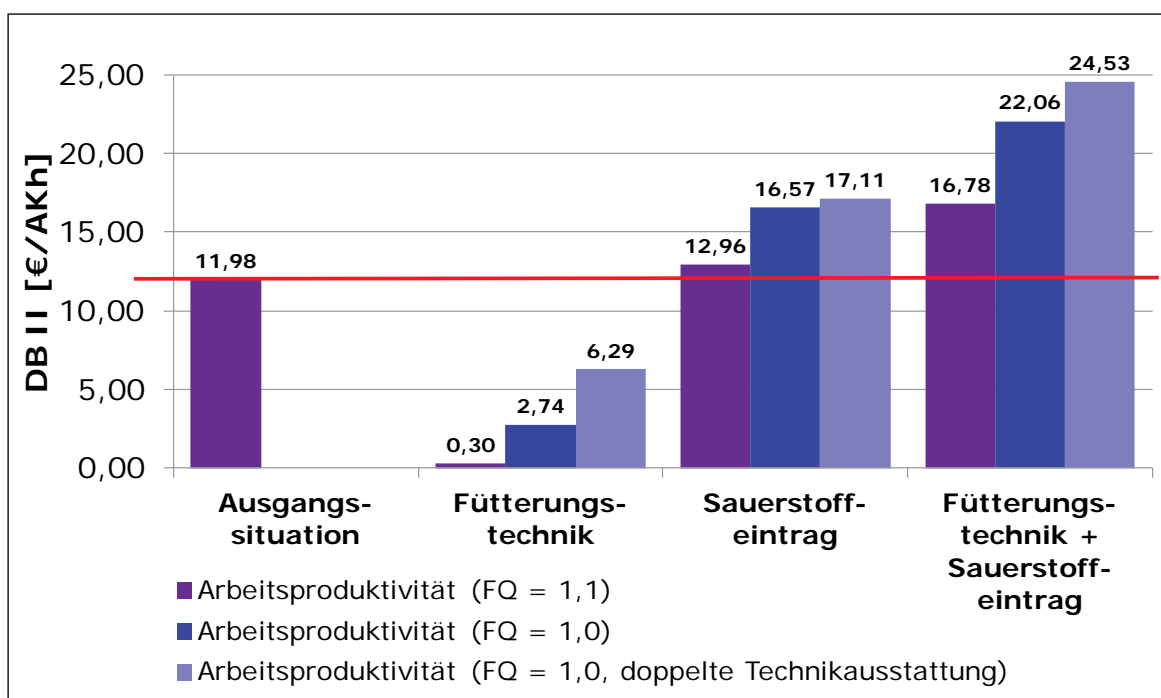


Abb. 34: Vergleich der Arbeitsproduktivität der verschiedenen Verfahren bei unterschiedlichen Szenarien.

## 9 Planungshilfen

Im Folgenden werden zu jeder in dieser Studie untersuchten Gerätschaften Hinweise gegeben, die dem Praktiker bei der Planung zur Anschaffung einzelner Technischelemente hilfreich sein können.

### 9.1 Fütterungsanlage

Zunächst sollte der Aufstellort der vollautomatischen Fütterungsanlage genau geplant werden. Die Hauptelemente der Fütterungsanlage (Futterbehältnisse, Wiegeeinheit, Computertechnik) sollten möglichst in einem witterungsgeschützten Gebäude untergebracht werden, welches jahreszeitbedingt nicht zu extremen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist. Des Weiteren sollte man darauf achten, dass die Zubringerrohre vom Futtervorratsbehältnis zur Wiegeschale nicht zu steil ansteigen und keine starken Krümmungen aufweisen. Hierdurch kann die Abriebmenge der Pellets reduziert werden. Hohen Abriebmengen

