

Emissionen der Warmwasserfischzucht

Schriftenreihe, Heft 4/2011



Untersuchungen zur Emissionsproblematik abwasserabgabepflichtiger Anlagen der Fischproduktion

Dr. Frank Rümmler, Matthias Pfeifer
Ralf Jährling, Hendrik Rank, Frank Weichler, Susan Schiewe

Supported from Structural Funds FIGG in
accordance with Council Regulation (EC)
No 2792/1999 and
European Fisheries Fund in accordance
with Council Regulation (EC) No 1198/2006



Gefördert aus Mitteln des Strukturfonds FIAF
gemäß Verordnung (EG) 2792/1999
und des
Europäischen Fischereifonds gemäß Verord-
nung (EG) 1198/2006

1	Einleitung	8
2	Aufgabenstellung	9
3	Anlage Schwarze Pumpe	10
3.1	Wasserversorgung.....	10
3.2	Anlagengestaltung und erste Aufzuchtergebnisse.....	13
3.3	Derzeitige abwasserabgaberechtliche Einstufung der Anlage Schwarze Pumpe.....	16
4	Vorgehensweise bei den Emissionsmessungen	18
5	Fischbestandsentwicklung	23
5.1	Aufzuchtperiode 2008 - 2009.....	23
5.1.1	Aufzuchtergebnisse 2008 - 2009	23
5.1.2	Haltungsbedingungen und Wasserparameter 2008 - 2009	26
5.1.3	Modellierung der Fischbestandsentwicklung 2008 - 2009	27
5.2	Produktionsperiode 2009 - 2010.....	32
5.2.1	Aufzuchtergebnisse 2009 - 2010	32
5.2.2	Haltungsbedingungen und Wasserparameter 2009 - 2010	35
5.2.3	Modellierung der Fischbestandsentwicklung 2009 - 2010	36
6	Ergebnisse der Bestimmungen der Emissionsfrachten und Entnahmeraten	41
6.1	Phosphor	41
6.1.1	Phosphor-Emissionen des Fischbestandes.....	41
6.1.2	Phosphor-Entnahme durch den Siebtrommelfilter	46
6.1.3	Phosphor-Emissionen der Gesamtanlage	52
6.2	Gelöster Phosphor - Orthophosphat	57
6.3	Stickstoff	58
6.3.1	Mineralischer Stickstoff.....	58
6.3.2	Gesamtstickstoff	64
6.4	CSB und andere Parameter der organischen Belastung	66
6.5	Abfiltrierbare Stoffe	73
6.6	Probenahmeumfang am Beispiel Gesamtphosphor	75
7	Reinigungswasseraufbereitung	77
8	Zusammenfassung der Ergebnisse und Diskussion	79
8.1	Emissionsanforderungen für Durchflussanlagen	79
8.2	Probleme bei der Emissionsbestimmung durch Messungen	79
8.3	Ursachen der großen Streuungen der gemessenen Konzentrationen und bestimmten Frachten	80
8.4	Emissionsberechnungen auf der Basis von Nährstoffemissionsbilanzen	82
8.5	Zusammengefasste Ergebnisse der Untersuchungen	83
8.5.1	Zusammengefasste Werte der Emissionen des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten	83
8.5.2	Das Problem der Streuungen der Konzentrationsmesswerte der bestimmten Frachten mit daraus abgeleiteten Konsequenzen.....	87
8.5.3	Phosphor	88
8.5.4	Stickstoff	90
8.5.5	Organische Belastung	91
8.5.6	Abfiltrierbare Stoffe	92
8.5.7	Reinigungswasseraufbereitung	92
9	Vorschlag für die abwasserabgabenrechtliche Verfahrensweise bei der Veranlagung und Überwachung von Warmwasseranlagen am Beispiel Schwarze Pumpe	93
10	Zusammenfassung	95
11	Literatur	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des verfahrenstechnischen Konzepts der Anlage Schwarze Pumpe	13
Abbildung 2: Blick auf die Anlage Schwarze Pumpe	14
Abbildung 3: Blick vom Siebtrommelfilter auf die zentrale Ablaufrinne mit den Beckenabläufen der Satzkarpfen- becken mit je 175 m ³ Volumen.....	14
Abbildung 4: Strahlenreaktor zur Sauerstoffanreicherung	14
Abbildung 5: Sauerstoffreaktor und Fütterungsanlage.....	15
Abbildung 6: Fütterungsanlage mit Turbinen zur Futterausbringung und Futtersilo.....	15
Abbildung 7: Siebtrommelfilter	15
Abbildung 8: Kreislaufleitung	16
Abbildung 9: Dreistufiges Absetzbecken zur Aufbereitung des Reinigungswassers des Siebtrommelfilters	16
Abbildung 10: Schema der für die Emissionsmessungen relevanten Wasserströme und Frachten	20
Abbildung 11: Probenahmeautomaten in der wetterabweisenden frostsicheren Umhausung	22
Abbildung 12: Mittlere tägliche Frischwasserdurchflüsse während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009 in Abhängigkeit von den Produktionstagen	24
Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Stückmasse während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009	30
Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung der Bestandsmasse während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009	30
Abbildung 15: Mittlere tägliche Frischwasserdurchflüsse während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 in Abhängigkeit von den Produktionstagen	33
Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Stückmasse während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010	40
Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Bestandmasse während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010	40
Abbildung 18: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben am Einlauf und Beckenablauf 2008 - 2009.....	42
Abbildung 19: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben am Einlauf und Beckenablauf 2009 - 2010.....	42
Abbildung 20: Absolute TP-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung der Bestandsmasse und der Futtermenge 2008 - 2009.....	43
Abbildung 21: Absolute TP-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung der Bestandsmasse und der Futtermenge 2009 - 2010.....	43
Abbildung 22: Spezifische TP-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge 2008 - 2009	44
Abbildung 23: Spezifische TP-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge 2009 - 2010	45
Abbildung 24: TP-Konzentrationen am Beckenablauf und am Anlagenablauf sowie TP-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter 2008 - 2009	47
Abbildung 25: TP-Konzentrationen am Beckenablauf und am Anlagenablauf sowie TP-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter 2009 - 2010	48
Abbildung 26: TP-Frachten am Anlagenablauf, TP-Frachten der Entnahme durch den Siebtrommelfilter und Entnahmerate in % der Fracht des Zulaufs zum Siebtrommelfilter 2008 - 2009	49
Abbildung 27: TP-Frachten am Anlagenablauf, TP-Frachten der Entnahme durch den Siebtrommelfilter und Entnahmerate in % der Fracht des Zulaufs zum Siebtrommelfilter 2009 - 2010	49
Abbildung 28: TP-Fracht-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter in Abhängigkeit von der TP-Zulauffracht.....	50
Abbildung 29: TP-Konzentrations-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter in Abhängigkeit von der TP- Zulaufkonzentration	50
Abbildung 30: Berechnete partikuläre TP-Emissionen des Fischbestandes und gemessene Entnahme durch den Siebtrommelfilter 2008 - 2009	51
Abbildung 31: Berechnete partikuläre TP-Emissionen des Fischbestandes und gemessene Entnahme durch den Siebtrommelfilter 2009 - 2010	52
Abbildung 32: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2008 - 2009.....	53
Abbildung 33: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2009 - 2010.....	54
Abbildung 34: TP-Frachten der Anlage 2008 - 2009, Entwicklung des Fischbestandes während der Produktions- periode und des berechneten Modellbestandes sowie anhand des Modellbestandes berechnete TP-Frachten für die Anlage.....	54
Abbildung 35: TP-Frachten der Anlage 2009-2010, Entwicklung des Fischbestandes während der Produktions- periode und des berechneten Modellbestandes sowie anhand des Modellbestandes berechnete TP-Frachten für die Anlage.....	55

Abbildung 36: Spezifische TP-Frachten der Anlage bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009	55
Abbildung 37: Spezifische TP-Frachten der Anlage bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010	56
Abbildung 38: Absolute Nmin-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung des Fischbestandes und der Futtermenge 2008 - 2009	60
Abbildung 39: Absolute Nmin-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung des Fischbestandes und der Futtermenge 2009 - 2010	60
Abbildung 40: Spezifische Nmin-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009	61
Abbildung 41: Spezifische Nmin-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010	61
Abbildung 42: Nmin-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2008 - 2009	62
Abbildung 43: Nmin-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2009 - 2010	63
Abbildung 44: Spezifische TN-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009	64
Abbildung 45: Spezifische TN-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010	65
Abbildung 46: Spezifische CSB-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009	67
Abbildung 47: Spezifische CSB-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010	67
Abbildung 48: CSB-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2008 - 2009	68
Abbildung 49: CSB-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2009 - 2010	68
Abbildung 50: Spezifische CSB-Frachten der Anlage bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009	70
Abbildung 51: Spezifische CSB-Frachten der Anlage bezogen auf die Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010	70
Abbildung 52: Messwerte der abfiltrierbaren Stoffe der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und -ablauf 2008 - 2009 ...	74
Abbildung 53: Messwerte der abfiltrierbaren Stoffe der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und -ablauf 2009 - 2010 ...	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche verschiedener Wasserparameter für das Absalzwasser von Oktober 2005 bis März 2006 (6 Messungen).....	11
Tabelle 2: Monatliche Wassermengen und mittlerer Durchfluss der Anlage ab 2007	12
Tabelle 3: Aufzuchtdate des ersten vollständigen Produktionszyklus 2007 - 2008 und der Aufgabenstellung.....	16
Tabelle 4: Berechnete Konzentrationsaufstockungen und behördlich festgelegte Überwachungswerte am Ablauf der Anlage	17
Tabelle 5: Aufzuchtergebnisse der K1- K2 -Aufzuchtperiode 2008 - 2009	25
Tabelle 6: Messwerte der wichtigsten Haltungparameter als Mittel der Werte der vier Becken während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009	26
Tabelle 7: Bestandsmasse, Stückzahl und weitere produktionsbiologische Daten zu den Zeitpunkten der Probewägungen 2008 - 2009	28
Tabelle 8: Fütterungstabelle für die K1 - K2-Warmwasseraufzucht	31
Tabelle 9: Aufzuchtergebnisse der K1 - K2-Aufzuchtperiode 2009 - 2010	34
Tabelle 10: Messwerte der wichtigsten Haltungparameter als Mittel der Werte der vier Becken während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010	36
Tabelle 11: Bestandsmasse, Stückzahl und weitere produktionsbiologische Daten zu den Zeitpunkten der Probewägungen 2009 - 2010	38
Tabelle 12: Empfohlene tägliche Futtermenge, 2009 - 2010 real verabreichte Futtermenge und damit erreichte Werte des Stückmassewachstums und der Futtermverwertung in Abhängigkeit von der Stückmasse	41
Tabelle 13: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen TP-Frachten des Fischbestandes	45
Tabelle 14: TP-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters beider Aufzuchtjahre	51
Tabelle 15: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Frachten der Anlage.....	56
Tabelle 16: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen PO4-P-Frachten des Fischbestandes	58
Tabelle 17: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen PO4-P-Frachten der Anlage	58
Tabelle 18: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen Nmin-Frachten des Fischbestandes.....	63
Tabelle 19: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen Nmin-Frachten der Anlage.....	63
Tabelle 20: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen TN-Frachten des Fischbestandes	65
Tabelle 21: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TN-Frachten der Anlage	66
Tabelle 22: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen CSB-Frachten der Fische.....	69
Tabelle 23: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen CSB-Frachten der Anlage.....	69
Tabelle 24: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen BSB5-Frachten der Fische.....	71
Tabelle 25: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen BSB5-Frachten der Anlage	71
Tabelle 26: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen TOC-Frachten der Fische	72
Tabelle 27: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TOC-Frachten der Anlage.....	72
Tabelle 28: Zusammengefasste Kennwerte der Frachten der Fische für die verschiedenen Parameter der organischen Belastung	73
Tabelle 29: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen AFS-Frachten der Fische	75
Tabelle 30: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen AFS-Frachten der Anlage	75
Tabelle 31: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Emissionen für die einzelnen 24 h-Mischproben sowie für zwei aufeinanderfolgende gemittelte 24 h-Mischproben 2008 - 2009	76
Tabelle 32: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Emissionen für die einzelnen 24 h-Probenahmen sowie für zwei aufeinanderfolgende gemittelte 24 h-Mischproben 2009 - 2010	76
Tabelle 33: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen futterbezogenen TP-Emissionen von sieben hintereinander entnommenen 24 h-Mischproben (28.04. - 4.05. 2010).....	76
Tabelle 34: Mediane der Konzentrationsmessungen vor und hinter dem Absetzbecken und ermittelte Entnahmeraten ..	77
Tabelle 35: Mittelwerte der Analyse von sechs Schlammproben vom 30.04. und 5.05.2010.....	78
Tabelle 36: Zusammenfassung der Maßnahmen und Verfahrensweisen für Durchflussanlagen der „Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung“ (LAWA 2003).....	80
Tabelle 37: Zusammenfassung der futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters 2008 - 2009.....	84

Tabelle 38: Zusammenfassung der futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters 2009 - 2010.....	85
Tabelle 39: Zusammenfassung der futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters ab 01.01.2010.....	86
Tabelle 40: Gegenüberstellung der Mediane der gemessenen und der berechneten futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage	87
Tabelle 41: Verhältnisse der einzelnen Parameter der organischen Belastung zueinander	92
Tabelle 42: Berechnung der Schadeinheiten zur Veranlagung zur Abwasserabgabe am Beispiel der Anlage Schwarze Pumpe ab 2007	94

1 Einleitung

Für die Binnenfischerei Sachsens hat die Karpfenteichwirtschaft eine herausragende Bedeutung. Durch die Einwirkung des Kormorans wird eine zuverlässige und ökonomische Erzeugung von Satzkarpfen in Teichen zunehmend in Frage gestellt. Die bisher erprobten bzw. angewandten aktiven und passiven Gegenmaßnahmen auf den Teichen ermöglichen keine oder nur eine begrenzte Lösung des Problems.

Der andere, aussichtsreichere Weg besteht darin, die Erzeugung von Satzkarpfen in abgeschirmten, intensiv betriebenen Anlagen vorzunehmen. Dabei kommt es darauf an, aus einsömmrigen Satzkarpfen (K_1) „kormoranfeste“ zweisömmrige Satzkarpfen (K_2) zu erzeugen. Neben Zielstückmassen der K_2 von 500 g, besser 600 g, ist auch eine gute Sortierung mit möglichst wenigen untermaßigen Fischen von Bedeutung. Satzkarpfen mit einer Stückmasse bis zu 600 g und auch noch darüber können zusätzlich zu den unmittelbaren Fraßschäden auch erhebliche Verletzungen und Stressbelastungen durch den Kormoran erleiden. Diese ziehen Konditionsmängel und Erkrankungen nach sich und gefährden die Überwinterung sowie das weitere Überleben der Fische im Folgejahr in hohem Maße (SCHRECKENBACH et al. 1998, SCHRECKENBACH 2000).

Für die K_1 - K_2 -Aufzucht während des Sommers, d. h. unter Beibehaltung des herkömmlichen dreisömmrigen Produktionszyklus (FÜLLNER et al. 2006) kann zukünftig auch die Teich-in-Teich-Technologie eingesetzt werden, die sich gegenwärtig noch in der Entwicklungsphase befindet (RÜMLER et al. 2007, RÜMLER et al. 2010a, b).

Die K_1 - K_2 -Aufzucht während des Winterhalbjahres im Warmwasser ermöglicht neben dem Schutz vor dem Kormoran eine Reihe weiterer produktionstechnologischer Vorteile. Gegenüber der durchgängigen Teichbewirtschaftung führt die Karpfenproduktion unter Nutzung der K_1 - K_2 -Aufzucht im Winterhalbjahr zu einer Verkürzung des Produktionszyklus um ein Jahr. Die hohen K_1 -Überwinterungsverluste werden vermieden und durch die Bereitstellung gut konditionierter schwerer K_2 werden die Voraussetzungen für eine verlustarme Erzeugung starker Speisekarpfen geschaffen. Da die Karpfenerträge unter den klimatischen Verhältnissen Mitteleuropas in starkem Maße von den Witterungsverhältnissen abhängig sind und dadurch erhebliche jährliche Schwankungen aufweisen, kann die K_1 - K_2 -Warmwasserproduktion ein wesentliches stabilisierendes Kettenglied des dreistufigen Produktionszyklus bilden.

Diese Vorteile wurden bereits im Zeitraum Ende der 1960er-Jahre bis kurz nach der politischen Wende 1989 in den Warmwasseranlagen der DDR genutzt (SÄUBERLICH 1972, STEFFENS 1981, SOBOTA 1984, BREUNINGER 1984, AUERBACH 1984, FRITZSCHE 1984, SCHRECKENBACH et al. 1987). Der Hauptanteil des Aufkommens wurde damals in vier großen Rinne- bzw. Beckenanlagen erzeugt, die das von Braunkohlekraftwerken abgegebene Warmwasser nutzten. Zur weitgehenden Ausnutzung der verfügbaren Warmwassermengen arbeiteten diese Anlagen im offenen Kreislauf mit herkömmlicher Belüftung (STEFFENS 1981, SCHRECKENBACH et al. 1987).

Eine Weiterentwicklung dieses Verfahrens stellte die erste Versuchsanlage mit Sauerstoffbegasung und Rundbecken dar. Durch die Schaffung optimaler Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Sättigungswertes der Luft konnten hier wesentliche Verbesserungen der Aufzuchtergebnisse erreicht werden: Verlustsenkung um 62 %, Verbesserung der Futtermittelverwertung um 15 %, Senkung des Frischwassereinsatzes um 40 % sowie Steigerung des Stückmassewachstums um 11 % und des Bestandsmassewachstums um 34 % (RÜMLER & PFEIFER 1987, 1991).

Gegenwärtig gibt es zwei Anlagen zur K_1 - K_2 -Warmwasserproduktion während des Winterhalbjahres. Im Braunkohlekraftwerk Jänschwalde wurde 1998 eine Anlage mit Rundbecken und Sauerstoffbegasung neu errichtet, die direkt im Kühlkreislauf des Kraftwerkes mit einem Bruchteil der dort vorhandenen großen Wassermengen arbeitet (BLUME 1998, RÜMLER 2003). Im Jahr 2008 wurden hier neben anderen Fischarten 120 t Satzkarpfen produziert (BRÄMICK 2009). Im Durchschnitt ergeben sich folgende Produktionskennziffern: Abfischungsstückmasse ca. 400 g, Verluste 5 - 10 %, Futtermittelverwertung 1,3 - 1,7 kg Futter/kg Zuwachs und Endbestandsdichte ca. 120 kg/m³ (mündl. Mitteilung MICHAELIS).

Durch die Verfügbarkeit von geeignetem Warmwasser an den Braunkohlekraftwerken Schwarze Pumpe und Boxberg trat die K_1 - K_2 -Warmwasserproduktion im offenen Kreislauf auch in Sachsen wieder auf die Tagesordnung. An beiden

Standorten kann das Absalzwasser aus dem Kühlkreislauf der Kraftwerke genutzt werden. Während am Kraftwerk Schwarze Pumpe 2006 eine neue Anlage errichtet wurde und in Betrieb gegangen ist, sind die Planungen für den Ausbau der Anlage Boxberg 2009 vorerst unterbrochen worden.

Ein Nachteil dieser Produktionsform besteht jedoch in der Abhängigkeit der Wassermenge, der Wassertemperatur und der Wasserqualitätsparameter für die Fischproduktion von der Fahrweise des Kraftwerks. Die Satzkarpfenaufzucht ist nach den bisherigen Erfahrungen unter diesen Bedingungen mit guten Ergebnissen möglich, obwohl die wasserchemischen Parameter nicht immer als optimal eingestuft werden können.

Daneben stellt das Ablaufwasser der Fischproduktion bei der Nutzung von Warmwasser aus Kraftwerken oder anderen Industriebetrieben Abwasser im abwasserabgaberechtlichen Sinne dar, für dessen Einleitung Abwasserabgabe zu entrichten ist.

Die Nutzung geschlossener Kreislaufanlagen ist trotz der guten Voraussetzungen für die weitgehende Optimierung der Haltungsbedingungen kein realisierbares Verfahren zur kormorangeschützten $K_1 - K_2$ -Warmwasserproduktion während des Winterhalbjahres. Insbesondere die damit verbundenen Kosten sind dafür verantwortlich (s. RÜMMLER et al. 2006).

2 Aufgabenstellung

Generell steht vor den Fischzuchtbetrieben die Aufgabe, die Belastungen der Umwelt durch die Emissionen der Fischaufzucht zu begrenzen bzw. zu reduzieren. In Durchflusssanlagen der Fischproduktion liegen die Möglichkeiten dazu vorrangig im Einsatz phosphorreduzierter Hochenergiefuttermittel, die einen hohen Grad der Futtermittelverwertung ermöglichen, sowie im Einsatz von Verfahren zur Ablaufwasserreinigung und der Aufbereitung des Reinigungswassers.

Konkrete behördliche Anforderungen für Warmwasser-Durchflusssanlagen bilden in dieser Hinsicht die Abwasserabgabe nach im Abwasserabgabengesetz (AbwAG) zusammen mit den wirtschaftszweigspezifischen Emissionsanforderungen sowie den wasserrechtlichen Festlegungen und Auflagen, die die Wasserbehörden nach dem Immissionsprinzip zur Sicherung der angestrebten Gewässergüteklassen bzw. des guten ökologischen Zustandes oder Potenzials des genutzten Gewässers treffen können. Die wirtschaftszweigspezifischen Emissionsanforderungen sind in den „Hinweisen zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung“ (LAWA 2003) dargestellt (im Folgenden „Hinweise“ genannt).

Bei der $K_1 - K_2$ -Warmwasseraufzucht in Durchflusssanlagen müssen die begrenzten Warmwassermengen durch den Betrieb im offenen Kreislauf weitgehend ausgenutzt werden, um eine betriebswirtschaftlich akzeptable Produktionshöhe zu erreichen. Es sollte dabei mit einem minimalen spezifischen Frischwassereinsatz bei Endbestand von $5 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{h}$ gearbeitet werden. Die Realisierbarkeit dieses geringen Frischwassereinsatzes unter den Bedingungen optimaler Sauerstoffkonzentrationen wurde bereits mit den schlechteren Futtermitteln, die vor 1990 verfügbar waren, erbracht (RÜMMLER & PFEIFER 1991).