kann im Voraus entgegengewirkt werden, in dem man verschiedene Spiralförderschnecken (vom Hersteller werden unterschiedliche Durchmesser angeboten) für verschiedene Futterpelletdurchmesser einbaut. Es ist daher für die Planung hilfreich sich Gedanken über die künftige Verwendung der Futterpelletgrößen zu machen, die hauptsächlich für die Fischproduktion eingesetzt werden sollen. Grundsätzlich geht aus den Untersuchungen hervor, dass der Einsatz im Durchmesser kleinerer Spiralförderschnecken (im Verhältnis zum Durchmesser der Futterzubringerrohre) geringere Abriebmengen verursacht. Nach Möglichkeit sollten die Spiralförderschnecken vom Durchmesser für eine Futterpartikelgröße so gewählt werden, dass diese nicht durch die Schnecken am Rand der Rohre beschädigt werden können. Schließlich sollte man die Jahreszeit für den Einbau der Fütterungsanlage berücksichtigen. Da evtl. für den Aufbau der Anlage aufwendige Erdarbeiten nötig sind (z. B. Verlegen der Futterrohrleitungen), sollte man die Installation nicht für die Winterzeit planen, da unter Umständen durch starken Bodenfrost die Arbeiten unmöglich bzw. stark verzögert werden.

Für die Ausgabe einer exakten Futtermenge ist eine regelmäßige Überprüfung der Wiegeeigenschaften des Systems notwendig. Das Intervall ist dabei abhängig vom Aufstellort, Temperaturschwankungen und den Witterungsverhältnissen. Windzugexponierte Fütterungsanlagen neigen zu geringen, aber messbaren Abweichungen. Ebenso können die Stoffeigenschaften von einzelnen Bauteilen der Anlage auf veränderte Witterungsverhältnisse reagieren. Dies macht eine regelmäßige Eichung der Waage notwendig. Allerdings sind die bisher aufgetretenen Abweichungen nur gering (bis 50 g/Fütterung). Bei einem Einsatz in großen Produktionseinheiten ist diese Menge fast zu vernachlässigen.

Der vielfach aufgestellten Hypothese, dass eine hohe Fütterungsfrequenz die Wachstumsleistung der Forellen fördert, kann nach den Testläufen nicht gefolgt werden. Die besseren Wachstumsleistungen bei hoher Frequenz resultierten eher aus der Wiegegenauigkeit der Fütterungsanlage. Bekannt ist, dass eine hohe Fütterungsfrequenz in sehr frühen Lebensstadien der Forellen die Wachstumsleistung verbessern kann (Schmidt und Wedekind 2010). Im Setzlinsalter ist dieser Effekt allerdings nicht mehr stark ausgeprägt. Vorteilhaft ist aber eine hohe Fütterungsfrequenz hinsichtlich der Sauerstoffverhältnisse im Teich, da es so nicht zum starken Absinken der Sauerstoffkonzentration nach der Fütterung kommt. Ein Nebeneffekt kann auch eine etwas ausgeglichene Wachstumsleistung der Fische sein. Vorteilhaft ist die Anlage zudem, da so auch die Fütterung außerhalb üblicher Arbeitszeiten möglich ist. Die hier vorgestellten Ergebnisse zur Tag/Nacht-Fütterung weisen auf diese innovative Möglichkeit hin, mit der sich der tägliche Fütterungszeitraum auf bis zu 24 Stunden ausdehnen lässt.

## 9.2 Sauerstoffeintrag durch Water-Jet-Plattformen

Die Technik der stromlosen Sauerstoffanreicherung in Fischteichen ist einigen konventionellen Methoden in zwei Punkten überlegen. Sie arbeitet zum einen ohne elektrische Energie und nutzt die potentielle Energie des Höhenunterschiedes zwischen Zuleiter und Haltungseinheit. Zum anderen ist die Methode des Sauerstoffeintrages über die Wolkenbildung sowie das interne Recyclingsystem für nicht verbrauchten Sauerstoff besonders ressourcenschonend und ökonomisch. Durch die bessere Ausnutzung des Zulaufwassers und der Produktionseinheiten in einer bestehenden Teichanlage können die Festkosten auf eine größere Produktionsmenge umgelegt werden, was in der Regel zu einer sehr schnellen Amortisation der Investitionskosten führt. In unserem Fall war eine Produktionssteigerung pro Sekundenliter Zulaufwasser um den Faktor 5 (von 150 auf 750 kg pro Sekundenliter und Jahr) problemlos möglich. Die dabei anfallenden Sauerstoffkosten werden durch

die erhöhte Produktivität der Anlage und eventuell durch einen günstigeren Futterquotienten mehr als ausgeglichen. Als weiterer Vorteil für den praktischen Betrieb ist auch die wesentlich höhere Flexibilität hervorzuheben.

In den Versuchsreihen zeigte sich, dass verschiedene Voraussetzungen der Teichanlage und Einstellungen beim Betrieb der Anlage sehr großen Einfluss auf die Effektivität dieser Sauerstoffeintragsgeräte haben können. Bei idealer Kombination der einzelnen Parameter können diese Geräte durchaus mit einer effektiven Nutzung des technischen Sauerstoffs bis etwa 95 % betrieben werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit bei Sauerstoffknappheit, etwa bei einem sehr dichten Fischbesatz oder durch geringe Wasserzufuhr in den Sommermonaten verursacht, genügend Sauerstoff zuzuführen und dauerhaft Sättigungen von über 180 % am Einlauf zu erreichen. Jedoch ist in diesen Fällen folglich mit einer Abnahme der Effektivität zu rechnen.

Wichtig zu beachten ist, dass für einen effektiven Betrieb nicht zu viel Sauerstoff pro l/s Zulaufwasser zugegeben wird und dass ein möglichst großer Höhenunterschied am Teichzulauf genutzt werden kann, um die Effektivität des Sauerstoffeintrags maximieren zu können. Betreiber sollten ihre Anlagen so einstellen, dass sie einen möglichst hohen Wasserstandsunterschied innerhalb der Anlage bei ausreichendem Wasserdurchlauf erhalten. Diese Höhendifferenz bestimmt den Druck, mit dem die Wasserstrahlen das Gaspolster passieren. Es sollte auch darauf geachtet werden, dass ein ausreichend großes Sauerstoffpolster eingestellt ist, um zu gewährleisten, dass ausreichend Sauerstoff von den Wasserstrahlen mitgerissen werden kann. Wird zu viel Sauerstoff über das Entgasungsrohr ungenutzt abgast, sollten weitere Düsen geöffnet oder das Sauerstoffpolster vergrößert werden.