Durch den geringen spezifischen Frischwassereinsatz treten Konzentrationsaufstockungen der abwasserabgaberechtlich relevanten Parameter Phosphor, Stickstoff und chemischer Sauerstoffbedarf CSB auf, die zumindest zum Teil über den Schwellenkonzentrationen nach dem AbwAG liegen können.

Mit Hilfe einer Anschlussreinigung des Ablaufwassers z. B. durch einen Siebtrommelfilter lässt sich ein Teil der Emissionen der Fische wieder entfernen. Dadurch werden auch die Konzentrationen der abwasserabgaberelevanten Parameter reduziert. Zusätzlich müssen das Reinigungswasser des Siebtrommelfilters aufbereitet und der Restschlamm nach dem Absetzen entsorgt werden.

Repräsentative Frachtwerte der Emissionen der Fische bei der $K_1 - K_2$ -Warmwasserproduktion sowie Angaben zur Reinigungsleistung von Siebtrommelfiltern bei dieser Form der Fischzucht lagen zu Beginn des Projektes noch nicht vor.

Es existierten damit keine Grundlagen, um die für die Ermittlung der Schadstofffrachten nach dem Abwasserabgabegesetz maßgebenden Überwachungswerte gegenüber den Wasserbehörden mit der erforderlichen Sicherheit zu erklären bzw. diese durch die Wasserbehörden festzulegen. Dasselbe gilt für die wasserrechtliche Festlegung der Einleitungswerte bzw. die Einhaltung der Emissionshöchstwerte der Anlage.

Für Betreiber derartiger Anlagen beinhaltet das große Unsicherheiten, zu welchen Ergebnissen und Aufwendungen die Veranlagung zur Abwasserabgabe und die damit verbundene wasserrechtliche und abgaberechtliche Überwachung führen würden. Vor diesem Hintergrund hatte das bearbeitete Projekt folgende konkrete Aufgabenstellung:

- Ermittlung repräsentativer Frachtwerte der Emissionen der Fische bei der Satzkarpfen-Warmwasseraufzucht ($K_1 - K_2$) in offenen Kreislaufanlagen ohne biologische Reinigung unter Berücksichtigung der produktionstechnologischen Parameter. Die Untersuchungen wurden in der Anlage Schwarze Pumpe nach entsprechender Abstimmung mit dem Betreiber durchgeführt
- Ermittlung der Reinigungseffektivität des Siebtrommelfilters unter diesen Bedingungen
- Erfassung der Frachten des Reinigungswassers des Siebtrommelfilters und der Wirkungsweise der anschließenden Reinigungswasseraufbereitung durch Sedimentation
- Modellierung der Entwicklung der verschiedenen Emissionsparameter im Verlauf des Fischproduktionszyklus und Bewertung ihrer abwasserabgaberechtlichen Relevanz für das Verfahren der Warmwasserfischzucht im offenen Kreislauf
- Vergleich der Streuungen und Sinnfälligkeit der Werte bei der Entnahme von Mischproben mit unterschiedlicher Beprobungsdauer
- Bewertung der Realisierbarkeit der vorgegebenen maximalen Frachtwerte der „Hinweise“ und Erarbeitung gegebenenfalls erforderlicher Anpassungen bei der Technologie der Satzkarpfenaufzucht oder technischer Maßnahmen zur Emissionsverringering
- Erarbeitung von Vorgehensweisen zur Veranlagung derartiger Anlagen zur Abwasserabgabe in einer Höhe, die die tatsächlich auftretenden Emissionen widerspiegeln sowie zur wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Überwachung

3 Anlage Schwarze Pumpe

3.1 Wasserversorgung

Am Standort Schwarze Pumpe wird Absalzwasser aus dem Kühlkreislauf des Kraftwerks zur Fischproduktion genutzt. Es handelt sich dabei um das Wasser, das zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Ionenkonzentration (Eindickung) aus dem Kühlkreislauf abgegeben wird. Die Eindickung entsteht durch die Verdunstungsverluste bei der Verrieselung des Kühlkreislaufwassers in den Kühltürmen.

In Tab. 1 sind Messwerte verschiedener Wasserparameter des Zulaufwassers, die während der Planungsphase ermittelt wurden, angegeben (RÜMMLER & SCHIEWE 2006a).

Für den Kühlkreislauf wird Grubenwasser des Braunkohletagebaus genutzt. Darauf weisen insbesondere die hohen Sulfatkonzentrationen hin. Die relativ hohen Härte- und Leitfähigkeitswerte der Grubenwässer werden durch die Eindickung der Wasserinhaltsstoffe im Kühlkreislauf weiter gesteigert. Die relativ hohen pH-Werte sind Folge der Kalkmilch- und Flockungsmittelzugabe zur Eisenausflockung bei der Wasseraufbereitung. Zusätzlich werden dem Kühlkreislaufwasser Konditionierungsmittel zur Härtestabilisierung, Dispergierung und zum Korrosionsschutz sowie zur Beseitigung von Algen und Mikroorganismen zugesetzt.

Die in Tab. 1 aufgeführten Wasserwerte ergeben einzeln keine Einschränkungen für das Leben und das Wachstum von Fischen (s. a. SVOBODOVA et al. 1993). Durchgeführte Vorversuche 2004 und die bisherigen Aufzuchtergebnisse seit

2007 zeigen, dass die Wasserqualität für die Durchführung der Aufzucht von Satzkarpfen sowie weiterer Arten wie z. B. Störe geeignet ist. Zusätzlich kommt es zu Veränderungen der Wasserqualität beim Durchlaufen der Fischzuchtanlage infolge der Stoffwechselfähigkeit der Fische. Diese Veränderungen können zur Verschlechterung, aber auch zur Verbesserung bestimmter Wasserparameter für die Fische beitragen (s. Kapitel 5.).

Tabelle 1: Bereiche verschiedener Wasserparameter für das Absalzwasser von Oktober 2005 bis März 2006 (6 Messungen)

Parameter	Maßeinheit	Bereich
pH		8,51 - 8,64
spezifische elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	1.992 - 2.170
m-Wert	mmol/l	4,26 - 5,50
TP	mg/l	0,14 - 0,23
GH	°dH	68 - 74
Ca	mg/l	376 - 407
Mg	mg/l	63 - 74
K	mg/l	14,0 - 15,6
Na	mg/l	33 - 36
NH ₄	mg/l	0,02 - 0,04
NH ₃	mg/l	0,003 - 0,004
Cl	mg/l	60 - 72
SO ₄	mg/l	924 - 1062
NO ₃	mg/l	9,8 - 12,3
NO ₂	mg/l	0,01 - 0,02

In der Planungsphase der Fischzuchtanlage wurden mögliche Zuflusswassermengen aus dem Kraftwerk von 400 - 700 m³/h angegeben (RÜMMLER & SCHIEWE 2006a). In den bisherigen Betriebsphasen standen aber geringere Wassermengen zur Verfügung. Die Mittel der Aufzuchtperioden 2008 - 2009 und 2009 - 2010 lagen nur noch bei 452 und 423 m³/h (Tab. 2).

Die Ursache liegt vor allem darin, dass die Grundlastkraftwerke zur Regelung von Schwankungen der Windstromspeisung als Mittellastkraftwerke wirksam werden und zeitweise Kraftwerksblöcke abgeschaltet werden müssen. Das betrifft auch das Kraftwerk Schwarze Pumpe. Häufig kommt es dadurch zu sehr kurzfristigen Reduzierungen der Wassermenge für die Fischzuchtanlage. Zusätzlich wird diskontinuierlich ein Teil des Absalzwassers im Kraftwerk zur Anfeuchtung der Kraftwerksasche bei der Verladung benötigt.

Tabelle 2: Monatliche Wassermengen und mittlerer Durchfluss der Anlage ab 2007

Monat	Wassermenge (m³)	mittlerer Durchfluss (m³/h)	mittlerer Durchfluss der Aufzuchtperioden (m³/h)
Aufzuchtperiode 2007 - 2008			
Oktober	229.296	308	483,6 (ab 1.01.2008)
November	230.480	320	
Dezember	132.192	178	
Januar	339.563	456	
Februar	350.559	522	
März	249.997	336	
April	423.882	589	
Mai	203.018	564	
Aufzuchtperiode 2008 - 2009			
Oktober	166.375	231	452
November	324.737	451	
Dezember	330.462	444	
Januar	337.698	454	
Februar	279.972	417	
März	313.213	421	
April	364.684	507	
Mai	332.964	448	
Aufzuchtperiode 2009 - 2010			
Oktober	165.553	223	423
November	334.490	465	
Dezember	294.008	395	
Januar	306.259	412	
Februar	301.638	449	
März	346.147	465	
April	364.036	506	
Mai	293.887	490	

Die Temperatur im Kühlkreislauf des Kraftwerks und damit auch des Absalzwassers liegt, bedingt durch die Kühlzonenbreite der Rückkühlanlage, ca. 10 °C über der Temperatur des Oberflächenwassers. Als optimal für die Satzkarpfenaufzucht wird ein Temperaturbereich von 23 - 28 °C angesehen (SCHRECKENBACH et al. 1987).

Im vorliegenden Fall werden die Anteile des Absalzwassers vor und nach den Kühltürmen über ein Dreiwegeventil so gemischt, dass die optimale Temperatur für die Fischaufzucht eingehalten wird (Abb. 1).

Neben der Einstellung der optimalen Temperatur während der Aufzuchtphase muss die Steuerung des Temperaturregimes auch die notwendigen Adaptionsvorgänge bei Besatz und Abfischung des Fischbestandes ermöglichen (SCHRECKENBACH et al. 1987). Da am Anlagenstandort Schwarze Pumpe kein Kaltwasser verfügbar ist und das vom Kraftwerk zufließende Wasser im Frühjahr und Herbst nicht unter 20 °C eingestellt werden kann, müssen der Besatz- und Abfischungszeitpunkt so gewählt werden, dass die Temperaturdifferenz zwischen Teich und Anlage möglichst gering ist. Es kommen dadurch Besatztermine im September bzw. Anfang Oktober und Abfischungstermine ab Mitte Mai in Frage.

In den Sommermonaten steigt die Temperatur hinter den Kühltürmen überwiegend auf Werte zwischen 25 - 28 °C. Gelegentlich werden mehr als 30 °C erreicht, sodass die Nutzungsmöglichkeiten der Anlage während dieser Zeit begrenzt sind.

3.2 Anlagengestaltung und erste Aufzuchtergebnisse

Im Jahr 2007 wurde die neu errichtete Fischzuchtanlage am Kraftwerk Schwarze Pumpe in Betrieb genommen. Die Auslegung der Anlage erfolgte für den unter 2. angegebenen minimalen spezifischen Frischwassereinsatz bei Endbestand von $5 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$ (RÜMMLER & PFEIFER 1991).

Durch den anliegenden Druck in der Zulaufwasserleitung wurde in Schwarze Pumpe eine neue verfahrenstechnische Gestaltung mit der Sauerstoffbegasung im Zulauf des temperierten Mischwassers realisiert. Unter dieser Voraussetzung sind bei Endbestandsdichten von ca. $100 \text{ kg}/\text{m}^3$ und darüber Sauerstoffkonzentrationen im Zulauf zu den Fischbecken von ca. $80 \text{ mg}/\text{l}$ notwendig. Die sich dabei ergebenden Wasserwechselraten in den Becken liegen weit unter $1,0 \text{ h}^{-1}$. Die Folge sind große Schwankungen der Sauerstoffkonzentration trotz automatischer Regelung der Sauerstoffzufuhr (s. RÜMMLER 2003). Der Ausweg, der erstmals in der Anlage Schwarze Pumpe konzipiert wurde, besteht in einem Kreislauf mit mechanischer Reinigung, aber ohne weitere Beeinflussung der Wasserparameter.

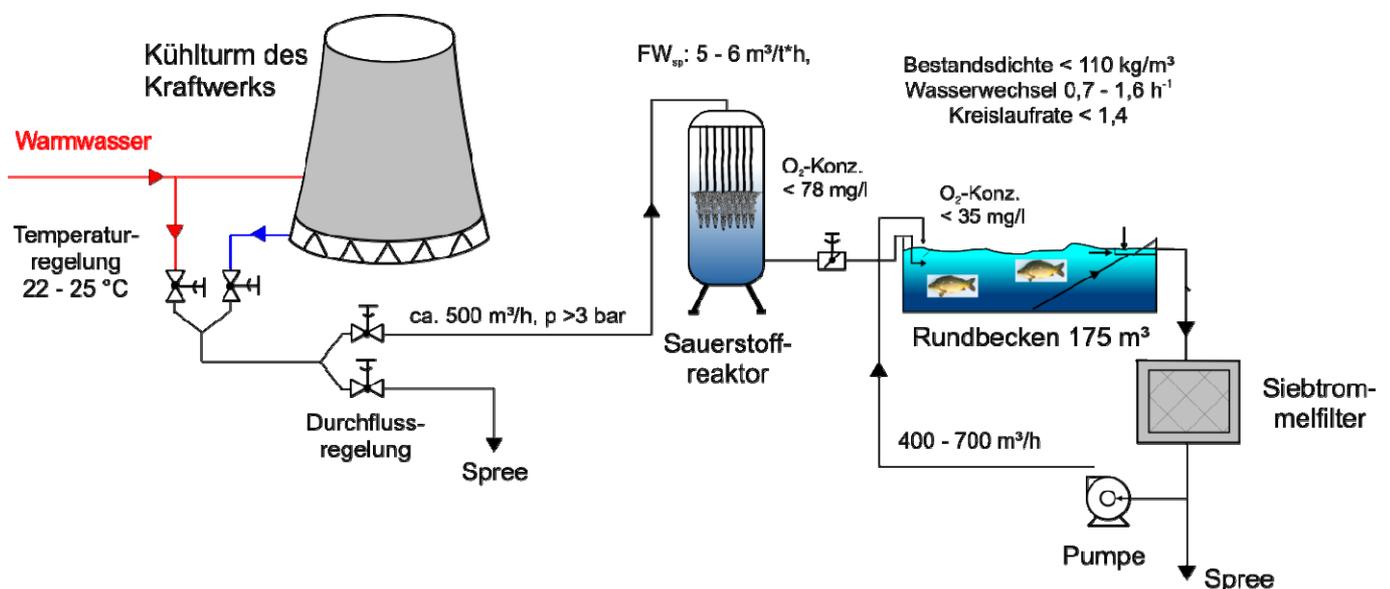


Abbildung 1: Schema des verfahrenstechnischen Konzepts der Anlage Schwarze Pumpe

Dieses Konzept und die entsprechende anlagentechnische Gestaltung sind in Abb. 1 sowie ausführlich in den Aufgabenstellungen für die Anlage Schwarze Pumpe (RÜMMLER & SCHIEWE 2006a, 2006b) dargestellt. Abb. 2 bis 9 zeigen die Anlage bzw. verschiedene Anlagenteile.

Mit dem verfügbaren Mischwasser aus dem Kraftwerk von mindestens $400 \text{ m}^3/\text{h}$ als Frischwasser soll eine Abfischungsmasse von ca. 80 t Satzkarpfen K_2 erreicht werden. Als Fischhaltungseinrichtungen wurden vier 175 m^3 -Rundbecken eingesetzt. Die Sauerstoffversorgung erfolgt durch O_2 -Hochanreicherung mittels Strahlenreaktoren im Wasserzulauf zu den Becken. Der dazu erforderliche Druck von über 2 bar liegt in der Zulaufleitung an.

Als Orientierungswert zum weitgehend vollständigen Austrag des Kots der Fische aus den Becken und zur Begrenzung der O_2 -Konzentrationsschwankungen bei automatischer O_2 -Eintragsregelung werden Wasserwechselraten in den Becken von mindestens $1,5 \text{ h}^{-1}$ angegeben (RÜMMLER 2003). Zumindest für die sehr großen Fischhaltungseinrichtungen mit der speziellen Auslaufgestaltung der Cornell-Becken kann auch bei geringeren Wasserwechselraten ein ausreichender Austrag des Kots der Fische erreicht werden. Die steigenden O_2 -Konzentrationsschwankungen bei Wasserwechselraten unter $1,5 \text{ h}^{-1}$ können durch die Einstellung von O_2 -Werten im Übersättigungsbereich in ihrer Wirkung auf die Fische begrenzt werden. Zur Gewährleistung eines Wasserwechsels von mindestens $1,5 \text{ h}^{-1}$ wird im vorliegenden Fall ein zusätzlicher Kreislauf durch ferngesteuertes oder automatisch geregeltes Rückpumpen von $400 - 700 \text{ m}^3/\text{h}$ Wasser realisiert. Weiterhin sind vier kleinere Becken mit je 12 m^3 Volumen zur Aufzucht von Stören oder anderen Fischarten vorhanden.

Das Ablaufwasser durchläuft zur Entfernung von Kot- und Schlammresten einen Siebtrommelfilter mit 60 µm Maschenweite. Die Entnahme des Kreislaufwassers erfolgt nach dem Filter.

Das Filterreinigungswasser gelangt in ein dreistufiges Absetzbecken. Nach der weitgehenden Entfernung der Feststoffe wird das Auslaufwasser des Absetzbeckens zurück in die Ablaufrinne der Becken geführt. Die Aufzuchtarten der ersten vollständigen Produktionsperiode 2007 - 2008 sind in Tab. 3 zusammengefasst. In dieser Tabelle wurden gleichzeitig auch die Produktionskennwerte der Aufgabenstellung aufgeführt (RÜMMLER & SCHIEWE 2006a).

Aufgrund der geringeren Besatzstückmasse von ca. 23 g ergaben sich 2007 - 2008 im Vergleich zum Modellfischbestand der Aufgabenstellung auch andere Werte der Abfischungsstückmasse und der Endbestandsdichte. Das Stückmassewachstum kommt dem geplanten Wert bereits nahe. Die Höhe der Verluste dürfte ihre Ursache auch in den Ungenauigkeiten der Probewägungen beim Besatz und der Abfischung gehabt haben, da die Anzahl der während der Aufzuchtperiode abgesammelten toten Tiere sehr gering war. Unbefriedigend ist vor allem die Futtermittelverwertung.



Abbildung 2: Blick auf die Anlage Schwarze Pumpe (Foto Sieg)



Abbildung 3: Blick vom Siebtrommelfilter auf die zentrale Ablaufrinne mit den Beckenabläufen der Satzkarpfenbecken mit je 175 m³ Volumen



Abbildung 4: Strahlenreaktor zur Sauerstoffanreicherung



Abbildung 5: Sauerstoffreaktor und Fütterungsanlage



Abbildung 6: Fütterungsanlage mit Turbinen zur Futterausbringung und Futtersilo



Abbildung 7: Siebtrommelfilter



Abbildung 8: Kreislaufleitung



Abbildung 9: Dreistufiges Absetzbecken zur Aufbereitung des Reinigungswassers des Siebtrommelfilters

Tabelle 3: Aufzuchtdate des ersten vollständigen Produktionszyklus 2007 - 2008 und der Aufgabenstellung

Parameter	2007 - 2008	Aufgabenstellung
Besatz 1.10.07		
Besatzmasse (kg)	4.570	7.314
Stück	200.500	183.529
Stückmasse (g)	22,8	40
Abfischung 15.05.08		
Abfischungsmasse (kg)	60.350	78.000
Stück	159.900	156.000
Stückmasse (g)	377,4	500
Produktionskennwerte		
Zuwachs (kg)	55.780	70.660
Stückverluste (%)	20,2	15
Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)	1,95	1,25
Futtermenge (kg)	108.771	88.300
Produktionsdauer (d):	226	220
mittlerer Stückmassezuwachs (%/d)	1,24	1,20

3.3 Derzeitige abwasserabgaberechtliche Einstufung der Anlage Schwarze Pumpe

Im Rahmen der erstmaligen Veranlagung zur Abwasserabgabe hat der Einleiter gegenüber der Behörde zu erklären, welche Überwachungswerte er für die Schadstoffparameter nach dem AbwAG einhalten wird und welche Jahresschmutzwassermenge auftritt. Im weiteren Verlauf stellt die zuständige Wasserbehörde einen die Abwassereinleitung zulassenden Wasserrechtsbescheid mit festgelegten Überwachungswerten und festgelegter Jahresschmutzwassermenge aus.

Für die Fischproduktion kann eine modellhafte Ermittlung der Konzentrationswerte am Anlagenauslauf nur auf der Basis von Berechnungen der Emissionen der Fische bzw. der Nutzung bekannter spezifischer Emissionswerte in Abhängigkeit von der Bestandsmasse bzw. der Futtermenge erfolgen. Weiterhin sind dabei messtechnisch bestimmte Entnahmeraten der betrachteten Stoffkomponenten durch die Ablaufwasserreinigung bzw. durch Reinigungsarbeiten zu berücksichtigen.

Die prinzipiell abwasserabgaberelevanten Parameter für Fischzuchtanlagen sind Phosphor, mineralischer Stickstoff Nmin und chemischer Sauerstoffbedarf CSB. Die Schwellenwerte gemäß AbwAG liegen bei 0,1 mg/l P, 5 mg/l Nmin und 20 mg/l CSB.

Erfolgt ein Abzug der Vorbelastung des zufließenden Wassers, so wird bei Überschreitung der Schwellenwerte durch den Betrieb der Fischzuchtanlage eine Veranlagung zur Abwasserabgabe vorgenommen. Diese erfolgt entsprechend der erzeugten Schadstofffrachten, die für den festgelegten Zeitraum durch Multiplikation des Überwachungswertes mit der Schmutzwassermenge berechnet werden.