In unserem Fall wurden bei optimalen Voraussetzungen und Einstellungen (73 cm Höhendifferenz zwischen Zuleiter und Teichoberfläche, 2,6 l/s Zulaufwasser pro 1 l/min Sauerstoffeintrag, 33 cm Sauerstoffpolster unter der Düsenplatte, 10-12 geöffnete Düsen) eine Effektivität des Sauerstoffeintrags um 95 % erreicht. Bei ungünstigen Bedingungen (56 cm Höhendifferenz, 0,7-1,0 l/s Zulaufwasser pro 1 l/min Sauerstoffeintrag, 32 cm Sauerstoffpolster, 6 geöffnete Düsen) sank dagegen die Effektivität auf unter 40 %. Das heißt, neben den gegebenen betrieblichen Voraussetzungen ist auch vor allem der Betriebsleiter gefordert, die richtigen Einstellungen vorzunehmen, um einen effektiven und wirtschaftlichen Sauerstoffeintrag zu gewährleisten. Water-Jet-Systeme eignen sich im Besonderen für die Nachrüstung bestehender Teiche zum Zwecke der Intensitätssteigerung. Mit dem Prinzip der Water-Jet-Plattformen wird versucht, die Ressourcen Wasser und Sauerstoff so effizient wie möglich zu nutzen. Auch hier sind der Aufstellungsort bzw. die Beschaffenheit der Teiche und die Wasserversorgung entscheidend für einen sinnvollen, effizienten Einsatz der Sauerstoffeintragungssysteme. Am besten eignen sich Aufstellorte, die ein natürliches Gefälle vom Wasserzuleiter zur Teichwasseroberfläche aufweisen (ideal 50–80 cm). In diesem Fall muss das Wasser nicht erst um diese Höhe mechanisch angehoben werden, was Mehrkosten (Anschaffung weiterer Geräte, höhere Energiekosten) und erhöhte Produktionsrisiken (durch möglichen Ausfall der zusätzlichen Geräte) verursachen würde. Beim Betrieb der Plattform empfiehlt sich die Einrichtung eines maximal 27 bis 30 cm hohen Sauerstoffpolsters. Überschüssige Mengen an durchfließendem Sauerstoff werden über das Entlüftungsrohr abgegeben. Tritt durch das Rohr zusätzlich Wasser aus, so kann die Sauerstoffzufuhr reduziert oder die Polsterhöhe vergrößert werden. Water-Jet-Plattformen sind anfällig gegenüber Verstopfungen, daher müssen regelmäßige Kontrollen am Zulauf ins System und an den Düsen in der Plattform erfolgen.

### 9.3 Sauerstoffüberwachungstechnik

Eine ausreichende Überwachungs- und Regeltechnik bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Steigerung der Produktionsintensität. Das hier verwendete Überwachungssystem wird den Anforderungen der intensiven Forellenproduktion vollends gerecht. Es arbeitet robust und ist bedienerfreundlich. Schwachpunkte dieses Systems sind allerdings die Messsonden. Der Wartungsaufwand ist deutlich höher als geplant, zudem ist die Kalibrierung im Freiland nicht unproblematisch. Eine weitere Schwachstelle ist die ausschließliche Anzeige in Sättigungsprozenten, die nur in Verbindung mit der Wassertemperatur eine gewisse Aussagekraft besitzt. Entscheidend ist aber der Gehalt an gelöstem Sauerstoff im Wasser. Daneben zeigte sich, dass die Messwerte regelmäßig nicht den tatsächlichen Sauerstoffkonzentrationen im Teich entsprechen, sondern höchstens Näherungswerte wiedergeben, die im praktischen Betrieb unter Berücksichtigung entsprechender Toleranzen zwar ausreichen, für wissenschaftliche Untersuchungen aber absolut ungenügend sind. Dieses Problem ließ sich auch nicht durch einen hohen Wartungsaufwand lösen. Dennoch stellen die Dryden-Sonden aufgrund ihres geringen Anschaffungspreises ein lohnenswertes Mess- und Regelsystem für die Praxis dar. Ungenügend für wissenschaftliche Untersuchungen ist auch die Dokumentation der Messwerte. Zwar können die Sauerstoffverläufe als Grafiken am Steuerungssystem eingesehen werden, leider kann aber auf die Rohdaten nicht zurückgegriffen werden.

### 9.4 Fressfeinde

Durch den Einsatz der hier vorgestellten Technik (insbesondere Water-Jet-Plattform) konnten die Besatzdichten in den Haltungseinrichtungen im Gegensatz zu vorher deutlich erhöht werden. Wie unsere Untersuchungen gezeigt haben, wurden besonders die Haltungseinrichtungen mit hoher Besatzdichte von Fisch fressenden Tieren aufgesucht (Fey & Reiter, 2010a, 2010b). Die höhere Besatzdichte ermöglicht den Prädatoren (hier Graureiher und Fuchs) einen leichteren Beutezug. Es ist daher anzuraten, effiziente Abwehr- bzw. Abhaltemaßnahmen zu schaffen. Dazu gehören eine engmaschige Überspannung, die Installation von Elektrozäunen oder die Absenkung des Wasserspiegels auf ein für Reiher unerreichbares Niveau.

## 10 Fazit

Die bis hierhin gesammelten Erkenntnisse zum Einsatz moderner Technik zur Produktion von Forellen und ihren Nebenfischen, geben Einblicke in die Betriebsweise und Funktion einer vollautomatischen Fischfütterungsanlage, modernen Sauerstoffeintragsgeräten sowie einer Sauerstoffüberwachungsanlage unter Praxisbedingungen. Im Untersuchungszeitraum konnte dargestellt werden, welche Änderungen an einzelnen Technikelementen vorgenommen werden müssen, um diese Technik bedienungsfreundlicher und betriebswirtschaftlich effizienter einzusetzen (z. B. Reduzierung des Futtermittelabriebs). Diese Änderungen, sind z. T. standortspezifisch. Es ergeben sich jedoch wertvolle Hinweise, die grundlegend bei der Planung zur Anschaffung dieser Technikelemente zu berücksichtigen sind, um von vornherein den Einsatz der Technik zu optimieren.

Das Hauptaugenmerk des Forschungsvorhabens lag auf der betriebswirtschaftlichen Untersuchung dieser modernen Technik, deren wirtschaftlicher Einsatz stark abhängig von der betrieblichen Situation ist. Sauerstoffeintrags-, -überwachungs- und -steuerungstechnik ist durch die Produktionssteigerung und damit durch die deutlich bessere Auslastung der Produktionseinheiten in der Regel sehr wirtschaftlich. Der Einsatz vollautomati-

scher Fütterungstechnik ist erst bei hoher Produktionsintensität sinnvoll, da die Mehrkosten durch die eingesparte Arbeitszeit leicht aufgefangen werden können. Werden durch die eingesetzte Technik Verbesserungen in der Futtermittelverwertung erreicht, so erhöht sich die Wirtschaftlichkeit weiterhin. Eine höhere Anzahl von Fütterungs- bzw. Sauerstoffeintragstellen reduziert die Festkosten pro Station, wodurch eine bessere Wirtschaftlichkeit im Gesamtbetrieb erreicht wird. In jedem Fall wird durch den Einsatz von Technik eine Arbeitseinsparung pro produzierte Einheit erreicht, wodurch mehr Zeit für andere Tätigkeiten (z. B. Vermarktung) bleibt.

## 11 Veröffentlichungen und Vorträge zum Projekt

Folgende Informationen zum Projekt wurden veröffentlicht bzw. im Rahmen von Vorträgen präsentiert:

### Veröffentlichungen:

FEY, D., REITER, R. (2010): Neue Erkenntnisse über Verhalten und Abwehr Fisch fressender Tiere in Forellenteichanlagen, Teil 1: Graureiher. *Fischer & Teichwirt* 61: 128–130.

FEY, D., REITER, R. (2010): Neue Erkenntnisse über Verhalten und Abwehr Fisch fressender Tiere in Forellenteichanlagen, Teil 2: Fuchse. *Fischer & Teichwirt* 61: 173–176.

HERRMANN, J. (2011): Betriebswirtschaftliche Analyse zum Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion – Modellrechnungen am Beispiel der LfL-Versuchsteichanlage Starnberg. Bachelorarbeit an der TUM-Weihenstephan, 49 S.

REITER, R., FEY, D. (2010): Moderne Technik für die Forellenproduktion. Tag der offenen Tür des Instituts für Fischerei, 03. Juli 2010, Starnberg, Poster.

REITER, R., FEY, D. (2011): Betriebswirtschaftliche Untersuchungen zum Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion. In: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Jahresbericht 2010, Freising: 52–54.

REITER, R., FEY, D., SEHR, M., SCHNEEBERGER, H. (2011): „Water-Jet-Plattform“ – eine Möglichkeit des stromlosen Sauerstoffeintrags im Zulaufwasser von Forellenteichen. *Aquakultur und Fischereiiinformationen AUF AUF*. Heft 3: 14–17.