Der wasserrechtliche Überwachungswert setzt sich in diesem Fall aus der maximalen Konzentration des zufließenden Wassers (Vorbelastung) und der maximalen Konzentrationsaufstockung durch die Anlage zusammen. Bei festgestellten Überschreitungen der erklärten bzw. im Bescheid festgelegten Überwachungswerte werden diese und damit die Abwasserabgabe erhöht und gegebenenfalls ordnungsrechtliche Maßnahmen eingeleitet. Zur genauen Vorgehensweise bei der Berechnung und Erhebung der Abwasserabgabe sei auf das Abwasserabgabengesetz sowie beispielhaft auf LfU Baden-Württemberg (2005) verwiesen.

Bei der Einhaltung des Standes der Technik zur Begrenzung der Emissionen ist eine Halbierung der Abwasserabgabe möglich. Den Stand der Technik für Anlagen und Verfahren der Fischzucht geben die „Hinweise“ an. Für Warmwasseranlagen im offenen Kreislauf werden dazu in erster Linie der Einsatz energiereicher und phosphorarmer Futtermittel und der Betrieb einer Ablaufwasserreinigung gefordert. Diese Voraussetzungen werden in der Anlage Schwarze Pumpe durch die eingesetzten Karpfenaufzucht-Futtermittel und den installierten Siebtrommelfilter erfüllt.

Die Berechnungen zur Erklärung der Überwachungswerte erfolgten im Rahmen der Planung und Inbetriebnahme der Anlage Schwarze Pumpe auf der Basis von spezifischen Emissionswerten und Bilanzierungen der Frachten, die für die Forellenproduktion gebräuchlich sind (RÜMLER & SCHIEWE 2006a). In Tab. 4 sind die berechneten Konzentrationsaufstockungen und die von der Wasserbehörde vorläufig festgesetzten Überwachungswerte zusammengefasst. Die Werte gelten für die Überwachung auf der Basis von 24 h-Mischproben.

Diese Berechnungen wurden für Phosphor und Stickstoff nach Gl. 14 - 16 (s. 6.1.1) und Gl. 20 (s. 6.3.1) durchgeführt. Für die Abschätzung der CSB-Emissionen können nur experimentell ermittelte spezifische Frachtwerte herangezogen werden. Weiterhin wurde vom Anfang der Produktionsperiode bis zum 1.4. des Folgejahres von einem mittleren Wasserdurchfluss von 450 m³/h und danach von 500 m³/h ausgegangen. Die Berechnungen haben gezeigt, dass bei Abzug der Vorbelastung eine Überschreitung der Schwellenwerte nach dem AbwAG regelmäßig nur beim Phosphor vorkommen dürfte. Für die Phosphorentnahme durch den Siebtrommelfilter wurde ein geschätzter Wert von 40 % zugrunde gelegt.

Die berechneten Gesamtstickstoffkonzentrationen lagen bereits ohne Berücksichtigung der Ablaufwasserreinigung unter dem Schwellenwert für den mineralischen Stickstoff. Die berechneten CSB-Werte unterschritten den Schwellenwert nach dem AbwAG ebenfalls während der gesamten Produktionsperiode. Hier wurden eine spezifische CSB-Fracht der Fische von 250 g/kg Zuwachs und eine CSB-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter von 20 % zugrunde gelegt.

Um die für die Berechnung der Abwasserabgabe zugrunde zulegenden Schadstofffrachten möglichst genau mit den im Aufzuchtverlauf steigenden Phosphoremissionen in Übereinstimmung zu bringen, wurden die Frachten und Überwachungswerte für verschiedene Zeiträume, die unterschiedliche Fischbestandsmassen kennzeichnen, berechnet. In Tab. 4 sind die einzelnen Perioden und die zugehörigen aufgerundeten Konzentrationswerte angegeben.

Tabelle 4: Berechnete Konzentrationsaufstockungen und behördlich festgelegte Überwachungswerte am Ablauf der Anlage

	1.1. - 28.2.	1.3. - 31.3.	1.4. - 15.5.	16.05.- 31.08	1.9. - 30.11.	1.12. - 31.12.
berechnete Konzentrationsaufstockung (mg/l):						
TP	0,2	0,25	0,35	0	0,091	0,12
TN	2,5	3,0	4,0	0	1,5	2,0
CSB	12,0	15,0	20,0	0	6,0	8,0
behördlich festgelegte Überwachungswerte am Ablauf der Anlage (Konzentrationsaufstockung + Vorbelastung) (mg/l):						
TP	0,55		0,65	0	0,45	
Nmin	6,5		7,5	0	5,5	
CSB	35,0		40,0	0	28,0	

Der berechnete Mittelwert der TP-Konzentrationsaufstockung einer Aufzuchtperiode liegt bei 0,2 mg/l, der für die CSB-Konzentrationsaufstockung bei 5,9 mg/l.

Eine Veranlagung zur Abwasserabgabe, die nicht den realen Schadstofffrachten entspricht, ist bei der durch das AbwAG vorgegebenen Verfahrensweise für Fischzuchtanlagen nicht auszuschließen. Die bereits aus Forellenanlagen bekannten großen Streuungen der gemessenen Konzentrationswerte (RÜMMLER et al. 2007, RÜMMLER 2010 u. 2011) können durch die stichprobenartigen Messungen bei der Überwachung leicht zu unrealistisch hohen Werten der Abwasserabgabe sowie zu ordnungsrechtlichen Konsequenzen für den Betreiber führen. Dadurch kann der Betrieb derartiger Anlagen gefährdet werden.

Die Anlage Schwarze Pumpe ist nach Außerkraftsetzung des Anhangs 29 der Abwasserverordnung (AbwV) die erste Anlage der Fischproduktion im offenen Kreislauf, bei der eine abwasserabgaberechtliche Einstufung vorzunehmen ist. Aufgrund des Fehlens repräsentativer Frachtwerte der Emissionen bei der K₁ - K₂-Warmwasseraufzucht sowie entsprechender Angaben zur Reinigungseffektivität von Siebtrommelfiltern waren noch keine Grundlagen vorhanden, um gesicherte wasserrechtliche und abgaberechtliche Überwachungswerte festzulegen und einen längerfristig gültigen wasserrechtlichen Bescheid zu erteilen.

Die Ermittlung repräsentativer Frachten der Emissionen der Fische sowie der Effektivität der Ablaufwasserreinigung sind zum einen für die Festlegung der wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Überwachungswerte erforderlich, zum anderen aber auch für die Überprüfung von Verfahren zur Bilanzierung der Schadstofffrachten bzw. der Abwasserabgabe sowie für die Kontrolle der Einhaltung der spezifischen Frachthöchstwerte der „Hinweise“. Hinzu kommt das Erfordernis der Erarbeitung geeigneter Verfahren zur vorgeschriebenen Eigenüberwachung und der Kontrolltätigkeit durch die Wasserbehörden unter diesen speziellen Bedingungen, die insbesondere Kenntnisse über die Wertebereiche und Streuungen der Emissionen erfordern.

Neben der Erarbeitung von Vorgehensweisen zur Veranlagung zur Abwasserabgabe, die die tatsächlichen Emissionen widerspiegeln, am Beispiel Schwarze Pumpe geht es daher auch darum, tragfähige Lösungen der wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Verfahrensweise für weitere Anlagen zu schaffen.

4 Vorgehensweise bei den Emissionsmessungen

Die Emissionsmessungen und -untersuchungen wurden in der Anlage Schwarze Pumpe während der Aufzuchtperioden im Winterhalbjahr 2008/2009 und 2009/2010 durchgeführt. Bei Projektbeginn wurde eine entsprechende Vereinbarung mit dem Betreiber der Warmwasseranlage Schwarze Pumpe, der Kreba-Fisch GmbH, über die Gestattung und Unterstützung der Arbeiten abgeschlossen.

Die absoluten Frachten der zu betrachtenden Wasserparameter wurden aus den Konzentrationswerten der entsprechenden Messpunkte und den dazugehörigen Tagessummen der Durchflüsse ermittelt. Die Konzentrationsbestimmung erfolgte aus 24 h-Mischproben.

Die Entnahme der 24 h-Mischproben wurde mit Hilfe mobiler Probenahmeautomaten, die in einem wetterabweisenden und frostsicheren Holzschuppen untergebracht waren (Abb. 11), vorgenommen. Die drei Automaten entnahmen Wasser an folgenden Punkten der Anlage:

- Zulaufwasser vom Kraftwerk
- zentrale Beckenablaufrinne vor dem Siebtrommelfilter
- Anlagenauslauf hinter dem Siebtrommelfilter.

Durch die Probenahmeautomaten wurden im Abstand von 15 Minuten jeweils 0,1 l Wasser entnommen. Aus der sich daraus ergebenden ca. 10 l-Mischprobe wurden nach der Homogenisierung drei 1 l-Probenahmegefäße abgefüllt, eingefroren und später im Labor analysiert.

Der Wasserdurchfluss, der die Anlage durchläuft, wird mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser am Einlauf der Anlage kontinuierlich gemessen und im Abstand von fünf Minuten automatisch aufgezeichnet. Daraus wurden die Durchfluss-Tagessummen des Frischwassers bzw. des die Anlage verlassenden Wassers für die 24 h-Betriebszeit der Probenahmegeräte berechnet. Auf dieselbe Art und Weise wurden die Durchfluss-Tagessummen des Kreislaufwassers ermittelt. Das Kreislaufwasser wird ebenfalls mit Hilfe eines magnetisch-induktiven Durchflussmessers gemessen und im Abstand von fünf Minuten automatisch aufgezeichnet.

Die Probenahmen erfolgten während der Aufzuchtperiode, d. h. von Ende Oktober bis Anfang Mai, im Regelfall im Abstand von zwei Wochen jeweils zwei Tage hintereinander (Messzyklus).

Zur Ermittlung der Streuungen bei den 24 h-Messungen wurden während einiger Messzyklen auch mehr als zwei 24 h-Mischproben nacheinander entnommen. Die Durchführbarkeit dieser verlängerten Messzyklen war aber vom Vorhandensein ausreichender Wassermengen und stabiler Aufzuchtbedingungen abhängig.

Durch den kurzzeitigen Defekt eines Automaten und Bedienungsunregelmäßigkeiten sowie die bereits dargestellten Verringerungen der Zulaufwassermenge war die reale Anzahl der Probenahmetage etwas geringer als die geplante. Insgesamt wurden während der Aufzuchtperiode 2008/2009 an 26 Tagen und 2009/2010 an 36 Tagen Probenahmen durchgeführt.

Die Analysen der gefrorenen Proben wurden aufgrund der Geringfügigkeit der Konzentrationsänderungen zwischen Anlagenzu- und -ablauf sowie der angestrebten Akzeptanz der Ergebnisse durch die Wasserbehörden durch ein akkreditiertes und für den Bereich Oberflächenwasser, Grundwasser und Abwasser zugelassenes Labor vorgenommen. Die Bestimmung der abwasserabgaberelevanten Parameter Phosphor, Stickstoff und CSB aus den eingegangenen Mischproben erfolgte nach folgenden Verfahren:

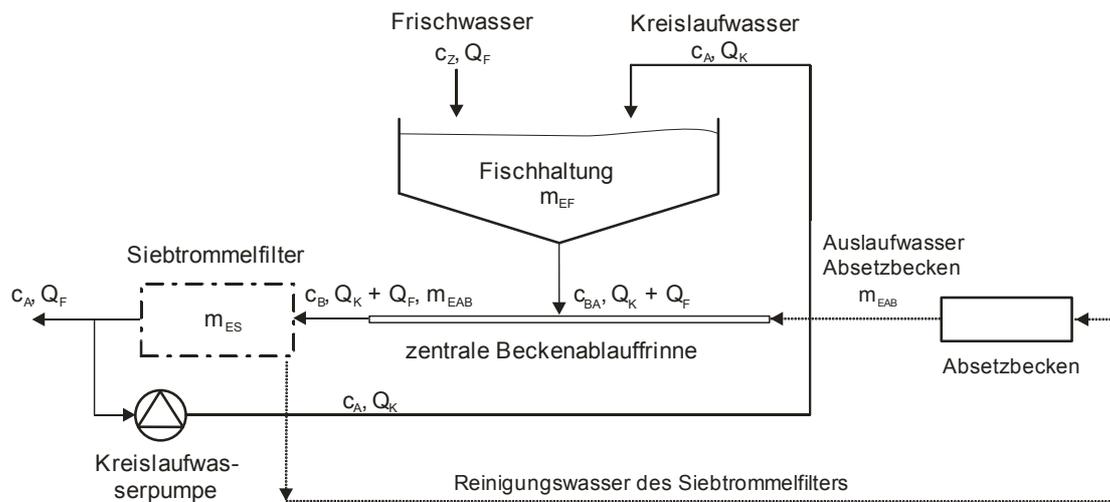
- Gesamtphosphor (TP) - DIN EN 1189
- Kjeldahlstickstoff (TKN)- DIN EN 25 663
- Ammonium (NH₄) - DIN EN ISO 11732
- Nitrit (NO₂) - DIN EN 26 777
- Nitrat (NO₃) - DIN EN ISO 13395
- chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) - DIN 38 409 - H 44

Der Gesamtstickstoff (TN) wird als Summe aus Kjeldahlstickstoff, Nitrat-Stickstoff und Nitrit-Stickstoff gebildet. Dieses Verfahren wurde aufgrund der vorliegenden niedrigen Gesamtstickstoff-Konzentrationen gewählt. Neben dem Gesamtstickstoff, der zur allgemeinen Emissionsbilanzierung erforderlich ist, wird zur wasserrechtlichen und abwasserabgaberechtlichen Bewertung der mineralische (anorganische) Stickstoff ermittelt. Der mineralische Stickstoff ergibt sich aus der Summe von NO₃-N, NO₂-N und NH₄-N.

Aus den Mischproben wurden weitere Parameter ermittelt, die für die Bewertung der Emissionen der Fische und die Reinigungsleistung des Siebtrommelfilters sowie die Immissionsbetrachtungen durch die Wasserbehörden, d. h. die Auswirkungen des Ablaufwassers auf den konkreten Vorfluter, von Bedeutung sind:

- biochemischer Sauerstoffbedarf innerhalb von fünf Tagen (BSB₅) - DIN EN 1899-2
- gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) - DIN EN 1484
- abfiltrierbare Stoffe (AFS) - DIN EN 872
- Orthophosphat-Phosphor (PO₄-P) - DIN EN 1189

Das Schema der für die Emissionsmessungen relevanten Wasserströme sowie Emissions- bzw. Entnahmefrachten zeigt Abb. 10. Lediglich für die Messungen konnte der Verlauf der Wasserströme nicht verändert werden. Dadurch ergab sich insbesondere für die Bestimmung der Emissionen der Fische eine etwas kompliziertere Verfahrensweise.



- c_Z Zulaufkonzentration der Anlage (mg/l, g/m³) - Messwert
- Q_F Tagesmenge des Frischwasserdurchflusses (m³/d) - Messwert
- m_{EF} Emission der Fische (g/d)
- c_{BA} Ablaufkonzentration der Fischhaltungsbecken (mg/l, g/m³)
- Q_K Tagesmenge des Kreislaufwasserdurchflusses (m³/d) - Messwert
- m_{EAB} Emission des Absetzbeckens (g/d) - Messwert, Wasserdurchfluss aus diesem Becken ist vernachlässigbar
- c_B Ablaufkonzentration der zentralen Ablaufrinne der Fischhaltungsbecken (mg/l, g/m³) - Messwert
- c_A Ablaufkonzentration der Anlage (mg/l, g/m³) - Messwert
- m_{ES} Stoffentnahmefracht durch den Siebtrommelfilter (g/d)

Abbildung 10: Schema der für die Emissionsmessungen relevanten Wasserströme und Frachten

Zur Ermittlung der Emissionsfrachten des Fischbestandes wird Gleichung 5 genutzt, die aus den Massebilanzen Gleichung 1 bis 4 abgeleitet wurde. Die Emissionen aus dem Absetzbecken m_{EAB} hatten nur für Gesamtphosphor und Orthophosphat-Phosphor eine Größenordnung, die berücksichtigt werden musste. Für die anderen Wasserparameter lagen diese Emissionen maximal bei wenigen Prozent der Fracht der zentralen Beckenablaufrinne und wurden daher vernachlässigt. Der Durchfluss des Reinigungswassers ist sehr gering gegenüber dem Frischwasser- bzw. Kreislaufwasserdurchfluss und wird ebenfalls ab Gl. 2 vernachlässigt. Die TP- und PO₄-P-Emissionen aus dem Absetzbecken wurden aufgrund der geringeren Anzahl von Messwerten als Mittelwerte für bestimmte Zeitabschnitte berücksichtigt.

Die Bestimmung der Gesamt-Emissionsfracht der Anlage erfolgte durch die Bildung der Konzentrationsdifferenz zwischen Anlagenablauf hinter dem Siebtrommelfilter und Anlagenzulauf multipliziert mit der Tagesmenge des Frischwasserdurchflusses (Gl. 6).

Zur Ermittlung der Fracht der Stoffentnahme durch den Siebtrommelfilter wurde die Konzentrationsdifferenz zwischen den Werten im zentralen Beckenablauf vor dem Siebtrommelfilter und des Anlagenablaufs hinter dem Siebtrommelfilter gebildet und mit der Tagesdurchflussmenge multipliziert, d. h. des Frischwassers und gegebenenfalls zusätzlich des Kreislaufwassers (Gl. 7).

Emissionen der Fische:

$$Q_F * c_Z + Q_K * c_A + m_{EF} = c_{BA} * (Q_F + Q_K) \quad (\text{Gl. 1})$$

$$c_{BA} * (Q_F + Q_K) + m_{EAB} = c_B * (Q_F + Q_K) \quad (\text{Gl. 2})$$

$$c_{BA} * (Q_F + Q_K) = c_B * (Q_F + Q_K) - m_{EAB} \quad (\text{Gl. 3})$$

$$m_{EF} = c_B * (Q_F + Q_K) - Q_F * c_Z - Q_K * c_A - m_{EAB} \quad (\text{Gl. 4})$$

$$m_{EF} = Q_F * (c_B - c_Z) + Q_K * (c_B - c_A) - m_{EAB} \quad (\text{Gl. 5})$$

Emissionen Anlage:

$$m_{EA} = Q_K * (C_A - C_Z) \quad (\text{Gl. 6})$$

Entnahmekracht Siebtrommelfilter:

$$m_{ES} = (Q_K + Q_F) * (C_{AB} - C_A) \quad (\text{Gl. 7})$$

Es wurden die absoluten Frachtwerte folgender Parameter berechnet: TP, PO₄-P, TN, Nmin, CSB, BSB₅, TOC und abfiltrierbare Stoffe.

Zur Verallgemeinerung der gemessenen Frachtwerte, deren Nutzung für Vorausberechnungen, z. B. der abwasserabgaberechtl. Überwachungswerte, für Vergleiche mit anderen Messungen u. a. ist ein Bezug auf den bei den Messungen vorhandenen Fischbestand, die verabreichte Futtermenge oder den erfolgten Fischzuwachs erforderlich.

Die Bildung derartiger spezifischer Frachten setzt die Kenntnis der aufgeführten produktionsbiologischen Parameter zu den einzelnen Messzeitpunkten voraus. Diese müssen aus den Besatz- und Abfischungskennzahlen, den verabreichten Futtermengen, den erfassten Verlusten und den Ergebnissen der Probewägungen modellhaft berechnet werden.

Zur genauen Erfassung der produktionsbiologischen Parameter wurde zusammen mit dem Anlagenbetreiber eine Formvorlage zur PC-gestützten Bestandsführung erarbeitet. Diese bildet zusammen mit den wöchentlichen Probewägungen sowie der täglichen Erfassung der Verluste und der verabreichten Futtermenge die Voraussetzung für die spätere Modellierung der Bestandsentwicklung, die Berechnung der aktuellen Bestandsmasse und weiterer Parameter zum Zeitpunkt der Probenahme.

Zur Durchführung der Probewägungen wurden mehrere Wurfnetze erprobt und das geeignetste anschließend eingesetzt. Während der Aufzuchtperiode 2009/2010 wurden mit Unterstützung des IfB im Abstand von ca. 6 bis 10 Wochen insgesamt vier Probewägungen einer größeren Fischstückzahl durchgeführt. Dazu wurde ein kleines Zugnetz eingesetzt. Bei der Bestimmung der spezifischen Emissionsfrachten der Fische sind drei verschiedene Angaben üblich bzw. erforderlich: bezogen auf Fischbestand und Tag (g/t Fischbestand * Tag), bezogen auf den Fischzuwachs (g/kg Zuwachs) und bezogen auf die Futtermenge (g/kg Futtermenge). Die Berechnung bzw. Umrechnung ist in Gleichung 8 - 10 am Beispiel des Phosphors dargestellt:

$$m_{EFPB} = m_{EFP} / FBM \quad (\text{Gl. 8})$$

$$m_{EFPF} = m_{EFPB} / TFM \quad (\text{Gl. 9})$$

$$m_{EFPZ} = m_{EFPF} * FQ \quad (\text{Gl. 10})$$

m_{EFPB}	tägliche Phosphorfracht der Fische bezogen auf die Fischbestandsmasse (g P/t Fischbestandsmasse * Tag)
m_{EFP}	absolute Phosphoremissionsfracht der Fische (g P/Tag)
FBM	Fischbestandsmasse (t)
m_{EFPF}	Phosphorfracht der Fische bezogen auf die Futtermenge (g P/kg Futter)
TFM	täglich verabreichte Futtermenge (kg Futter/t Fischbestandsmasse * Tag)
m_{EFPZ}	Phosphorfracht der Fische bezogen auf den Fischzuwachs (g P/kg Zuwachs)
FQ	Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)

Zusätzlich werden entsprechend der Emissionsanforderungen der „Hinweise“ die futterbezogenen Frachtwerte der Anlage für die Parameter TP, Nmin und CSB angegeben.

Die Stoffentnahme des Siebtrommelfilters kann neben der Frachtverringerng im ablaufenden Wasserstrom nach Gleichung 7 auch als Konzentrationsverringerng angegeben werden. In der Regel werden beide Angaben auch in %, bezogen auf den jeweiligen Zuflusswert, als Entnahmerate angegeben. Insbesondere bei der Berechnung von Regressionsfunktionen können Fracht- und Konzentrationsverringerng auch zu verschiedenen Funktionsverläufen führen.