REITER, R., FEY, D., SEHR, M., SCHNEEBERGER, H. (2012): „Water-Jet-Plattform“ – eine Möglichkeit des stromlosen Sauerstoffeintrags im Zulaufwasser von Forellenteichen. *Fischer & Teichwirt* 63: 172–174.

Vorträge:

FEY, D. (2010): Beobachtungen zum Verlustgeschehen durch Reiher und Füchse in einer Forellenteichanlage. Fortbildungstagung für Fischhaltung und Fischzucht am 19.01.2010, LfL – Institut für Fischerei, Starnberg.

FEY, D. (2011): Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion – praktische Erfahrungen. Fortbildungstagung für Fischhaltung und Fischzucht am 18.01.2011, LfL – Institut für Fischerei, Starnberg.

FEY, D. (2011): Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion – Praxiserfahrungen. Info-Veranstaltung für Fischzüchter in NRW am 11.10.2011, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Kirchhundem-Albaum.

REITER, R. (2011): Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion – Wirtschaftlichkeit. Fortbildungstagung für Fischhaltung und Fischzucht am 18.01.2011, LfL – Institut für Fischerei, Starnberg.

REITER, R. (2011): Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion. Fachausschuss Forellenteichwirtschaft am 14.02.2011, Verband der Bayerischen Berufsfischer e. V. (VBB), Nürnberg.

REITER, R. (2011): Betriebswirtschaftliche Untersuchung zum Einsatz moderner Technik in der Forellenproduktion. Info-Veranstaltung für Fischzüchter in NRW am 11.10.2011, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Kirchhundem-Albaum.

## Literaturverzeichnis

- ALANÄRÄ, A. (1992). The effect of time-restricted demand feeding on feeding activity, growth and feed conversion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 108, 357-368.
- ALANÄRÄ, A., BRÄNNÄS, E. (1993). A test of the individual feeding activity and food size preference in rainbow trout using demand feeders. *Aquaculture International* 1, 47-54.
- ALANÄRÄ, A., BRÄNNÄS, E. (1997). Diurnal and nocturnal feeding activity in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 2894-2900.
- AUERNHAMMER, H. (1975). Eine integrierte Methode zur Arbeitsanalyse, Planzeiterstellung und Modellkalkulation landwirtschaftlicher Arbeiten, dargestellt an verschiedenen Arbeitsverfahren der Bullenmast, Dissertation, TUM-Weihenstephan.
- BAILEY, J., ALANÄRÄ, A. (2006). Mapping the demand-feeding pattern of hatchery-reared rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture* 254, 355-360.
- BAUR, W.H., RAPP, J. (2003). *Gesunde Fische. Praktische Anleitung zum Vorbeugen, Erkennen und Behandeln von Fischkrankheiten*, 2. Auflage. Parey Buchverlag, 317 S.
- BOLLIET, V., ARANDA, A., BOUJARD, T. (2001). Demand-feeding rhythm in rainbow trout and European catfish Synchronisation by photoperiod and food availability. *Physiology & Behaviour* 73, 625-633.
- BOUJARD, T., LEATHERLAND, J.F. (1992). Circadian rhythms and feeding time in fishes. *Environ. Biol. Fishes* 35, 109-131.
- BRÄNNÄS, E., ALANÄRÄ, A. (1997). Is diel dualism in feeding activity influenced by competition between individuals? *Can. J. Zool.* 75, 661-669.
- CHEN, W.-M., TABATA, M. (2002). Individual rainbow trout can learn and anticipate multiple daily feeding times. *Journal of Fish Biology* 61, 1410-1422.
- CHEN, W.-M., NARUSE, M., TABATA, M. (2002). Circadian rhythms and individual variability of self-feeding activity in groups of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* 33, 491-500.
- ERIKSSON, L.-O (1973). Spring inversion of the diel rhythm of locomotor activity in young sea-going brown trout, *Salmo trutta* L. and Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquilo Ser. Zool.* 14, 68-79.
- ERIKSSON, L.-O., ALANÄRÄ, A. (1992). Timing of feeding behavior in salmonids. In *The importance of feeding behavior for the efficient culture of salmonid fishes*. Edited by J.E. Thorpe and F.A. Huntingford. World Aquaculture Workshops 2. World Aquaculture Society, Baton Rouge, 41-48.
- FEY, D., REITER, R. (2010a). Neue Erkenntnisse über Verhalten und Abwehr fressender Tiere in Forellenteichanlagen, Teil 1: Graureiher. *Fischer & Teichwirt* 61, 128-130.