Im Rahmen der Datenaufbereitung der absoluten und spezifischen Frachtwerte wurden als Mittelwerte der arithmetische Mittelwert und der Medianwert berechnet. Als Maß für die Streuung wurde neben der Standardabweichung und der prozentualen Standardabweichung das 90-Perzentil (von 90 % der vorliegenden Messungen unterschritten) gewählt. Die

90-Perzentile werden als Grenzwerte für die Betrachtungen der chemischen Gewässergüteklassen herangezogen (LAWA 1998).

Zur Einschätzung des Einflusses gegebenenfalls ungünstiger Haltungsbedingungen oder Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Bestandsentwicklung und die gemessenen Frachten wurden die wichtigsten Wasserparameter und weitere produktionsbiologische Parameter gemessen, erfasst bzw. berechnet. Dazu gehören pH-Wert, CO₂-Konzentration und NH₄- bzw. NH₃-Konzentration, die als Vor-Ort-Messungen bestimmt wurden. Zusätzlich wurden weitere Anlagendaten erfasst bzw. entsprechende Unterlagen des Betreibers (gelieferte Futtermenge, Sauerstoff, Schlammabgabe u. a.) ausgewertet.

Durch das Automatisierungssystem der Anlage werden die O₂-Konzentration in den einzelnen Becken, der Frischwasserdurchfluss und der Kreislaufwasserdurchfluss sowie die Temperatur aufgezeichnet. Zur Übernahme der Rohdaten aus der Datenbank des Anlagenrechners und zur Verdichtung der Daten wurde für das IfB ein Serverzugang geschaffen und zusätzlich ein entsprechendes Programm installiert.

Zur Ermittlung der Frachten des Reinigungswassers des Siebtrommelfilters sowie zur Erfassung der Sedimentations- und Umsetzungsvorgänge im Absetzbecken wurden stichprobenartig Wasserproben am Zu- und Ablauf des Absetzbeckens entnommen sowie Messungen des Durchflusses des Reinigungswassers durchgeführt. Diese erfolgten parallel zu den Probenahmezyklen mit den Probenahmeautomaten.

Das Reinigungswasser des Siebtrommelfilters fließt einem Pumpensumpf zu und wird von dort über eine niveaugeschaltete Pumpe in das erste Abteil des Absetzbeckens gefördert. Aus dem kontinuierlich in den Pumpensumpf laufenden Reinigungswasser wurden während des zweitägigen Beprobungszyklus mehrmals Stichproben entnommen. Das gesammelte Wasservolumen von ca. 24 l wurde anschließend homogenisiert, in 3 l-Eimer abgefüllt, eingefrostet und später analysiert. Die Schlammwasseranalysen wurden ebenfalls durch das bereits aufgeführte akkreditierte Labor vorgenommen.

Der Durchfluss des Reinigungswassers wurde anhand des Durchflusses des Wassers, das aus dem Absetzbecken in die zentrale Beckenablauftrinne zurückfließt, bestimmt. Zuerst erfolgte diese Messung mit Hilfe eines Wasserzählers und Zeitmessung, später durch volumetrische Bestimmung und Zeitmessung. Dieser Durchflusswert dürfte dem Durchfluss des Reinigungswassers des Siebtrommelfilters weitgehend entsprechen. Der Einfluss von Verdunstung und Niederschlag auf das Wasservolumen im Absetzbecken wird als gering eingeschätzt.

In dem vorhandenen Absetzbecken wurden zusätzlich die Konzentrationen am Auslauf der ersten beiden Abteile mehrmals gemessen. Weiterhin wurden die Schlammzusammensetzung und die (ungefähre) Schlammhöhe bzw. das Schlammvolumen mit Hilfe einer dünnen Plasticscheibe von 0,5 m Durchmesser mit senkrechtem Maßstab stichpunktartig ermittelt. Dadurch wurde die Eindickung des Reinigungswassers zumindest überschlägig erfasst.



Abbildung 11: Probenahmeautomaten in der wetterabweisenden frostsicheren Umhausung

5 Fischbestandsentwicklung

5.1 Aufzuchtperiode 2008 - 2009

5.1.1 Aufzuchtergebnisse 2008 - 2009

Die Anlage wurde am 3.10.08 und am 20.10.08 mit K₁ besetzt. Die Abfischung erfolgte am 15.05.2009. Die Aufzuchtergebnisse sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Auf der Grundlage der Angaben der Kreba-Fisch GmbH zur Besatzstückmasse und Besatzstückzahl sowie der Abfischungsstückmasse und Abfischungsstückzahl ergab die Endabrechnung Stückverluste von 14,6 %. Diese sind als zu hoch einzustufen, da während der Aufzucht immer nur vereinzelt tote Fische abgesammelt wurden. Bei der Verlustberechnung wurden daher nur die Verluste zugrunde gelegt, die den Becken entnommen und dokumentiert wurden. Die sich daraus ergebenden Gesamtverluste sind wahrscheinlich etwas zu gering, dürften aber die realen Verhältnisse besser widerspiegeln. Die Verluste lagen nach der Korrektur bei 0,4 %.

Es wurde von einer höheren Genauigkeit der ermittelten Stückmasse bei der Abfischung ausgegangen, da hier umfangreichere Stichprobewägungen durchgeführt wurden. Die Stückzahl sowie die Besatzstückmasse wurden auf dieser Basis anschließend korrigiert (s. Tab. 5). Ursprünglich waren folgende Besatzstückmassen angegeben worden: Becken 1 und 3 je 48 g, Becken 2 und 4 je 60 g.

Für die Satzkarpfenaufzucht 2008 - 2009 ergab sich ein Zuwachs von 52,5 t. Die Endabfischungsmasse lag bei 61,3 t. Die mittlere Abfischungsstückmasse betrug 408 g. Der Stückmassezuwachs ist mit 0,9 % relativ niedrig. Dazu trugen auch die infolge der Verlust- und Stückzahlkorrektur entstandenen höheren Besatzstückmassen bei. Die Futtermittelnutzung hatte sich gegenüber der Aufzuchtperiode 2007 - 2008 mit 1,68 kg Futter/kg Zuwachs verbessert. Dieser Wert ist aber noch zu hoch.

Stichprobewägungen zur Bestimmung der aktuellen mittleren Stückmasse der Fische in den einzelnen Becken wurden im wöchentlichen Abstand durchgeführt. Dazu wurden anfänglich pro Becken ca. 300 Fische entnommen. Ab Januar waren es ca. 100 Fische pro Becken. Aus diesen Werten wurde unter Berücksichtigung der Verluste die aktuelle Fischbestandsmasse berechnet.

Die vorgegebenen Werte der täglich zu verabreichenden Futtermenge wurden an den Futterautomaten eingestellt. Diese Werte wurden für die einzelnen Becken aufsummiert. Als Futter kam ein Karpfen-Aufzuchtfutter mit 40 % Rohprotein und 24 % Rohfett zur Anwendung. Der Bruttoenergiegehalt wurde anhand der deklarierten Bestandteile zu 22,4 MJ/kg berechnet. Der Phosphorgehalt wurde mit 0,9 % angegeben. Die Pelletgröße lag während der gesamten Aufzuchtperiode bei 3 mm.

Becken 5 bis 8 wurden mit verschiedenen Störarten besetzt. Aus den Angaben in Tab. 5 ist erkennbar, dass der Massezuwachs in diesen Becken nur 3,0 % des Gesamt-Massezuwachses der Anlage betrug. Die Störe wurden daher bei der anschließenden Berechnung der Bestandsentwicklung in der Anlage nicht berücksichtigt.

Ein wesentliches Problem beider Aufzuchtperioden lag in den schwankenden Wasserdurchflüssen infolge der kurzfristigen Abschaltung eines Blocks des Kraftwerks oder der Nutzung eines Teils des Absalzwassers zur Ascheeinspülung (s. 3.1). Die mittleren täglichen Durchflüsse 2008 - 2009 sind in Abb. 12 dargestellt.

Es ist sichtbar, dass bereits im Dezember 2008 die ersten drastischen Verringerungen der Wassermenge auftraten. Ihren Höhepunkt fanden diese Probleme mit der Wartung eines Kraftwerksblocks Ende März bis Anfang April. Auf die überwiegend plötzlich vorgenommene Verringerung der Wassermenge muss als erstes durch die Reduzierung der verabreichten Futtermenge oder die Unterbrechung der Fütterung reagiert werden. Als zweites kommen eine verstärkte Kreislaufführung und der Betrieb der Sauerstoffnot- bzw. Zusatzbegasung hinzu.

Durch den reduzierten Wasseraustausch in den Fischbecken treten u. a. eine Erhöhung der NH_4 - und CO_2 -Konzentration sowie ein verschlechterter Austrag des Kots und Schlamms auf. Dadurch ergibt sich eine Verschlechterung der Haltungsbedingungen für die Fische. Das führt zusammen mit der verringerten Futtermenge zu einem reduzierten Wachstum der Fische und einer verschlechterten Futtermittelnutzung.

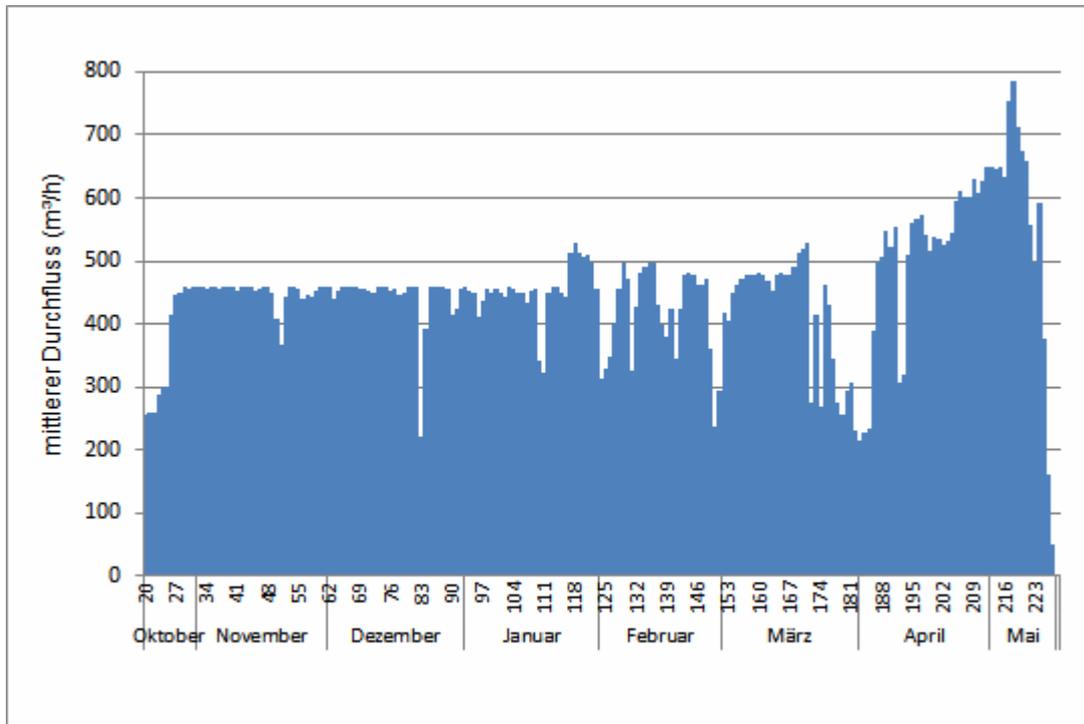


Abbildung 12: Mittlere tägliche Frischwasserdurchflüsse während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009 in Abhängigkeit von den Produktionstagen

Tabelle 5: Aufzuchtergebnisse der K₁- K₂ -Aufzuchtperiode 2008 - 2009

Becken	1	2	3	4	gesamt	5	6	7	8
Art/Alter	K1-K2	K1-K2	K1-K2	K1-K2	K1-K2	A. ruthenus fem.	A. ruthenus alb.	A. gueldenstädtii	A. gueldenstädtii
Aufzuchtzeitraum	20.10. - 14.05.	2.10. - 14.05.	20.10. - 14.05.	2.10. - 14.05.					
Besatz:									
Stück	45.555	31.015	45.871	28.526	150.967	388	700	833	833
Masse (kg)	2.250	2.230	2.250	2.150	8.880	400	300	375	375
Stückmasse (g)	49,4	71,9	49,1	75,4	59	1.031	429	450	450
Abfischung:									
Stück	45.528	30.808	45.655	28.316	150.307	350	629	666	657
Masse (kg)	13.152	15.946	15.623	16.617	61.338	446	416	1.034	1.170
Stückmasse (g)	288,9	517,6	342,2	586,8	408	1.274	661	1.553	1.781
Produktionskennwerte:									
Stückverluste (%)	0,1	0,7	0,5	0,7	0,4	9,8	10,1	20,0	21,1
Zuwachs (kg)	10.902	13.716	13.223	14.337	52.458	46	116	659	795
Produktionsdauer (d)	207	225	207	225	216				
Stückmassezuwachs (%/d)	0,85	0,88	0,94	0,91	0,90				
Futtereinsatz (kg)	19.616	23.948	19.206	27.240	87.894	700	730	1.022	1.600
FQ (kgFutter/kg Zuwachs)	1,80	1,75	1,45	1,90	1,68	15,20	6,29	1,55	2,01

5.1.2 Haltungsbedingungen und Wasserparameter 2008 - 2009

Im Rahmen der Emissionsuntersuchungen müssen auch die wichtigsten Haltungsparameter betrachtet werden. Nur wenn eine reguläre Stoffwechsellätigkeit der Fische unter normalen Haltungsbedingungen vorliegt, sind die Futtermittelverwertung und damit auch die Ausscheidungen der zu betrachtenden Stoffkomponenten repräsentativ. Auf die Probleme im Zusammenhang mit den schwankenden bzw. zeitweise geringen Wassermengen wurde bereits hingewiesen. Im Zeitraum 2008 - 2009 betrug die mittlere Wassermenge 452 m³/h.

Der Durchfluss des sauerstoffangereicherten Frischwassers jedes Beckens lag bei „Normalwassermenge“ überwiegend im Bereich von 90 bis 110 m³/h. Zum Ende der Aufzuchtperiode im April und Anfang Mai 2009 konnten auch höhere Werte bis zu 140 m³/h eingestellt werden. Die Kreislaufwasserföhrung wurde ab Februar 2009 gelegentlich in Betrieb gesetzt. Mit dem Kreislaufwasser lag die Wasserwechselrate in den Becken im Durchschnitt bei 0,83 h⁻¹. Der Höchstwert betrug 1,14 h⁻¹. Trotz der relativ niedrigen Wasserwechselraten gelingt es, in den großen Becken ausreichende Strömungsgeschwindigkeiten zum Austrag des Kots zu erzeugen.

Tabelle 6: Messwerte der wichtigsten Haltungsparameter als Mittel der Werte der vier Becken während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009

Datum	O2 (mg/l)	Temperatur (°C)	pH	CO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	NH3 (mg/l)
13.11.2008	9,4	22,6	7,6	6,8		
27.11.2008	13,8	22,5	7,7	8,3		
11.12.2008	11,6	22,5	7,2	18,0		
08.01.2009	10,6	22,0	7,2	14,8		
22.01.2009	11,3	22,7	7,1	20,8		
05.02.2009	8,4	22,6	7,1	22,3		
19.02.2009	7,4	21,8	6,9	27,8		
05.03.2009	9,2	23,0	7,0	27,0		
19.03.2009	9,9	22,7	6,8	26,5		
02.04.2009	10,9	21,6	5,5	7,3	0,5	0,00011
07.04.2009	8,9	23,8	6,8	17,5		
14.04.2009	5,2	23,7	6,5	36,0	3,4	0,010
20.04.2009	13,3	23,6	7,0	25,7	3,8	0,024
28.04.2009	13,0	25,9	6,9	26,8	2,4	0,018
07.05.2009	14,1	23,8	6,9	32,8	3,2	0,020
Arithmetisches Mittel	10,5	23,0	7,0	21,2	2,7	0,019
Median	10,6	22,7	7,0	22,3	3,2	0,020
Standardabweichung	2,5	1,1	0,5	9,0	1,3	0,012

Die Messwerte der wichtigsten Haltungsbedingungen, die während der Beprobung der Anlage in zweiwöchigem Abstand erfasst wurden, sind als Mittel der Werte der vier Becken (Probenahme am Rand in der Nähe des Auslaufs) in Tab. 6 zusammengefasst.

Zur Messung kamen ein Multiparameter-Messgerät 350i der Fa. WTW und ein CO₂-Messgerät CO₂-Portable der Fa. OxyGuard zum Einsatz. Am Ende der Aufzuchtperiode wurde weiterhin die Ammoniumkonzentration photometrisch (LP 2W Fa. WTW) bestimmt. Zusätzlich wurden in den einzelnen Becken die Sauerstoffkonzentration und die Temperatur durch das Automatisierungssystem der Anlage gemessen und aufgezeichnet. Die Temperatur lag mit einem Mittelwert von ca. 23 °C im optimalen Bereich für die Karpfenaufzucht. Die Standardabweichung der Messwerte und die automatische Aufzeichnung im Abstand von 5 Minuten zeigen eine stabile Aufrechterhaltung dieser Werte.

Die Sauerstoffkonzentrationen lagen fast immer im Bereich des Sättigungswertes der Luft von 8,57 mg/l oder darüber und können daher als optimal eingestuft werden.

Das Mittel der pH-Werte in den Becken entspricht dem Neutralpunkt, obwohl der pH-Wert im Zulauf im Mittel bei 8,5 - 8,6 liegt. Aus dem Verlauf der Werte ist eine Tendenz zur Verringerung des pH-Wertes mit zunehmender Aufzucht-dauer erkennbar. Die Ursache liegt vor allem in der CO₂-Abgabe durch die Fische. Das Mittel der CO₂-Konzentration stieg mit dem Zuwachs des Fischbestandes an und erreichte ab Ende Februar Werte über 25 bis 30 mg/l. Derartige Werte sind für Warmwasserfische nicht als problematisch anzusehen (s. 5.2.2).

Die pH-Veränderung wirkt sich günstig auf das NH₄⁺- NH₃-Dissoziationsgleichgewicht aus, das mit zunehmendem Fischbestand und verstärkter Ammoniumexkretion der Fische in die Richtung eines niedrigeren Anteils des fischtoxischen Ammoniaks verschoben wird. Das hat dazu geführt, dass der NH₃-Grenzwert von 0,02 mg/l nur bei einer Messung im April 2009 leicht überschritten wurde. Angesichts der Höhe dieses Wertes dürfte es aber zu keinen nachhaltigen Beeinträchtigungen des Fischzuwachses gekommen sein. Probleme können aber in der ersten Phase der Aufzucht auftreten (s. 5.2.2). Vor-Ort-Messungen wurden zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht durchgeführt. Allerdings war die Besatzmasse im Vergleich zum Folgejahr deutlich höher, was zu einer verstärkten pH-Absenkung auch am Anfang der Aufzuchtperiode geführt haben dürfte.

5.1.3 Modellierung der Fischbestandsentwicklung 2008 - 2009

Zur Ermittlung der spezifischen Frachten der abwasserabgaberelevanten Parameter, d. h. der auf die Bestandsmasse, die Futtermenge oder den Zuwachs bezogenen Werte, aus den gemessenen absoluten Frachten ist die Modellierung der zeitlichen Fischbestandsentwicklung erforderlich.

Für die Zeitpunkte, an denen Probewägungen durchgeführt wurden, d. h. im wöchentlichen Abstand, erfolgte für jedes einzelne Becken die Berechnung der aktuellen Bestandsmasse und -stückzahl sowie des bisherigen Futtermittelsverbrauchs. Daraus wurden die Mittel- bzw. Summenwerte für die vier Becken der K₁ - K₂-Aufzucht gebildet. Die Werte sind in Tab. 7 zusammengefasst.

Die Berechnung der Ausgleichsfunktionen der zeitlichen Bestandsmasse- bzw. Stückmasseentwicklung erfolgt in der Regel auf der Basis der funktionellen Ansätze des organischen Wachstums. Speziell für die Warmwasserproduktion von Karpfen wurde durch LIEDER (1986) der Ansatz nach Gleichung 11 und 12 für das Stückmassewachstum sowie mit Berücksichtigung der Verluste für das Bestandsmassewachstum nach Gleichung 13 angegeben.

$$W_t = W_0 \cdot e^{0,01 p \cdot t} \quad (\text{Gl. 11})$$

$$p = g \cdot 0,114 \cdot e^{b \cdot (T - 20)} \cdot w^{-y} \cdot 100 \quad (\text{Gl. 12})$$

$$B_t = B_0 \cdot e^{0,01 p \cdot t \cdot \text{ÜR}\%/100} \quad (\text{Gl. 13})$$

W ₀	Anfangsstückmasse (g)
W _t	Stückmasse zum Zeitpunkt t (g)
B ₀	Anfangsbestandsmasse (kg)
B _t	Bestandsmasse zum Zeitpunkt t (kg)
t	Wachstumszeit (d)
p	prozentualer täglicher Zuwachs (%/d)
p / 100	spezifische Wachstumsrate
ÜR %	Überlebensrate in % des Anfangsbestandes
b	Koeffizient der Temperatureinwirkung auf p, b = 0,108
g	Koeffizient des Einflusses der Ernährung auf p (g ≈ 0,002)
y	Koeffizient des Einflusses der Stückmasse auf p, y = - 0,178
w	Stückmasse (g), zur Berechnung des Koeffizienten w ^{-y}

Tabelle 7: Bestandsmasse, Stückzahl und weitere produktionsbiologische Daten zu den Zeitpunkten der Probewägungen 2008 - 2009

Tag der Aufzuchtperiode	Datum	Bestandsmasse Probewägungen (kg)	Bestandsmasse Ausgleich (kg)	Stückzahl Probewägungen (Stück)	Stückmasse Ausgleich (g)	Stückmassezuwachs (%/d)	Bestandszuwachs Abschnitt (kg)	Futtermenge Abschnitt (kg)	FQ (kg Futter/ kg Zuwachs)	Mittel tägliche Futtermenge Abschnitt (%/d)
	02.10.08	4.380	4.380	59.541	76,6		0			
1	20.10.08	9.948	9.908	150.694	57,5		1.068	573	0,54	0,65
18	06.11.08	9.397	9.202	150.485	62,2	0,46	-706	2.273		1,34
25	13.11.08	9.932	10.002	150.485	68,7	1,42	800	1.561	1,95	2,29
32	20.11.08	10.557	11.243	150.459	77,1	1,66	1.241	1.676	1,35	2,38
39	27.11.08	12.254	12.819	150.449	87,2	1,76	1.575	1.855	1,18	2,55
46	04.12.08	15.224	14.638	150.440	98,6	1,75	1.820	2.159	1,19	2,73
53	11.12.08	17.189	16.628	150.436	111,1	1,69	1.990	2.669	1,34	2,97
60	18.12.08	19.455	18.727	150.436	124,2	1,60	2.099	2.913	1,39	2,99
67	25.12.08	21.435	20.889	150.436	138,0	1,50	2.162	3.101	1,43	2,93
74	01.01.09	23.301	23.078	150.434	152,1	1,39	2.189	3.192	1,46	2,81
81	08.01.09	25.244	25.268	150.434	166,5	1,29	2.190	3.913	1,79	3,24
88	21.01.09	25.551	27.443	150.434	181,0	1,19	2.175	3.913	1,80	3,05
95	22.01.09	28.071	29.594	150.416	195,5	1,10	2.151	3.125	1,45	2,63
102	29.01.09	31.256	31.719	150.416	210,0	1,02	2.125	3.334	1,57	2,60
109	05.02.09	34.103	33.819	150.416	224,5	0,95	2.100	4.403	2,10	3,15
116	12.02.09	37.859	35.900	150.416	238,9	0,89	2.082	2.893	1,39	1,93
123	19.02.09	39.779	37.971	150.393	253,2	0,83	2.071	3.653	1,76	2,23
130	26.02.09	38.572	40.040	150.347	267,3	0,78	2.069	3.525	1,70	2,06
137	05.03.09	41.637	42.116	150.307	281,4	0,73	2.076	2.528	1,22	1,51
144	12.03.09	43.770	44.205	150.307	295,3	0,69	2.089	4.277	2,05	2,40

Tag der Aufzuchtperiode	Datum	Bestands- masse Probe- wägungen (kg)	Bestands- masse Ausgleich (kg)	Stückzahl Probewägungen (Stück)	Stückmasse Ausgleich (g)	Stückmasse- zuwachs (%/d)	Bestands- zuwachs Abschnitt (kg)	Futtermenge Abschnitt (kg)	FQ (kg Futter/ kg Zuwachs)	Mittel tägliche Futtermenge Abschnitt (%/d)
151	19.03.09	49.537	46.311	150.307	309,1	0,65	2.106	4.277	2,03	2,30
158	26.03.09	49.537	48.432	150.307	322,9	0,62	2.122	2.375	1,12	1,15
165	02.04.09	46.040	50.563	150.307	336,5	0,59	2.131	580	0,27	0,28
172	09.04.09	51.869	52.689	150.307	350,1	0,56	2.126	4.277	2,01	2,17
179	16.04.09	53.936	54.788	150.307	363,5	0,54	2.099	4.277	2,04	1,96
186	23.04.09	58.672	56.827	150.307	376,7	0,51	2.039	4.277	2,10	1,89
193	30.04.09	60.378	58.764	150.307	389,8	0,49	1.937	4.277	2,21	1,76
200	07.05.09	60.378	60.542	150.307	402,5	0,46	1.778	4.277	2,41	1,71
207	14.05.09	61.338	62.092	150.307	414,8	0,43	1.550	1.741	1,12	0,71

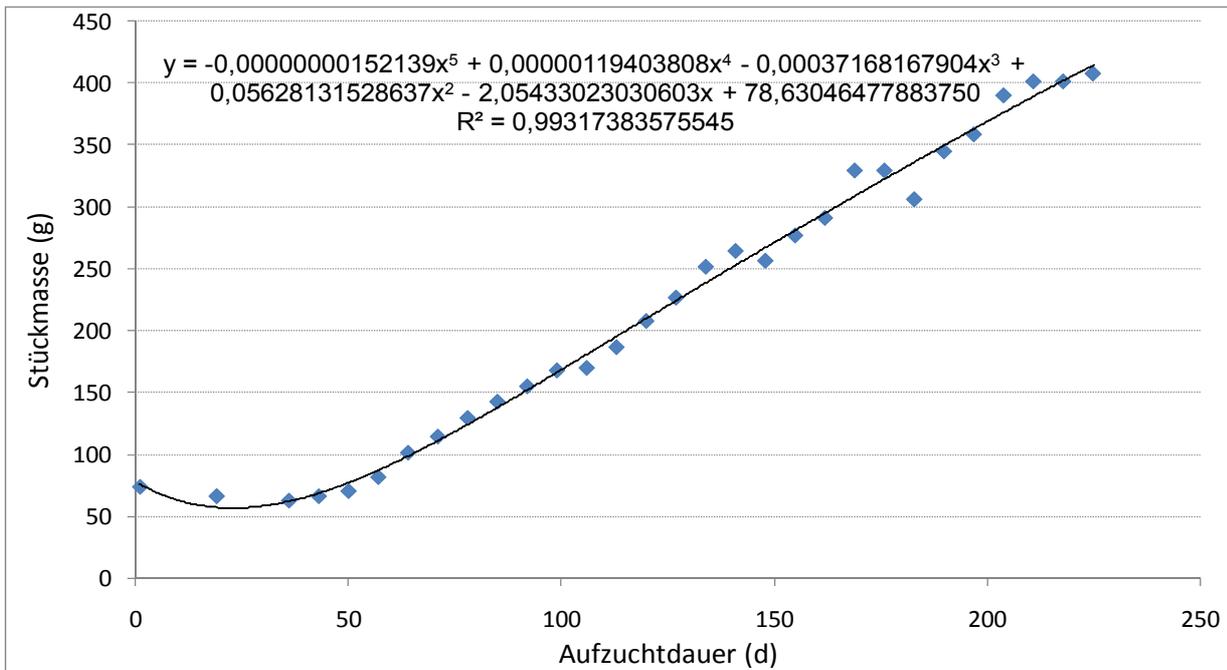


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Stückmasse während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009

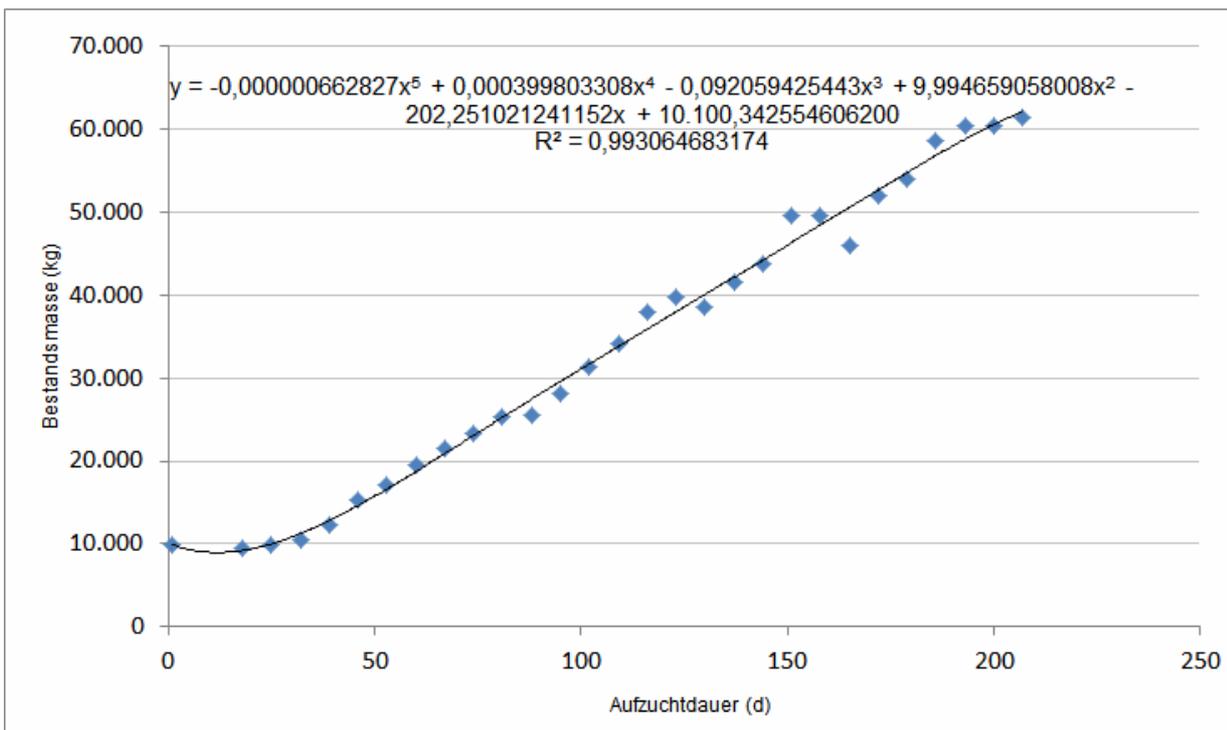


Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung der Bestandsmasse während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009

Aufgrund der sich mit zunehmender Stückmasse verringernden spezifischen Wachstumsrate $p/100$ sind in der Regel mehrere e-Funktionen zur Modellierung der Bestandsentwicklung einer $K_1 - K_2$ -Aufzuchtperiode notwendig. Bei RÜMLER & PFEIFER (1987) konnte auf dieser Basis in einer ähnlichen Anlage ein guter Ausgleich der Bestands- und Stückmasseentwicklung vorgenommen werden.

Im vorliegenden Fall ist anhand von Abb. 13 und 14 sichtbar, dass die zeitliche Entwicklung der Stückmasse und der Bestandsmasse eher linear statt exponentiell verläuft. Die Ursache liegt anscheinend in den zunächst relativ niedrigen Futtergaben und der in der zweiten Aufzuchthälfte häufiger aufgetretenen Verminderung der Wasserzufuhr aus dem Kraftwerk, die mit entsprechender Verringerung der Futtergaben und demzufolge des Zuwachses verbunden war.

Daher wurde eine polynomische Funktion 5. Ordnung als Ausgleichsfunktion des Bestandes und der Stückmasse gewählt. Beide Funktionen sind in den Abb. 13 und 14 angegeben. Da die Verluste sehr gering waren, kann die Bestandsmassenfunktion auch zur Berechnung der weiteren Werte genutzt werden. Auf eine Berechnung der Bestandsmasse aus den Werten der Ausgleichsfunktion der Stückmasse und der Stückzahl konnte verzichtet werden.

In Tab. 7 sind als berechnete Werte weiterhin der Stückmassezuwachs in %/d, der Futterquotient (FQ) und die mittlere tägliche Futtermenge in % der Bestandsmasse aufgeführt.

Das geringe Wachstum im November ist wahrscheinlich auf die verhaltene Fütterung am Anfang der Produktionsperiode zurückzuführen. Die Adaptionsphase war anscheinend schon Anfang November abgeschlossen. Ab Ende November bis Ende Dezember ergaben sich gute bis ausreichende Werte der Futtermenge und des Stückmassezuwachses bei Futtergaben im Bereich von 2,5 - 3,0 %/d. Die Fische hatten in diesem Zeitabschnitt eine mittlere Stückmasse von 77 - 152 g. Die höchsten Futtergaben von über 3 %/d wurden anschließend bei einer Stückmasse von 167 bis 181 g verabreicht und hatten erhöhte FQ-Werte bei verringertem Stückmassezuwachs zur Folge. Von Ende November an sank das Stückmassewachstum von 1,76 %/d kontinuierlich bis auf 0,4 %/d ab.

Die Werte der täglichen Futtergaben und der Futtermenge wiesen nach der Jahreswende durch die schwankenden Wasserdurchflüsse und die damit einhergehende Verringerung der verabreichten Futtermenge größere Schwankungen auf. Diese Probleme führten zu der insgesamt noch nicht befriedigenden Futtermenge.

Vom Hersteller des Futters wurde keine orientierende Fütterungstabelle angegeben. Nach den Ergebnissen der Aufzuchtperiode 2008 - 2009 können die bei SCHRECKENBACH et al. (1987) aufgeführten Werte (Tab. 8) durchaus noch als Orientierung genutzt werden. Hierbei wurde bereits „von aufgefettetem“ Futter ausgegangen. Für die heutigen Hochenergiefuttermittel wurde eine Reduzierung der einzelnen Werte um 0,25 %/d empfohlen.

Tabelle 8: Fütterungstabelle für die K₁ - K₂-Warmwasseraufzucht

Stückmasse (g)	tägliche Futtergabe (% des Bestandes/d)	
	Schreckenbach et al. (1987)	Reduzierung um 25 %
20 - 30	4,0	3,75
30 - 40	3,75	3,5
40 - 60	3,5	3,25
60 - 80	3,25	3,0
80 -100	3,0	2,75
100 - 150	2,75	2,5
150 -200	2,5	2,25
200 - 250	2,25	2,0
250 - 300	2,0	1,75
>300	1,75	1,5

5.2 Produktionsperiode 2009 - 2010

5.2.1 Aufzuchtergebnisse 2009 - 2010

Die Anlage wurde am 29.09.09 und am 5.10.09 mit K₁ besetzt. Die Abfischung der K₂ erfolgte vom 24.05.-26.05.2010. Die Aufzuchtergebnisse sind in Tab. 9 zusammengefasst.

Für die Satzkarpfenproduktion 2009 - 2010 ergab sich ein Zuwachs von ca. 98 t bei einer Endabfischungsmasse von 103,8 t. Die mittlere Abfischungsstückmasse betrug 577 g und der Stückmassezuwachs betrug 1,27 %/d. Die Futtermittelnutzung lag bei 1,27 kg/kg Fischzuwachs. Die Bruttoenergie einer Stichprobe der abgefischten Satzkarpfen hatte mit 10,7 MJ/kg einen sehr hohen Wert. Damit wiesen die Fische sehr gute konditionelle Voraussetzungen für die anschließende Aufzucht zum Speisekarpfen auf.

Alle Daten zeigten eine wesentliche Verbesserung gegenüber den vorangegangenen Produktionsperioden. Auch die Kennwerte der Aufgabenstellung wurden deutlich überschritten oder zumindest erreicht (vgl. Tab. 3).

Am 29.12.2009 trat durch einen Ausfall des Sauerstoff-Versorgungssystems eine Havarie auf. In deren Folge kam es zum Verlust von ca. 1,5 t Satzkarpfen. Weiterhin wurden ca. 1,5 t Fische aus dem Siebtrommelfilter zurück in die Becken gesetzt. Zusätzlich floh eine unbekannte Anzahl von Tieren über den Überlauf des Siebtrommelfilters. Aufgrund der für diese Aufzuchtperiode als relativ genau einzuschätzenden Werte der Bestandsmasse und Stückzahl bei Besatz und Abfischung wurden die Stückzahldifferenzen, die sich nach Abzug der erfassten Verluste ergaben, der Havarie zugeordnet. Die Verlustmasse infolge der Havarie betrug danach 2,18 t.

Ohne die Havarie würden sich Gesamtverluste von lediglich 0,45 % ergeben, die im Wesentlichen auf die Adaptionsphase in den drei Wochen nach dem Besatz konzentriert waren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wasserqualität und die Haltungsbedingungen in der Anlage sehr geringe Verluste ermöglichen.

Die Abfischungsmasse von 103,8 t lag deutlich über der geplanten Kapazität der Anlage von 80 t. Gegenüber dem vergangenen Jahr war die Besatzmasse geringer. Aufgrund der geringeren Stückmasse der Fische ergab sich aber trotzdem eine höhere Besatzstückzahl. Infolge des Einsatzes eines anderen Futters und der Nutzung der unter 5.1.3 aufgeführten Fütterungstabelle wurde ein deutlich höherer Stückmassezuwachs als in den vergangenen Jahren erzielt. Die Folge war, dass bereits im März die 80 t-Grenze der Anlage erreicht war. Neben der Installation zusätzlicher Sauerstoffeintragsgeräte in den Becken wurde auch die Fütterungsmenge ab diesem Zeitpunkt reduziert. Bei einer geringeren Besatzstückzahl und ohne die aufgetretene technische Havarie wären noch deutlich bessere Ergebnisse beim Zuwachs und der Futtermittelnutzung möglich gewesen.

Die Daten der Produktionsperiode 2009 - 2010 verdeutlichen das hohe Potenzial, das die Satzkarpfenaufzucht unter diesen Bedingungen besitzt.

Stichprobewägungen zur Bestimmung der aktuellen mittleren Stückmasse der Fische in den einzelnen Becken erfolgten im wöchentlichen Abstand. Dazu wurden anfänglich pro Becken ca. 300 Fische, später ca. 100 Fische pro Becken entnommen. Zusätzlich wurden am 14.10.2009, 17.12.2009, 4.02.2010 und 18.03.2010 mit Hilfe eines kleineren Zugnetzes intensivere Probewägungen mit einer Stückzahl von ca. 1.000 Fischen pro Becken vorgenommen. Aus diesen Werten wurde unter Berücksichtigung der Verluste der aktuelle Bestand berechnet. Beim Besatz lag der Stichprobenumfang der Probewägungen bei ca. 5.000 und bei der Abfischung bei ca. 700 Fischen pro Becken.

Die vorgegebenen Werte der täglich zu verabreichenden Futtermenge wurden an den Futterautomaten eingestellt. Diese Werte wurden für die einzelnen Becken aufsummiert. Aufgrund von Abweichungen zwischen eingestellter und real verabreichter Futtermenge lag die Summe der eingestellten Futtermenge aller Becken um 16 % über der Summe des gelieferten Futters. Die Futtergaben in den einzelnen Becken wurden dementsprechend proportional korrigiert. Als Futter kam ein Karpfenaufzuchtfutter mit 40 % Rohprotein, 24 % Rohfett und 22,2 MJ/kg Bruttoenergie zur Anwendung. Der Phosphorgehalt wurde mit 1,2 % angegeben. Die Pelletgröße lag bis Ende Dezember bei 2 mm, danach bei 3 mm.

Die Becken 5 bis 8 wurden wie im Vorjahr mit verschiedenen Störarten besetzt. Aus den Angaben in Tab. 9 ist erkennbar, dass der Zuwachs in diesen Becken nur 2,8 % des Gesamtzuwachses der Anlage betrug. Die Störe wurden daher bei der anschließenden Berechnung der Bestandsentwicklung in der Anlage wie im Vorjahr nicht berücksichtigt.

Ein wesentliches Problem der Aufzucht 2009 - 2010 lag erneut in den schwankenden Wasserdurchflüssen des Kraftwerks (s. 3.1.1). Die mittleren täglichen Durchflüsse sind in Abb. 15 dargestellt und die mittleren monatlichen Durchflüsse in Tab. 2 angegeben.

Von Oktober bis Anfang November 2009 lag die tägliche Wassermenge lediglich im Bereich von 160 - 240 m³/h. Dadurch wurde eine Kreislaufwasserführung mit ähnlichem Wasserdurchfluss notwendig. Im November wurden durchgehend Tagesmittel über 400 m³/h erreicht. Im Dezember bis Anfang Januar traten erneut deutliche Verringerungen der mittleren täglichen Wassermenge auf. Diese nahmen in den Folgemonaten ab, sodass meist Durchflüsse über 400 m³/h vorhanden waren. Anfang April führte die Wartung eines Blocks des Kraftwerks noch einmal zu einem längeren Wassermengenproblem. Die mittlere Wassermenge der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 lag bei 423 m³/h.

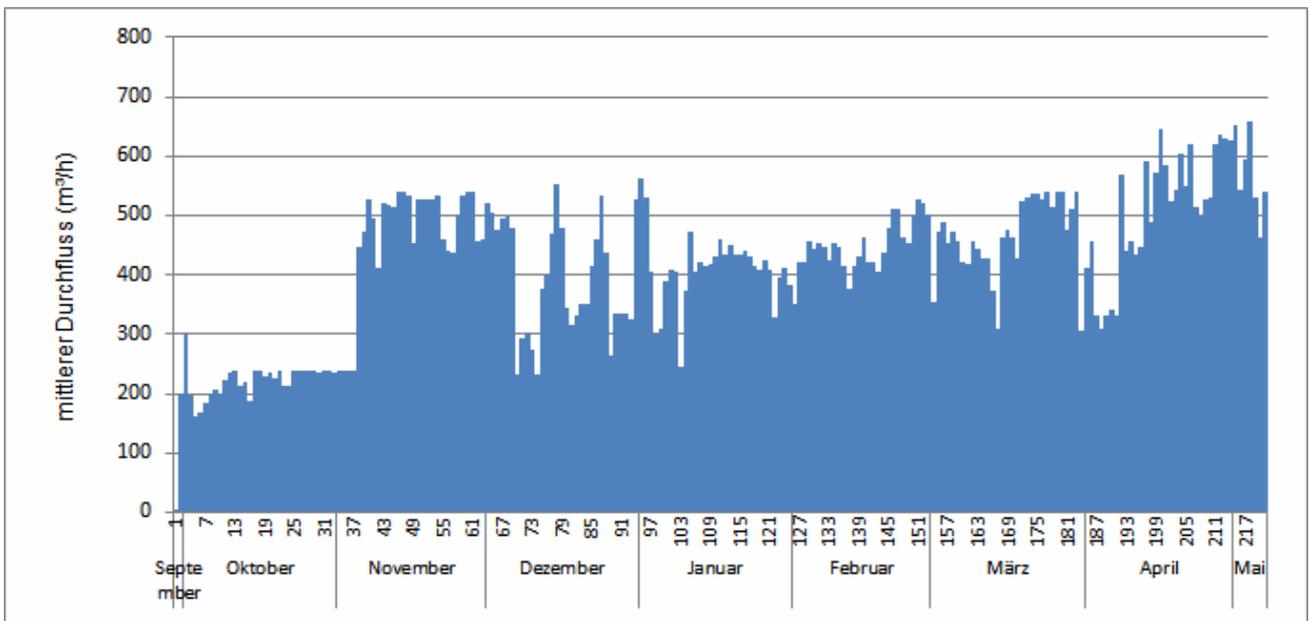


Abbildung 15: Mittlere tägliche Frischwasserdurchflüsse während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 in Abhängigkeit von den Produktionstagen

Auf die Reaktionsmaßnahmen bei der Verringerung der zugeführten Wassermenge wurde bereits unter 5.1.1 eingegangen. Die Folge sind zusammen mit der verringerten Futtermenge ein reduziertes Wachstum der Fische und eine verschlechterte Futtermittelnutzung.