- FEY, D., REITER, R. (2010b). Neue Erkenntnisse über Verhalten und Abwehr Fisch fressender Tiere in Forellenteichanlagen, Teil 2: Füchse. *Fischer & Teichwirt* 61, 173-176.
- FORSTER, R. (2002). Methodische Grundlagen und praktische Entwicklung eines Systems zur Planung dispositiver Arbeiten in landwirtschaftlichen Unternehmen. Dissertation an der Technischen Universität München, 168 S.
- FRASER, N.H.C., METCALFE, N.B., THORPE, J.E. (1993). Temperaturedependent switch between diurnal and nocturnal foraging in salmon. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* 252, 135-139.
- FRASER, N.H.C., HEGGENES, J., METCALFE, N.B., THORPE, J.E. (1995). Low summer temperatures cause juvenile Atlantic salmon to become nocturnal. *Can. J. Zool.* 73, 446-451.
- HEGGENES, J., KROG, O.M.W., LINDÅS, O.R., DOCK, J.G. (1993). Homeostatic behavioural responses in a changing environment: brown trout (*Salmo trutta*) become nocturnal during winter. *J. Anim. Ecol.* 62, 295-308.
- HELFMAN, G.S., B.B. COLLETTE, FACEY, D.E. (1997). *The Diversity of Fishes*. Blackwell Science, Inc., Malden, Massachusetts. 507 S.
- HOAR, W.S. (1942). Diurnal variations in feeding activity of young salmon and trout. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 6, 90-101.
- HOFFMANN, R.W. (2005). *Fischkrankheiten*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 224 S.
- JAGNOW, K., HORSCHLER, S., WOLFF, D. (2002). Die neue Energiesparverordnung 2002. Kosten- und verbrauchsoptimierte Gesamtlösungen. Deutscher Wirtschaftsdienst, 587 S.
- JØRGENSEN, E.H., JOBLING, M. (1989). Patterns of food intake in Arctic charr, (*Salvelinus alpinus* L.) monitored by radiography. *Aquaculture* 81, 155-160.
- LANDLESS, P.J. (1976). Demand-feeding Behaviour of rainbow trout. *Aquaculture* 7, 11-25.
- LINNÈR, J., BRÄNNÄS, E., WIKLUND, B.-S., LUNDQVIST, H. (1990). Diel and seasonal locomotor activity patterns in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *J. Fish Biol.* 37: 675-685.
- MÜLLER, K. (1978). The flexibility of the circadian system of fish at different latitudes. In *Rhythmic activity of fishes*. Edited by J.E. Thorpe. Academic Press, London, 91-104.
- MOUTOUNET, Y. (2008). Die Jetplattform – eine einfache Lösung zur Sauerstoffanreicherung in Zuchtgewässern. *BioMar Magazin*, Mai 2008, 8-9.
- REEBS, S.G. (2003). Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12, 349-371.
- REITER, R. (2010). Lehrmaterial für die Fortbildung zum Fischwirtschaftsmeister am Institut für Fischerei, Fortbildungsblöcke Betriebswirtschaft/Rechnungswesen und Forellenteichwirtschaft/Fischereitechnik. Starnberg.
- REITER, R., FEY, D., SEHR, M., SCHNEEBERGER, H. (2011): „Water-Jet-Plattform“ – eine Möglichkeit des stromlosen Sauerstoffeintrags im Zulaufwasser von Forellenteichen. *Aquakultur und Fischereiiinformationen AUF AUF*. Heft 3: 14–17.