Tabelle 9: Aufzuchtergebnisse der K₁ - K₂-Aufzuchtperiode 2009 - 2010

Becken	1	2	3	4	gesamt	5	6	7	8
Art/Alter	K1-K2	K1-K2	K1-K2	K1-K2	K1-K2	A. gueldenstädtii	A. gueldenstädtii	A. gueldenstädtii	A. gueldenstädtii
Aufzuchszeitraum	5.10. - 24.05.	29.09. - 24.05.	29.09. - 24.05.	29.09. - 24.05.		9.10. - 17.05.	9.10. - 17.05.	9.10. - 17.05.	9.10. - 17.05.
Besatz:									
Stück	50.300	50.500	50.500	50.500	201.800	1.230	1.562	1.562	1.562
Masse (kg)	1.540	1.416	1.416	1.416	5.788	155	200	200	200
Stückmasse (g)	30,6	28,0	28,0	28,0	28,7	126	128	128	128
Abfischung:									
Stück	47.863	41.111	50.097	40.913	179.984	1.038	1.318	1.236	1.248
Masse (kg)	24.745	25.160	23.195	30.685	103.785	817	961	855	967
Stückmasse (g)	517,0	612,0	463,0	750,0	576,6	787	729	692	775
Produktionskennwerte:									
Stückverluste (%)	4,8	18,6	0,8	19,0	10,8	15,6	15,6	20,9	20,1
Zuwachs (kg)	23.205	23.744	21.779	29.269	97.997	662	761	655	767
Produktionsdauer (d)	232	238	238	238	236,5	221	221	221	221
Stückmassezuwachs (%/d)	1,22	1,30	1,18	1,38	1,27	0,83	0,79	0,76	0,81
Futtereinsatz (kg)	28.944	32.536	30.375	30.685	122.540	1.667	1.965	2.004	2.194
FQ (kgFutter/kg Zuwachs)	1,25	1,37	1,39	1,05	1,25	2,52	2,58	3,06	2,86

5.2.2 Haltungsbedingungen und Wasserparameter 2009 - 2010

Der Durchfluss des sauerstoffangereicherten Frischwassers jedes Beckens lag bei „Normalwassermenge“ überwiegend im Bereich von 80 bis 110 m³/h. Zum Ende der Aufzuchtperiode im April und Mai 2010 konnten wieder höhere Werte eingestellt werden.

Aufgrund der häufigeren Verringerung des Wasserzuflusses musste die Kreislaufwasserführung 2009 - 2010 gegenüber dem Vorjahr verstärkt in Betrieb genommen werden. An 101 Tagen lag die mittlere Kreislaufwassermenge über 200 m³/h. Mit dem Kreislaufwasser lag die Wasserwechselrate in den Becken im Durchschnitt bei 0,78 h⁻¹. Der Höchstwert betrug 1,16 h⁻¹. Trotz der relativ niedrigen Wasserwechselraten gelingt es, in den großen Becken ausreichende Strömungsgeschwindigkeiten zum Austrag des Kots zu erzeugen.

Die Messwerte der wichtigsten Haltungsbedingungen, die während der Beprobung der Anlage in zweiwöchigem Abstand erfasst wurden, sind in Tab. 10 zusammengefasst. Dabei kam dieselbe Untersuchungsmethodik wie im Vorjahr zur Anwendung.

Die Temperatur lag mit einem Mittelwert von ca. 22,5 °C im optimalen Bereich für die Karpfenaufzucht. Die Standardabweichung der Messwerte und die automatische Aufzeichnung im Abstand von fünf Minuten zeigten eine stabile Aufrechterhaltung dieser Werte.

Die Sauerstoffkonzentrationen befanden sich überwiegend im Bereich des Sättigungswertes der Luft von 8,57 mg/l oder darüber und können daher als optimal eingestuft werden. Infolge der Schwankungen der Wasserzufuhr kam es an einigen Messtagen trotzdem zu geringeren Sauerstoffkonzentrationen, die aber die kritischen Werte von 3 - 4 mg/l nicht erreichten.

Die pH-Werte verringerten sich wiederum mit zunehmender Produktionsdauer. Die Ursache der pH-Absenkung liegt vor allem in der CO₂-Abgabe durch die Fische und der damit verbundenen Erhöhung der CO₂-Konzentration in den Becken. Mit zunehmendem Fischbestand steigen beide Parameter. Der pH-Wert im Zulauf lag im Mittel bei 8,3. Dadurch ergaben sich anfänglich noch pH-Werte zwischen 7,0 und 8,0 am Auslauf der Becken. Ab Mitte Februar lagen die pH-Werte bei 7,0 oder darunter.

Das Mittel der CO₂-Konzentration stieg mit dem Zuwachs des Fischbestandes an und erreichte ab März hohe Werte, die mehrfach 40 mg/l überstiegen. Für Warmwasserfische werden Höchstwerte der CO₂-Konzentration von 20-25 mg/l (COLT et al. 1991, SVOBODOVA et al. 1993, SCHRECKENBACH 2002) angegeben. Die Schädlichkeit hoher CO₂-Konzentrationen ist zusätzlich vom pH-Wert, der Alkalinität und der Sauerstoffkonzentration abhängig. Bei hohen Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Sättigungswertes und darüber können höhere CO₂-Konzentrationen durch die Fische toleriert werden (WEDEMEYER 1996, SCHRECKENBACH 2002). Anscheinend ertragen Warmwasserfische auch CO₂-Konzentrationen von 40 mg/l und mehr ohne sichtbare Schädigungen (PFEIFER 1987, COLT & WATTEN 1988, ZAHN 1991, WEDEMEYER 1996, SCHRECKENBACH 2002).

Die pH-Veränderung wirkt sich günstig auf das NH₄⁺ - NH₃-Dissoziationsgleichgewicht aus, das mit zunehmendem Fischbestand in die Richtung eines niedrigeren Anteils des fischtoxischen Ammoniaks verschoben wird. Dadurch wurde der NH₃-Grenzwert von 0,02 mg/l auch bei der höheren Ammoniumexkretion durch den größeren Fischbestand ab Mitte Dezember nicht überschritten. Zu Grenzwertüberschreitungen kam es nur in der Anfangsphase der Aufzucht bei einem geringen Fischbestand und demzufolge begrenzter CO₂-Abgabe durch die Fische. Erhöhte Verluste traten dadurch aber nicht auf. In dieser Phase muss versucht werden, durch sehr intensive Fütterung und nicht allzu hohen Frischwassereinsatz von ca. 30 - 40 m³/t*h, d. h. ca. 40 - 50 m³/h je Becken hohe Ammoniakkonzentrationen zu verhindern.

Es entsteht daher das Paradoxon, dass erhöhten NH₃-Werten eher mit fortgesetzter guter Fütterung bei nicht zu hohen Sauerstoffkonzentrationen zur Erzielung einer hohen CO₂-Abgabe durch die Fische sowie geringerem Wasserdurchfluss zur Steigerung der CO₂-Konzentration entgegenzuwirken ist und nicht, wie oft propagiert, durch die Verringerung der Futtermenge und mehr Frischwasser. Dieses Phänomen ist bereits in den 1980er-Jahren erkannt worden (PFEIFER 1987, RÜMMLER 2003).

Der mittlere Frischwassereinsatz verringerte sich ab März von 7,0 bis auf 4,8 m³/t*h zum Ende der Aufzuchtperiode. Durch die etwas erhöhten mittleren Wassermengen ab März wurde der bekannte Minimalwert des spezifischen Frischwassereinsatzes von ca. 5 m³/t*h trotz der hohen Endbestandsmasse nicht unterschritten.

Tabelle 10: Messwerte der wichtigsten Haltungparameter als Mittel der Werte der vier Becken während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010

Datum	O2 (mg/l)	Temperatur (°C)	pH	CO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	NH3 (mg/l)
14.10.2009	13,0	21,0	7,7		0,77	0,02
22.10.2009	10,9	21,6	7,8	6,0		
05.11.2009	12,8	21,5	6,7	24,5		
20.11.2009	10,2	23,0	7,5	22,3	1,29	0,028
26.11.2009	8,8	22,5	8,0	3,3	1,25	0,055
03.12.2009	8,5	22,7	7,6	9,8	1,54	0,026
17.12.2009	4,1	22,3	7,1	23,6	2,49	0,018
08.01.2010	8,6	22,4	7,1	20,6	1,75	0,003
21.01.2010	8,5	22,4	7,1	24,3	2,02	0,014
04.02.2010	5,7	22,4	7,1	29,0	2,98	0,016
18.02.2010	3,6	22,5	7,0	30,5	2,39	0,011
04.03.2010	5,8	22,6	6,8	40,8	3,18	0,010
18.03.2010	9,0	22,7	6,9	25,8	2,52	0,011
01.04.2010	6,1	22,9	6,7	40,4	3,85	0,009
15.04.2010	8,1	22,8	6,7	44,0	4,3	0,010
30.04.2010	8,9	25,2	7,1	30,5	2,3	0,016
05.05.2010	10,4	22,8	6,9	40,9	3,8	0,014
arithmetisches Mittel	8,4	22,5	7,2	26,0	2,4	0,017
Median	8,6	22,5	7,1	25,1	2,4	0,014
Standardabweichung	2,7	0,9	0,4	12,3	1,0	0,012

5.2.3 Modellierung der Fischbestandsentwicklung 2009 - 2010

Wie in der vorangegangenen Aufzuchtperiode erfolgte für die Zeitpunkte, an denen Stichprobewägungen durchgeführt wurden, d. h. im wöchentlichen Abstand, für jedes einzelne Becken die Berechnung der aktuellen Bestandsmasse und -stückzahl sowie des bisherigen Futtermittelsverbrauchs. Daraus wurden die Mittel- bzw. Summenwerte der produktionsbiologischen Kennziffern der vier Becken der K₁ - K₂-Aufzucht gebildet. Die Werte sind in Tab. 11 zusammengefasst.

Wie im vergangenen Jahr ist anhand der Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Bestandsmasse und der Stückzahl in Abb. 16 und 17 sichtbar, dass die Zunahme der Stückmasse und der Bestandsmasse eher linear statt exponentiell verläuft. Die Ursache dürfte auch hier in der während der zweiten Produktionshälfte häufiger aufgetretenen Verminderung der Wasserzufuhr aus dem Kraftwerk gelegen haben. Hinzu kamen während dieser Aufzuchtperiode die zum Teil angespannten Sauerstoffverhältnisse und die hohen Bestandsdichten. Allen Problemsituationen wurde mit verringerten Futtergaben entgegengewirkt, die zu einem verminderten Zuwachs geführt haben dürften. Außerdem lag die real verarbeitete Futtermenge zum Anfang der Aufzucht unterhalb der empfohlenen Werte (s. u.).

Den Beginn der Darstellung der Bestandsmasse und der Stückmasse bildet die erste Stichprobewägung am 14.10.2009. Bis dahin war nur ein geringer Stückmassezuwachs erfolgt. Es wurde wiederum eine polynomische Funktion, hier sechster Ordnung, als Ausgleichsfunktion des Bestandes und der Stückmasse gewählt. Beide Funktionen sind ebenfalls in den Abb. 16 und 17 angegeben. Da die Verluste sehr gering waren bzw. keinen Einfluss auf die Kontinuität der Bestandsentwicklung hatten, wurde auch hier die Bestandsmassefunktion zur Berechnung der weiteren Werte genutzt.

Bei der Berechnung der Ausgleichsfunktionen wurden die beiden letzten Werte vor der Abfischung eliminiert, da sie deutlich über dem späteren Abfischungsergebnis lagen.

Der Verlust durch die Havarie am 29.12.2009 betrug nur 8,6 % des zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Bestandes und führte zu keiner Diskontinuität in der Bestandsentwicklung. Außerdem erfolgte bei der Berechnung der Ausgleichsfunktionen eine Wichtung der einzelnen Bestandsmasse- und Stückmassewerte entsprechend der Anzahl der gewogenen Fische.

In Tab. 11 sind als berechnete Werte weiterhin der Stückmassezuwachs in %/d, der Futterquotient und die mittlere tägliche Futtermenge in % der Bestandsmasse aufgeführt.

Nach anfänglich gutem Stückmassezuwachs durch hohe Futtergaben ist das geringe Wachstum im November 2009 anscheinend auf die dann folgende verhaltene Fütterung zurückzuführen. Dazu könnten auch die Ungenauigkeiten bei der Einstellung der Futterautomaten beigetragen haben. Ab Ende November 2009 bis Mitte Januar 2010 ergaben sich gute bis sehr gute Werte der Futtermenge und des Stückmassezuwachses bei sinkenden Futtergaben von 2,35 %/d auf 1,3 %/d. Die Fische hatten in diesem Zeitabschnitt eine mittlere Stückmasse von 76 - 176 g.

Die höchsten Futtergaben von 2,5 - 2,9 %/d wurden anschließend bei einer Stückmasse von 196 bis 240 g verabreicht und hatten erhöhte FQ-Werte bei moderatem Stückmassezuwachs zur Folge. Ab Anfang Februar 2010 sank das Stückmassewachstum bei schrittweise verringerter Futtermenge von ca. 1,2 - 1,3 %/d auf Werte von 0,7 %/d ab.

In Tab. 12 sind die in Tab. 8 empfohlene tägliche Futtermenge, die 2009 - 2010 real verabreichte Futtermenge und die damit erreichten Werte des Stückmassewachstums und der Futtermenge in Abhängigkeit von der Stückmasse aufgeführt. Die Futtermenge bis zu einer Stückmasse von 200 g lässt erkennen, dass insbesondere in der Anfangsphase höhere Futtergaben möglich gewesen wären. Im Stückmassebereich 200 - 300 g war die Fütterungsrate zu hoch. Die Werte zeigen, dass durch eine noch besser angepasste Fütterung weitere produktionstechnologische Verbesserungen erzielt werden können.

Tabelle 11: Bestandsmasse, Stückzahl und weitere produktionsbiologische Daten zu den Zeitpunkten der Probewägungen 2009 - 2010

Tag	Datum	Bestands- masse Probe- wägungen (kg)	Bestands- masse Ausgleich (kg)	Stückzahl Probe- wägungen (Stück)	Stückmasse Ausgleich (g)	Stückmasse- zuwachs (%/d)	Bestands- zuwachs Abschnitt (kg)	Futtermenge Abschnitt (kg)	FQ (kg Futter/kg Zuwachs)	Mittel tägliche Futtermenge Abschnitt (%/d)
1	14.10.09	5.795	5.781	151.500	29			345		
8	22.10.09	7.983	7.300	200.932	39	4,30	1.519	1.143	0,75	2,82
15	29.10.09	7.277	8.490	200.870	45	2,07	1.190	1.000	0,84	2,05
22	05.11.09	8.983	9.590	200.718	49	1,32	1.100	1.291	1,17	2,31
29	12.11.09	10.135	10.771	200.717	53	1,21	1.181	1.356	1,15	2,15
36	19.11.09	12.343	12.148	200.713	59	1,40	1.377	1.558	1,13	2,20
43	26.11.09	14.198	13.789	200.676	66	1,69	1.641	1.583	0,96	1,97
50	03.12.09	17.106	15.725	200.666	76	1,95	1.936	2.150	1,11	2,35
57	10.12.09	20.016	17.959	200.647	88	2,10	2.234	2.366	1,06	2,27
64	17.12.09	20.442	20.475	200.616	102	2,15	2.516	2.688	1,07	2,26
71	24.12.09	23.071	23.244	200.616	119	2,11	2.769	3.671	1,33	2,71
78	31.12.09	24.614	26.229	200.616	136	2,01	2.985	2.622	0,88	1,71
85	07.01.10	29.249	29.391	180.334	156	1,88	3.162	2.098	0,66	1,22
92	14.01.10	31.404	32.693	180.334	176	1,74	3.302	2.622	0,79	1,36
99	21.01.10	32.785	36.104	180.334	196	1,59	3.411	6.271	1,84	2,94
106	28.01.10	40.922	39.600	180.247	217	1,45	3.496	5.958	1,70	2,54
113	04.02.10	43.757	43.166	180.189	239	1,33	3.566	6.340	1,78	2,47
120	11.02.10	42.271	46.797	180.141	260	1,22	3.631	6.135	1,69	2,20
127	18.02.10	48.442	50.497	180.129	281	1,12	3.700	5.726	1,55	1,90
134	25.02.10	58.392	54.276	180.129	302	1,04	3.779	6.135	1,62	1,89
141	04.03.10	62.543	58.152	180.111	324	0,98	3.876	5.701	1,47	1,64
148	11.03.10	64.637	62.142	180.103	346	0,94	3.991	5.467	1,37	1,47
155	18.03.10	65.033	66.265	180.103	368	0,90	4.122	4.609	1,12	1,16

Tag	Datum	Bestands- masse Probe- wägungen (kg)	Bestands- masse Ausgleich (kg)	Stückzahl Probe- wägungen (Stück)	Stückmasse Ausgleich (g)	Stückmasse- zuwachs (%/d)	Bestands- zuwachs Abschnitt (kg)	Futtermenge Abschnitt (kg)	FQ (kg Futter/ kgZuwachs)	Mittel tägliche Futtermenge Abschnitt (%/d)
162	25.03.10	74.289	70.528	180.100	392	0,87	4.264	6.117	1,43	1,44
169	01.04.10	76.569	74.930	180.090	416	0,85	4.402	6.117	1,39	1,36
176	08.04.10	79.809	79.446	180.070	441	0,83	4.516	6.117	1,35	1,28
183	15.04.10	82.841	84.025	180.059	466	0,81	4.579	4.679	1,02	0,92
190	22.04.10	86.801	88.580	180.046	492	0,77	4.555	5.176	1,14	0,97
197	29.04.10	95.524	92.978	180.031	517	0,71	4.397	4.696	1,07	0,84
222	24.05.10	103.785	103.802	179.984	577	0,44	10.825	10.803	1,00	0,50

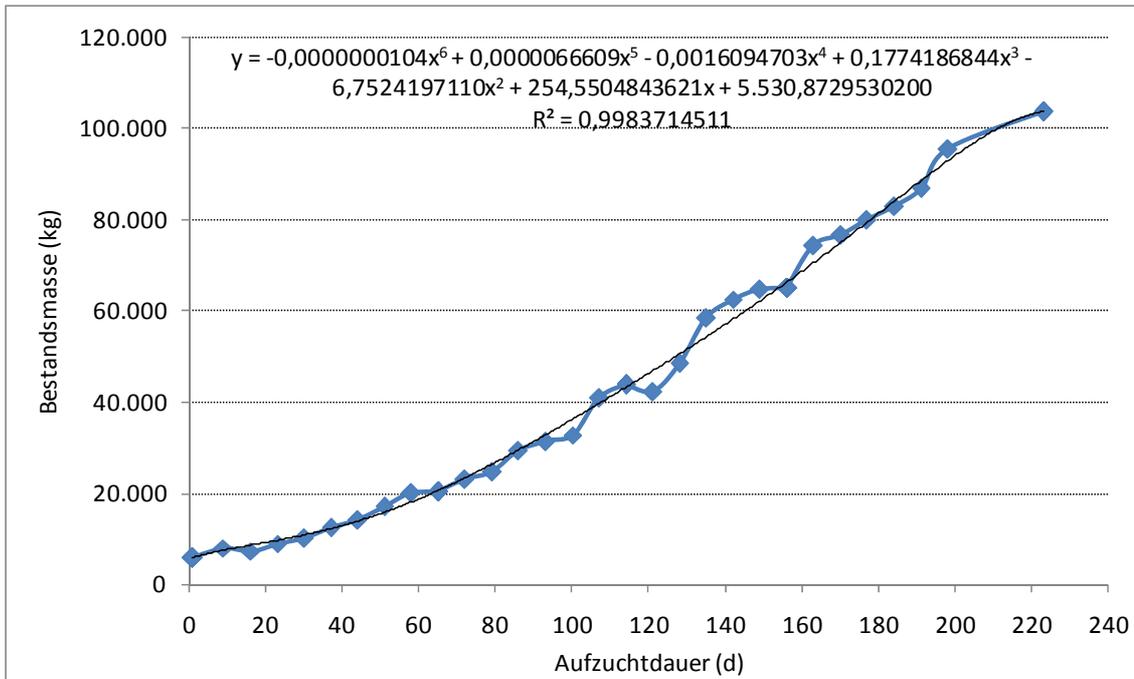


Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung der Stück-masse während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010

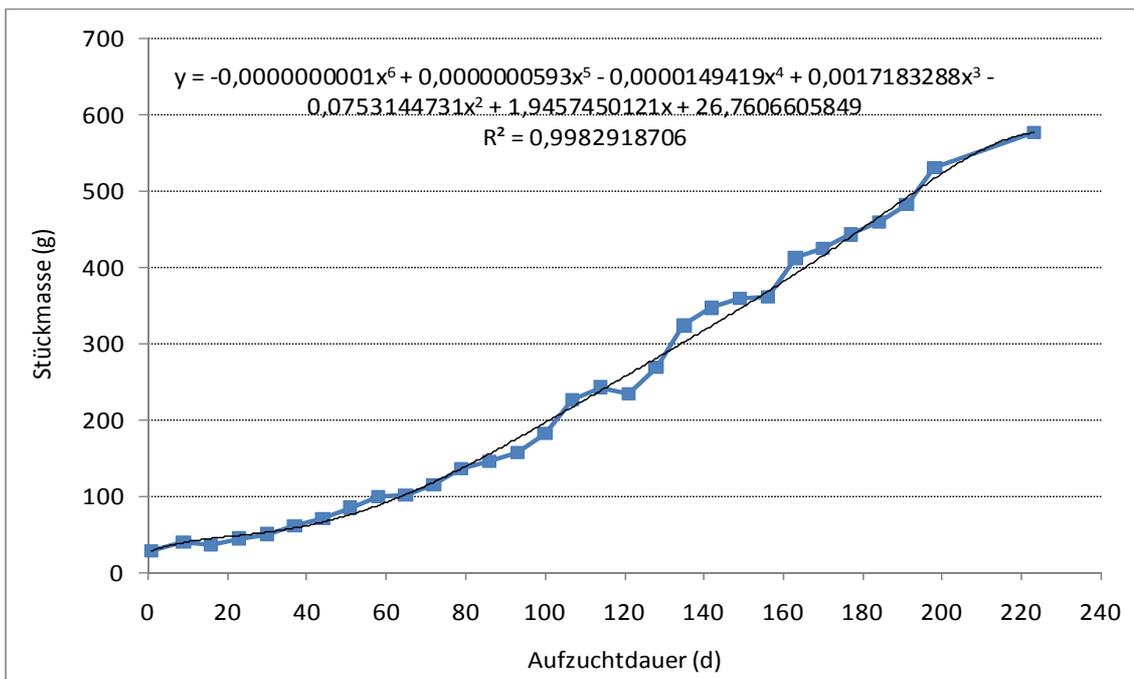


Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Bestands-masse während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010

Tabelle 12: Empfohlene tägliche Futtermenge, 2009 - 2010 real verabreichte Futtermenge und damit erreichte Werte des Stückmassewachstums und der Futtermittelnutzung in Abhängigkeit von der Stückmasse

Stückmasse (g)	mittlere tägliche Futtermenge Abschnitt (%/d)		FQ (kg/kg Zuwachs)	Stückmasse-zuwachs (%/d)
	vorgegeben	verabreicht		
30 - 50	3,25	2,33	0,98	2,22
50 - 100	3,00	2,21	1,07	1,86
100 - 150	2,50	1,98	0,98	2,04
150 - 200	2,25	1,84	1,10	1,74
200 - 250	2,00	2,54	1,75	1,40
250 - 300	1,75	2,00	1,62	1,13
300 - 400	1,50	1,52	1,40	0,95
400 - 500		1,07	1,19	0,79

6 Ergebnisse der Bestimmungen der Emissionsfrachten und Entnahmeraten

6.1 Phosphor

Phosphor (Gesamtphosphor TP) ist in der Regel der begrenzende Nährstoff für die Primärproduktion in den Gewässern und damit auch der für die Bewertung der Emissionen von Fischzuchtanlagen vorrangig zu betrachtende Parameter. Weiterhin ist Phosphor für die Veranlagung zur Abwasserabgabe nach den bisherigen Berechnungen der einzige zu berücksichtigende Parameter (s. 3.3).

Die Auswertung der Emissionsmessungen wird daher anhand des Parameters Gesamtphosphor TP ausführlicher dargestellt. Für die weiteren gemessenen Parameter werden nur die wichtigsten Verläufe grafisch dargestellt und die Ergebnisse vorrangig in Tabellenform zusammengefasst.

6.1.1 Phosphor-Emissionen des Fischbestandes

In Abb. 18 und 19 sind die TP-Konzentrationsmesswerte im Anlagenzulauf und in der zentralen Beckenablaufrinne (Beckenablauf) sowie die Konzentrationsdifferenz, d. h. die im Wesentlichen durch den Fischbestand verursachte Konzentrationsaufstockung beider Aufzuchtperioden dargestellt. Abb. 20 und 21 zeigen die absoluten TP-Frachtwerte des Fischbestandes, die nach Gleichung 5 ermittelt wurden.

Die TP-Emissionen des Absetzbeckens wiesen nur einen geringen Anteil an der mittleren TP-Fracht in der zentralen Beckenablaufrinne von 4 - 10 bzw. 4 - 13 % auf. Zusätzlich sind in diesen Abbildungen die zugehörigen Bestandsmassen und Futtermengen eingezeichnet.

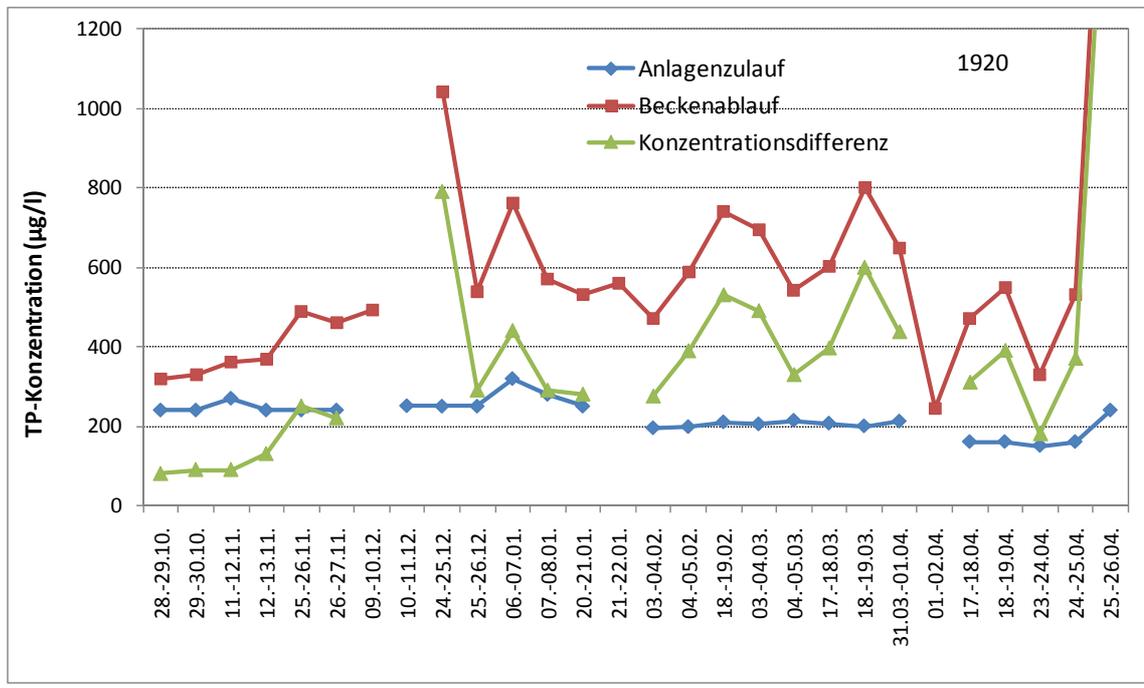


Abbildung 18: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben am Einlauf und Beckenablauf 2008 - 2009

Es ist erkennbar, dass während beider Aufzuchtperioden am Auslauf der Becken große Schwankungen der TP-Konzentration auftraten. Diese führten zu entsprechenden Streuungen der absoluten TP-Frachten des Fischbestandes.

Der zu erwartende Anstieg der TP-Konzentrationsdifferenz zwischen Zulauf und Beckenablauf sowie der absoluten TP-Frachten des Fischbestandes mit steigendem Futtereinsatz war 2008 - 2009 ansatzweise bis Anfang März sichtbar. Im weiteren Verlauf der Aufzuchtperiode ließ sich, wahrscheinlich durch die dann häufiger reduzierte Wassermenge und die unregelmäßige Fütterung, kein eindeutiger Verlauf der absoluten Emissionen mehr erkennen.

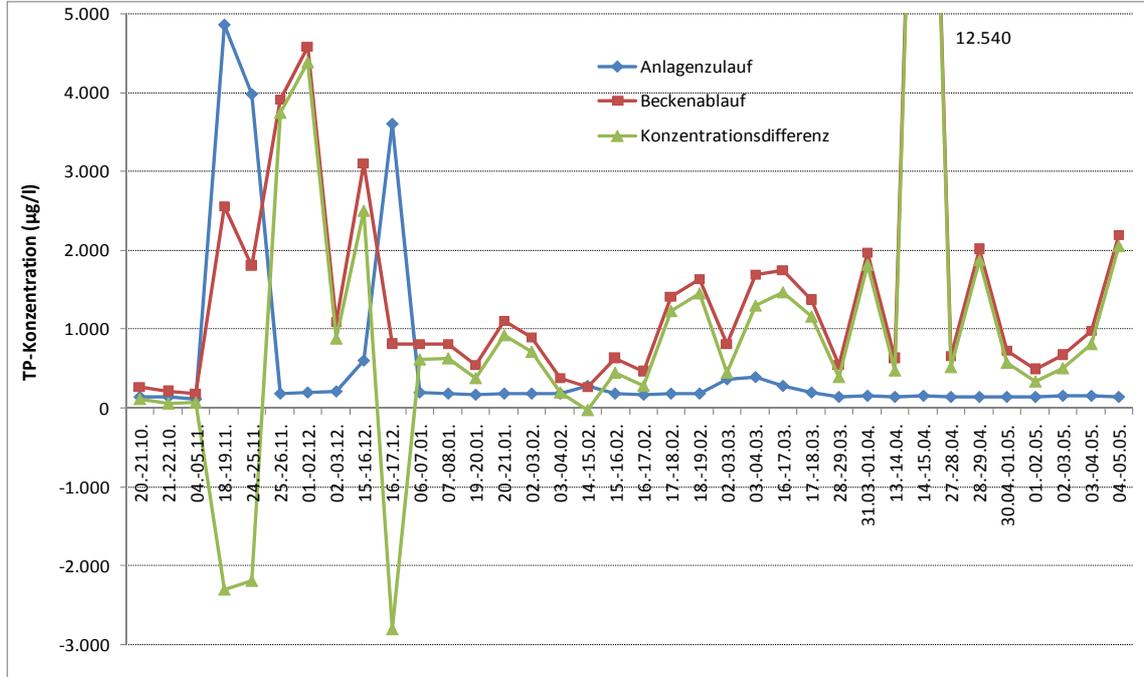


Abbildung 19: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben am Einlauf und Beckenablauf 2009 - 2010

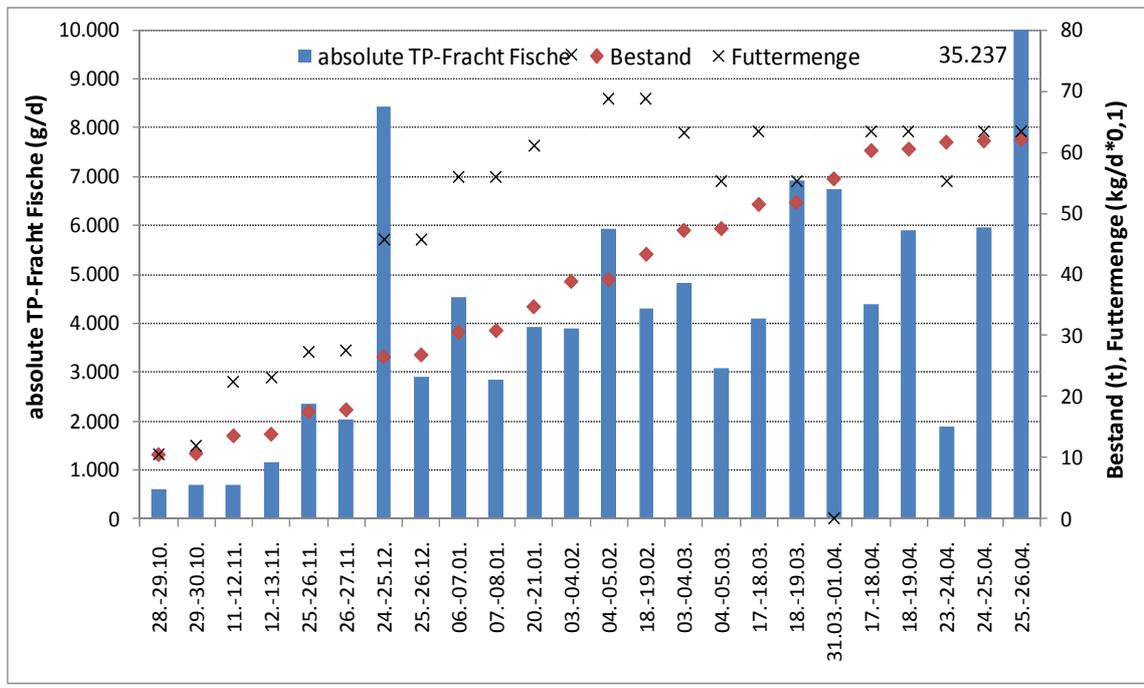


Abbildung 20: Absolute TP-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung der Bestandsmasse und der Futtermenge 2008 - 2009

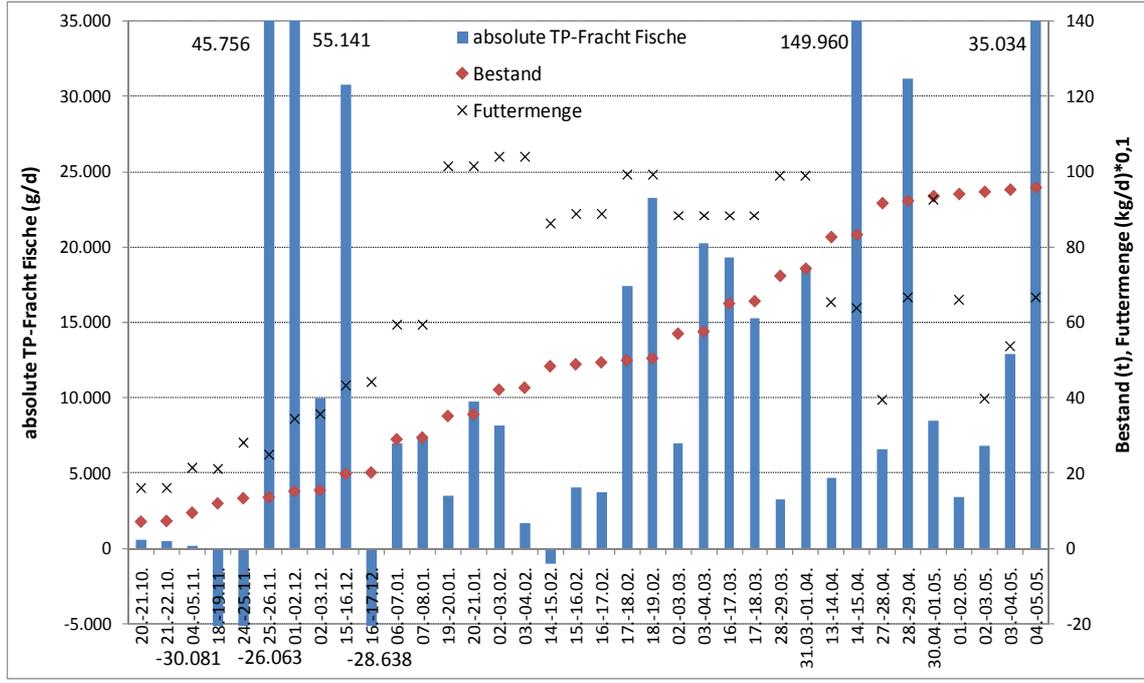


Abbildung 21: Absolute TP-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung der Bestandsmasse und der Futtermenge 2009 - 2010

Im Vergleich zur Aufzuchtperiode 2008 - 2009 ergaben sich 2009 - 2010 deutlich größere Schwankungen der TP-Konzentration am Beckenablauf bzw. der Konzentrationsdifferenz zwischen Zulauf und Beckenablauf. Dasselbe gilt für die vom Fischbestand abgegebenen TP-Frachten. Insbesondere traten im November und Dezember 2009 sehr hohe positive und negative Werte auf. Die drei negativen Frachtwerte hatten ihre Ursache in sehr hohen TP-Zulaufkonzentrationen von mehreren mg/l, deren Ursache nicht geklärt werden konnte. Nur im Zeitraum ab Januar bis Anfang April 2010 ist eine leichte Tendenz des Anstiegs der TP-Konzentrationsdifferenz und der absoluten TP-Frachten mit steigendem Futtereinsatz erkennbar. Parallel dazu traten aber immer wieder sehr niedrige Konzentrations- und Frachtwerte auf.

Die auf die täglich verabreichte Futtermenge bezogenen TP-Frachten beider Aufzuchtperioden sind in Abb. 22 und 23 dargestellt. Das Futter stellt den exaktesten Bezug für die spezifischen Frachten dar, da hier neben den Messfehlern bei der Bestimmung der absoluten Frachten nur die Ungenauigkeiten bei der Einstellung der Futterautomaten als Fehlerquelle auftreten. Auch

für die futterbezogenen TP-Frachten der Fische ergaben sich während beider Aufzuchtperioden große Streuungen der Werte, insbesondere während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010.

In Abb. 22 und 23 ist zusätzlich der Futterquotient für die einzelnen Messtage eingezeichnet. Die Verringerung des spezifischen Zuwachses mit zunehmender Stückmasse als Folge der sich verringernden Stoffwechselintensität oder relativen metabolischen Masse der Fische führt generell zu einer Verschlechterung der Futterverwertung und zum Anstieg des Futterquotienten. Theoretisch müssten dadurch auch die spezifischen TP-Emissionen ansteigen. Eine derartige Tendenz ist aber nur sehr undeutlich 2009 - 2010 erkennbar. Hinzu kommt die ab April 2010 verringerte Futtermenge. Auch dieser Sachverhalt kennzeichnet das Vorhandensein anderer bedeutender Einflussgrößen mit wahrscheinlich zufälligem Charakter oder die Auswirkungen der Bewirtschaftungsinstabilitäten.

Die TP-Frachtwerte der Fische bezogen auf den Fischbestand, die verabreichte tägliche Futtermenge und den Zuwachs sind als Mittel- und Medianwerte in Tab. 13 dargestellt. Als Maß für die Streuung der Werte wurden die Standardabweichung und das 90-Perzentil angegeben. Aufgrund der extremen Streuungen der Werte während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 wurden alle Ausreißer mit einer Konzentrationsdifferenz zwischen Beckenauslauf und Anlagenzulauf von über 1,8 mg TP/l und unter - 2 mg TP/l eliminiert. Insgesamt handelte es sich um zehn Werte, d. h. 28 % der Messungen. Die entsprechenden Frachtwerte wurden ebenfalls in Tab. 13 aufgeführt.

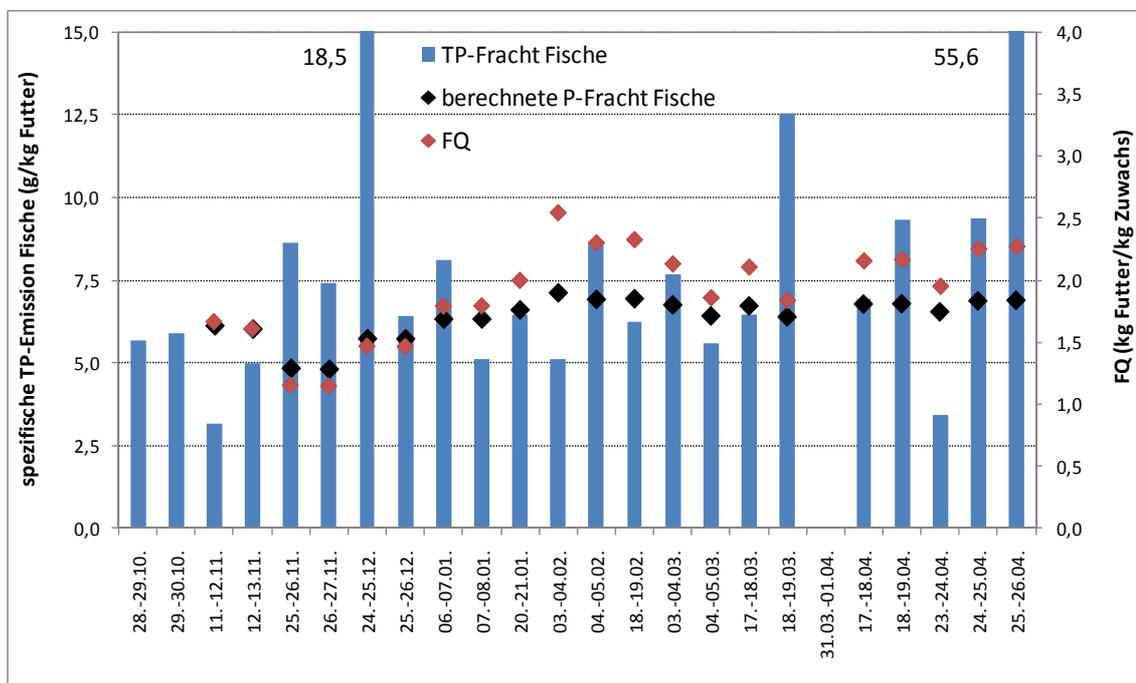


Abbildung 22: Spezifische TP-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge 2008 - 2009

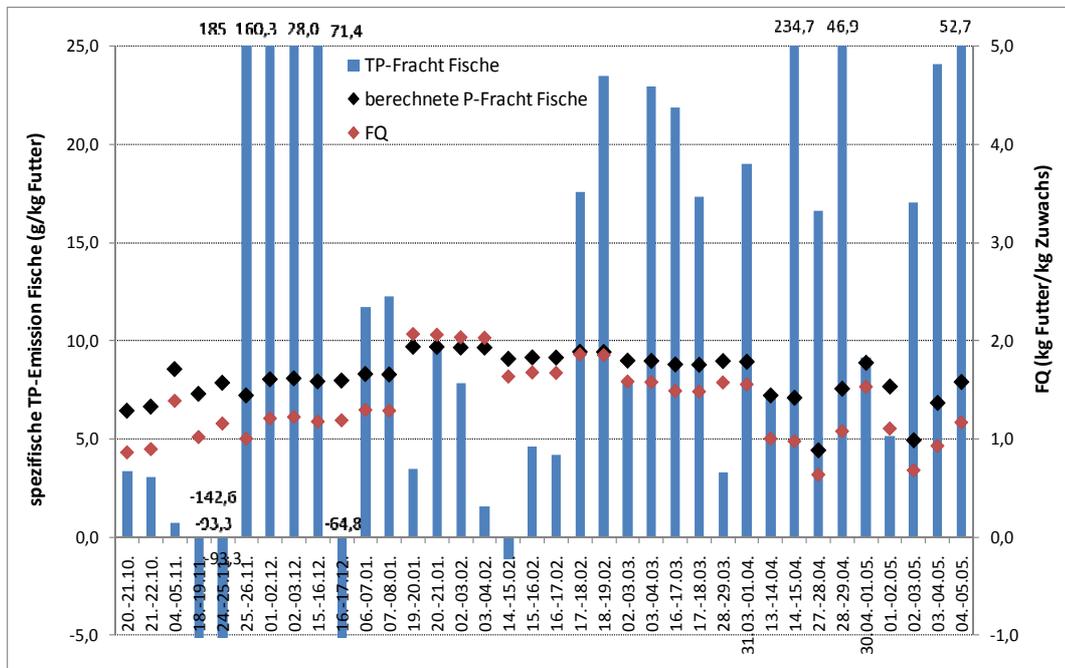


Abbildung 23: Spezifische TP-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge 2009 - 2010

Die mittleren Phosphoremissionen infolge des Stoffwechsels der Fische lassen sich mit ausreichender Genauigkeit rechnerisch bilanzieren. Die Berechnung der spezifischen Phosphorfracht (Gesamtposphor TP) erfolgt auf der Basis einer einfachen zuwachsbezogenen Massebilanz: durch das Futter zugeführter Phosphor - im Fisch gebundener Phosphor = Phosphoremission ins Wasser bzw. in den abgesetzten Stoffen (Gl. 14) (BARTHELMES u. PREDEL 1983, PREDEL 1983, HÅKANSON et al. 1988, KNÖSCHE 1992).