- RICHARDSON, M.E., MCCLEAVE, J.D. (1974). Locomotor activity rhythms of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in various light conditions. Biol. Bull. 47, 422-432.
- RÖSCH, R. (2008). Mündliche Mitteilung, Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg, Langenargen.
- SCHÄPERCLAUS, W., v. LUKOWICZ, M. (1998). Lehrbuch der Teichwirtschaft. 4. Auflage, Parey-Verlag Berlin, 590 S.
- SCHMIDT, G., WEDEKIND, H. (2011): Der Einfluss der Beleuchtung bei der Entstehung von Flossenschäden bei Forellen. AUF AUF 2: 8-12.
- WEDEKIND, H., JÄHRLING, R. (2006). Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes in der süddeutschen Forellenteichwirtschaft. Unveröffentlichter Abschlussbericht, im Auftrag des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
- WEDEKIND, H., SCHRECKENBACH, K. (2004). Grundlagen und Wirkmechanismen von Stress bei Fischen. Tierschutz in der Fischerei, Tagungsband. Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Baden-Württemberg e. V. Heft 2, 43-47.

#### **Weiterführende Literatur:**

- ALANÄRÄ, A. (1992). Demand feeding as a self-regulating feeding system for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in net-pens. Aquaculture 108, 347-356.
- BOLLIET, V., JARRY, M., BOUJARD, T. (2004). Rhythmic pattern of growth and nutrient retention in response to feeding time in the rainbow trout. Journal of Fish Biology 64, 1616-1624.
- LINNÉR, J., BRÄNNÄS, E. (2001). Growth in Arctic charr and rainbow trout fed temporally concentrated or spaced daily meals. Aquaculture International 9, 35-44.
- NOBLE, C., MIZUSAWA, K., TABATA, M. (2007). The effect of trigger depth on self-feeder utilization, growth and the vertical distribution of tank-held rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquaculture 273, 64-70.
- REITER, R., STEIN, H., PAHL, H. (1995). Ökonomische Bewertung der Verarbeitung von Regenbogenforellen. Fischer & Teichwirt 46, 164-170.
- REITER, R. (2005). Vom Frischwasser abhängig – Forellenproduktion lässt sich durch Technik aber zusätzlich steigern. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 195, Nr. 46, 28-30.
- REITER, R. (2006). Leistungs- und Qualitätseigenschaften jeweils zweier Herkünfte des Seesaiblings (*Salvelinus alpinus*) und des Bachsaiblings (*Salvelinus fontinalis*) sowie ihrer Kreuzungen. Dissertation. TUM-Weihenstephan, 194 S.
- RÖSCH, R. (1999). Belüftung und Sauerstoffversorgung in der Forellenzucht. Berichte zur Fischereiforschung Baden-Württemberg, Heft 7.
- SCHRECKENBACH, K., WEDEKIND, H. (1995). Effect of extruded fish feeds on production technology, product quality, and environment in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production. Aquaculture in Eastern European Countries, Stara Zagora, Bulgaria, 1-7.

- WEDEKIND, H., WOLF, P. (2004). Einfluss der Futterzusammensetzung und der Besatzdichte auf die Wachstumsleistung von Hybrid-Streifenbarschen in Kreislaufanlagen. *Fischerei und Fischzucht in M.-V.*, 40-43.
- WEDEKIND, H. (2005). Einfluss der Haltungstechnologie auf Qualitätsrelevante Faktoren in der Fischproduktion und -vermarktung. *Deutscher Fischerei-Verband e. V.*, Hamburg, Heft 81, 106-118.