Tabelle 13: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen TP-Frachten des Fischbestandes

	g TP/t * d	g TP/kg Futter	g TP/kg Futter	g TP/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	125,3	9,4	6,4	20,3
Median	99,5	6,5	6,5	13,3
Standardabweichung	108,7	10,6	0,6	33,2
prozentuale Standardabweichung*	109,2	163,6	9,8	249,3
90-Perzentil	235	16	7	28
Aufzuchtperiode 2009 - 2010				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	268,4	20,9	8,1	24,3
Median	111,1	9,4	8,3	13,3
Standardabweichung	1.092,4	65,0	1,3	68,7
prozentuale Standardabweichung*	983,4	692,5	13,8	517,3
90-Perzentil	1632	98	10	114
Aufzuchtperiode 2009 - 2010 nach Eliminierung von Ausreißern				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	162,8	10,0	8,1	14,2
Median	87,1	7,9	8,3	11,0
Standardabweichung	159,5	8,2	1,4	12,6
prozentuale Standardabweichung*	183,2	103,9	15,2	114,2
90-Perzentil	394	49	10	54

* bezogen auf den Medianwert

Die zuwachsbezogenen P-Frachten sind vom Phosphorgehalt des Futters und der Futtermittelverwertung durch die Fische abhängig. Gleichung 15 und 16 geben die Umrechnung auf futterbezogene und bestandsbezogene P-Frachten an.

$$m_{\text{EFPZ}} = (x_{\text{P}} * \text{FQ}) - m_{\text{PR}} \quad (\text{Gl. 14})$$

$$m_{\text{EFPF}} = m_{\text{PZ}} / \text{FQ} \quad (\text{Gl. 15})$$

$$m_{\text{EFPB}} = m_{\text{EFPF}} * \text{TFM} \quad (\text{Gl. 16})$$

m_{EFPZ} Phosphorfracht der Fische bezogen auf den Fischzuwachs (g P/kg Zuwachs)

x_{P} Phosphorgehalt des Futters (g P/kg Futter)

FQ Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)

m_{PR} Phosphorgehalt des Karpfens (g P/kg Fisch = g P/kg Zuwachs), 0,48 % = 4,8g P/kg Zuwachs (s. SCHRECKENBACH et al. 2001)

m_{EFPF} Phosphorfracht der Fische bezogen auf die Futtermenge (g P/kg Futter)

m_{EFPB} tägliche Phosphorfracht der Fische bezogen auf die Fischbestandsmasse (g P/t Fischbestandsmasse * d)

TFM täglich verabreichte Futtermenge (kg Futter/t Fischbestand * Tag)

In Abb. 22 und 23 sind zusätzlich die errechneten spezifischen P-Frachten des Fischbestandes als g TP/kg Futter eingezeichnet.

Die gemessenen mittleren spezifischen TP-Frachten des Fischbestandes sind 2009 - 2010 trotz der besseren Futtermittelverwertung höher als 2008 - 2009. Ursache könnte der höhere P-Gehalt des Futters von 1,2 % 2009 - 2010 gegenüber 0,9 % 2008 - 2009 sein. Die ebenfalls höheren berechneten Werte unterstützen diese Vermutung. Die Streuungen der gemessenen spezifischen TP-Frachten des Fischbestandes waren während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 ebenfalls bedeutend höher als während der vorangegangenen Produktionsperiode.

Die berechneten P-Emissionen ergaben geringere oder ähnliche Mittelwerte und geringere Standardabweichungen gegenüber den gemessenen futterbezogenen Frachten der Fische. Werden der Medianwert für die Aufzuchtperiode 2008 - 2009 und der von Ausreißern befreite Medianwert 2009 - 2010 betrachtet, so ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem Mittel der berechneten und der gemessenen futterbezogenen Frachten der Fische. Größere Schwankungen der einzelnen futterbezogenen P-Frachtwerte traten bei den berechneten Werten nicht auf. Auf die möglichen Ursachen der großen Streuungen der gemessenen TP-Werte wird in der Diskussion (8.) eingegangen.

Die Mittelwerte der messtechnisch ermittelten futterbezogenen Frachten der Fische lagen 2009 - 2010 alle und 2008 - 2009 teilweise über dem Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 7 g TP/kg Futter. Dasselbe gilt für die berechneten Werte der Aufzuchtperiode 2009-2010. Auf die kontinuierliche Reinigung des Ablaufwassers aus den Becken mit dem Siebtrommelfilter kann daher zur Einhaltung des Standes der Technik entsprechend der "Hinweise" nicht verzichtet werden.

6.1.2 Phosphor-Entnahme durch den Siebtrommelfilter

In Abb. 24 und 25 sind die Verläufe der TP-Konzentrationen in der zentralen Beckenablaufrinne und im Anlagenablauf für beide Aufzuchtperioden dargestellt. Die Differenz zwischen beiden Werten stellt die Konzentrationsverringerung durch den Siebtrommelfilter dar. Diese wurde auf den Wert der zentralen Beckenablaufrinne, d. h. den Siebtrommelfilterzulauf, bezogen und als prozentuale TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters ebenfalls in Abb. 24 und 25 dargestellt.

Generell unterliegen auch die TP-Entnahmeraten durch den Siebtrommelfilter wieder sehr großen Schwankungen. Im Vergleich beider Aufzuchtjahre waren die Streuungen 2009 - 2010 ebenfalls wieder höher als 2008 - 2009. Zumindest liegen aber in den meisten Fällen die Zulaufkonzentrationen zum Siebtrommelfilter über den Ablaufkonzentrationen.

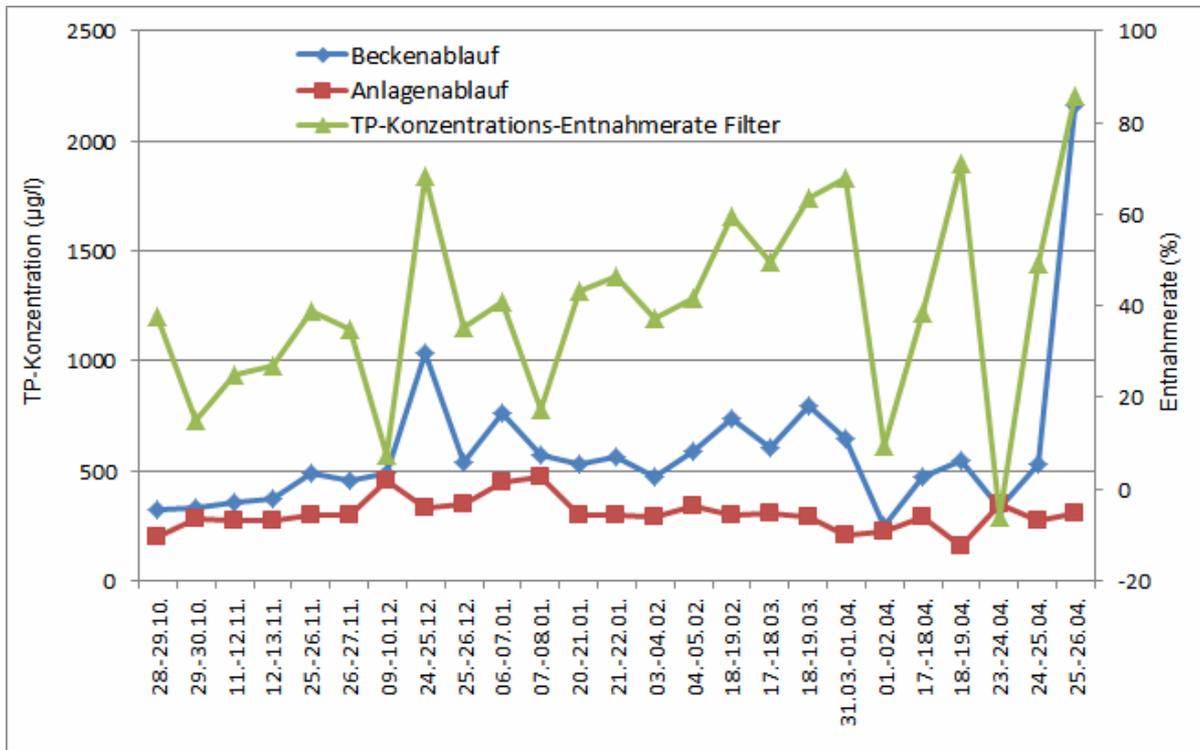


Abbildung 24: TP-Konzentrationen am Beckenablauf und am Anlagenablauf sowie TP-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter 2008 - 2009

In Abb. 26 und 27 sind die TP-Frachten am Anlagenablauf und die TP-Frachten der Entnahme durch den Siebtrommelfilter als Säulen übereinander dargestellt. Die Säulenhöhe insgesamt gibt die TP-Fracht in der zentralen Beckenablaufrinne an. Zusätzlich ist die TP-Entnahmerate in % der Fracht des Zulaufs zum Siebtrommelfilter, d. h. der Fracht in der zentralen Beckenablaufrinne, angegeben.

Die TP-Entnahmeraten beider Aufzuchtperioden sind in Abb. 28 in Abhängigkeit von der TP-Zulauffracht des Siebtrommelfilters und in Abb. 29 in Abhängigkeit von der TP-Zulaufkonzentration dargestellt.

Die Mittelwerte der TP-Entnahmeraten betragen 40,2 % (arithmetisches Mittel) bzw. 38,8 % (Median) während der ersten Aufzuchtperiode und 36,9 % bzw. 49,3 % während der zweiten Aufzuchtperiode. Die Standardabweichungen von absolut 22 % und relativ 56 % 2008 - 2009 bzw. absolut 49 % und relativ 102 % 2009 - 2010 unterstreichen die hohen Streuungen während beider Aufzuchtperioden (Tab. 14).

Die Entnahmeraten während der ersten Phase der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 erscheinen durch anfänglich negative Werte, einen Null-Wert und Werte nahe 100 % wenig sinnvoll. Die große Differenz zwischen dem arithmetischen Mittelwert und dem Median von 36,9 % zu 49,3 % und die hohen Streuungen weisen ebenfalls darauf hin. Es wurden daher zusätzlich die Entnahmeraten nur für das Jahr 2010 angegeben. In Abb. 28 und 29 wurden ebenfalls nur die Werte ab 2010 dargestellt. Für diesen Zeitraum ergaben sich mit einem arithmetisches Mittel von 48,9 % und einem Median von 52,1 % weitgehend übereinstimmende Werte. Diese Entnahmeraten sind damit um ca. 10 % höher als im Vorjahr. Auch die Standardabweichung der Entnahmeraten ab 1.1.2010 ist deutlich geringer als die für die gesamte Aufzuchtperiode 2009 - 2010.

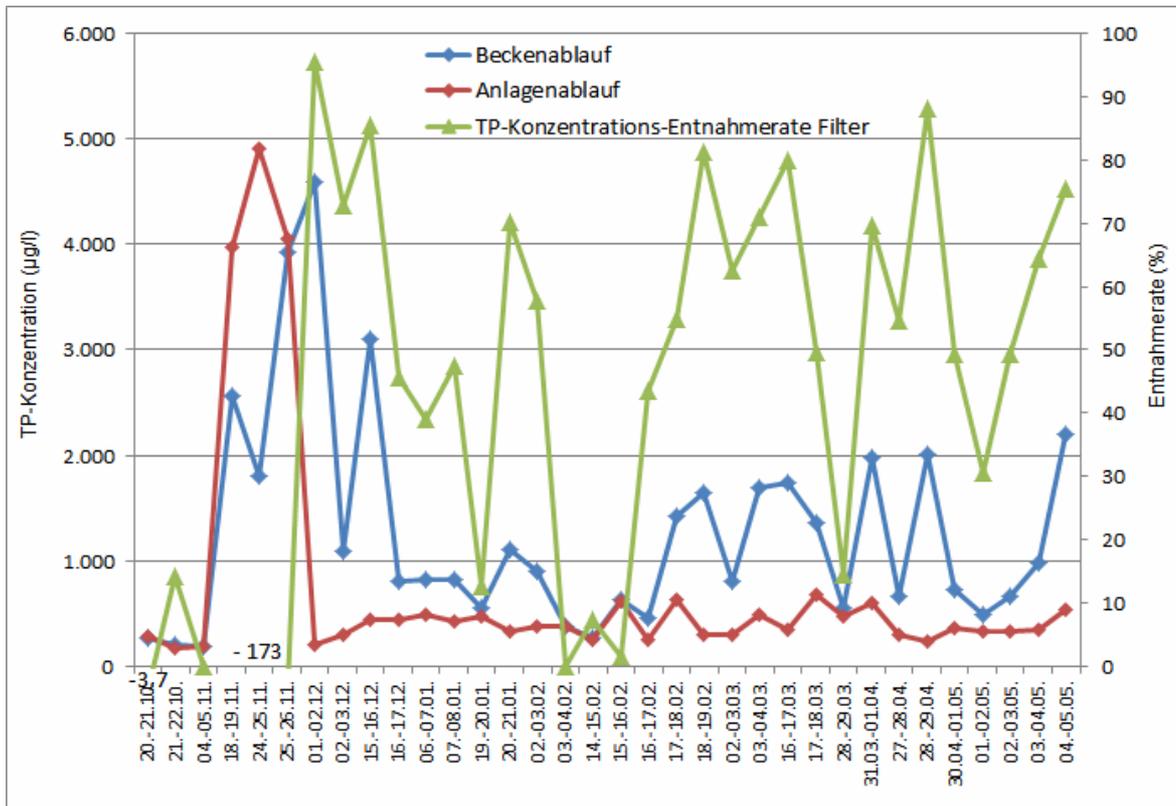


Abbildung 25: TP-Konzentrationen am Beckenablauf und am Anlagenablauf sowie TP-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter 2009 - 2010

Entsprechend Abb. 28 und 29 steigt die TP-Entnahmerate zunächst mit der TP-Zulaufkonzentration an. Diese Abhängigkeit dürfte darauf zurückzuführen sein, dass der Anstieg der TP-Zulaufkonzentration mit einer verstärkten Konzentration partikulärer Stoffe verbunden ist, die in den Maschen des Siebtrommelfilters in steigendem Umfang zurückgehalten werden. Bei den ab Mitte Februar 2010 häufiger aufgetretenen hohen Frachtwerten kam es dann zu einer nahezu gleichbleibenden bzw. nur noch unwesentlich erhöhten TP-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter. Diese nahezu gleichbleibende maximale TP-Entnahmerate liegt im Bereich von 70 - 80 %.

Die Emissionen der Fische liegen in gelöster und partikulärer Form vor. In Durchflussanlagen lassen sich nach dem Stand der Technik nur partikulär gebundene Stoffe, d. h. Kot, Futterreste und Schleim, aus dem Ablaufwasser entfernen.

Die Phosphor-Emissionen, die partikulär im Kot gebunden sind, können mit Hilfe der Phosphor-Verdaulichkeit nach Gleichung 17 berechnet werden (BUREAU et al. 2003, PAPATRYPHON et al. 2005, SCHRECKENBACH et al. 2005, BRINKER et al. 2006). Als Werte der P-Verdaulichkeit werden für die gegenwärtigen Futtermittel 50 - 65 % angegeben (BUREAU et al. 2003, PAPATRYPHON et al. 2005, SCHRECKENBACH et al. 2005, BRINKER et al. 2006).

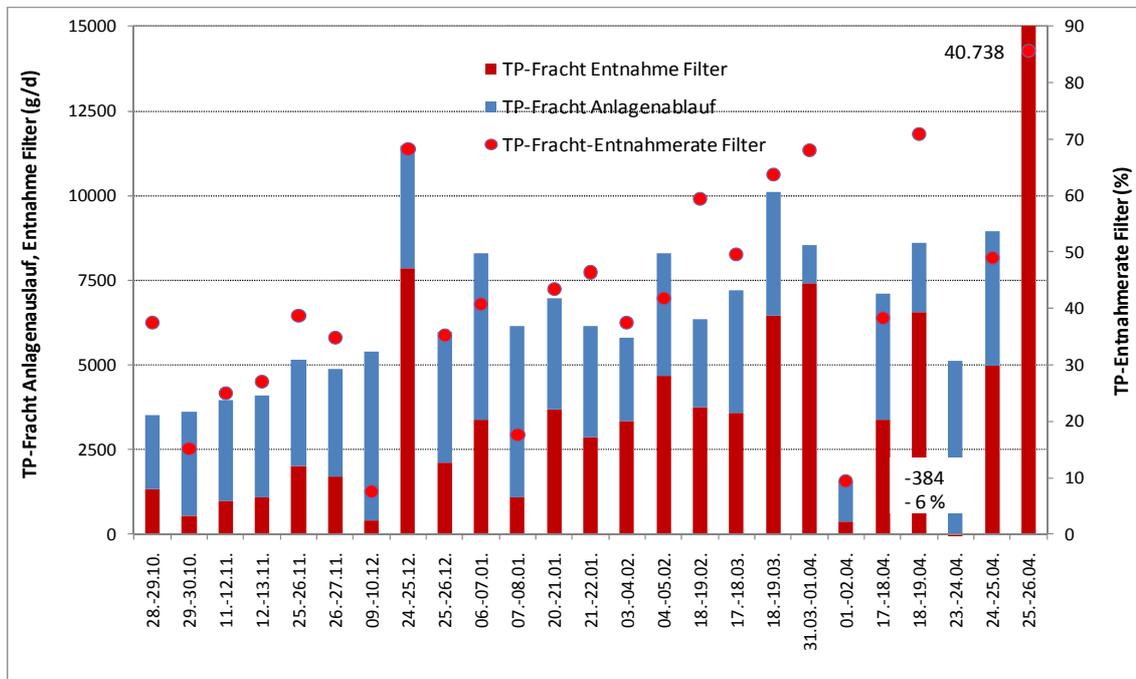


Abbildung 26: TP-Frachten am Anlagenablauf, TP-Frachten der Entnahme durch den Siebtrommelfilter und Entnahmerate in % der Fracht des Zulaufs zum Siebtrommelfilter 2008 - 2009

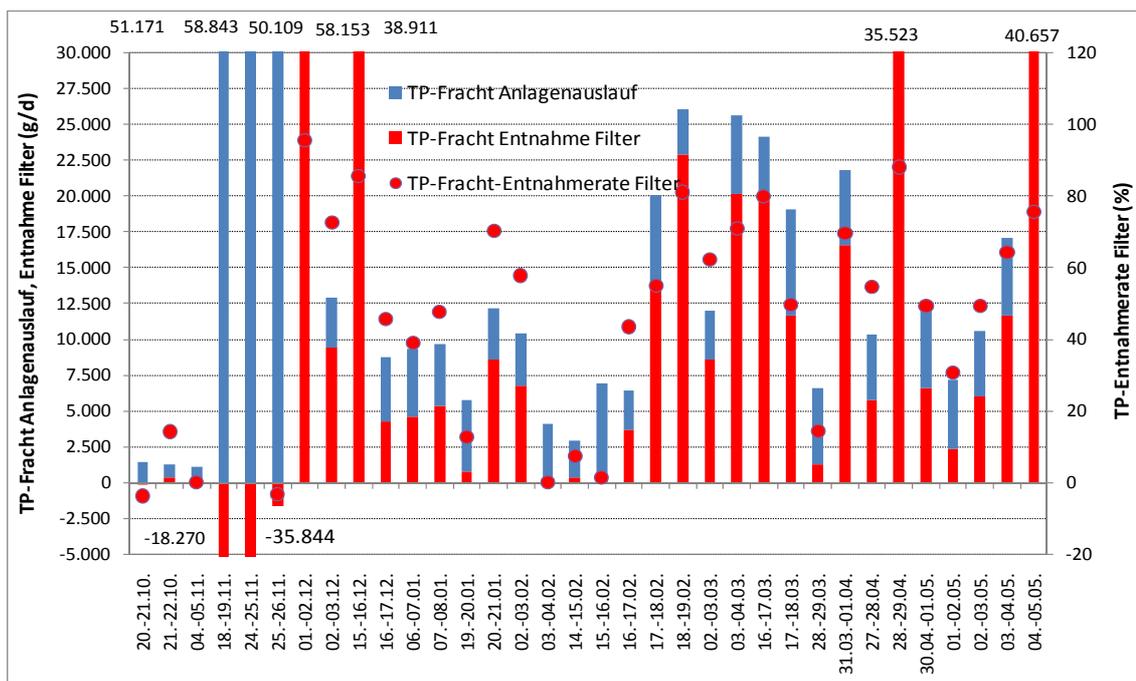


Abbildung 27: TP-Frachten am Anlagenablauf, TP-Frachten der Entnahme durch den Siebtrommelfilter und Entnahmerate in % der Fracht des Zulaufs zum Siebtrommelfilter 2009 - 2010

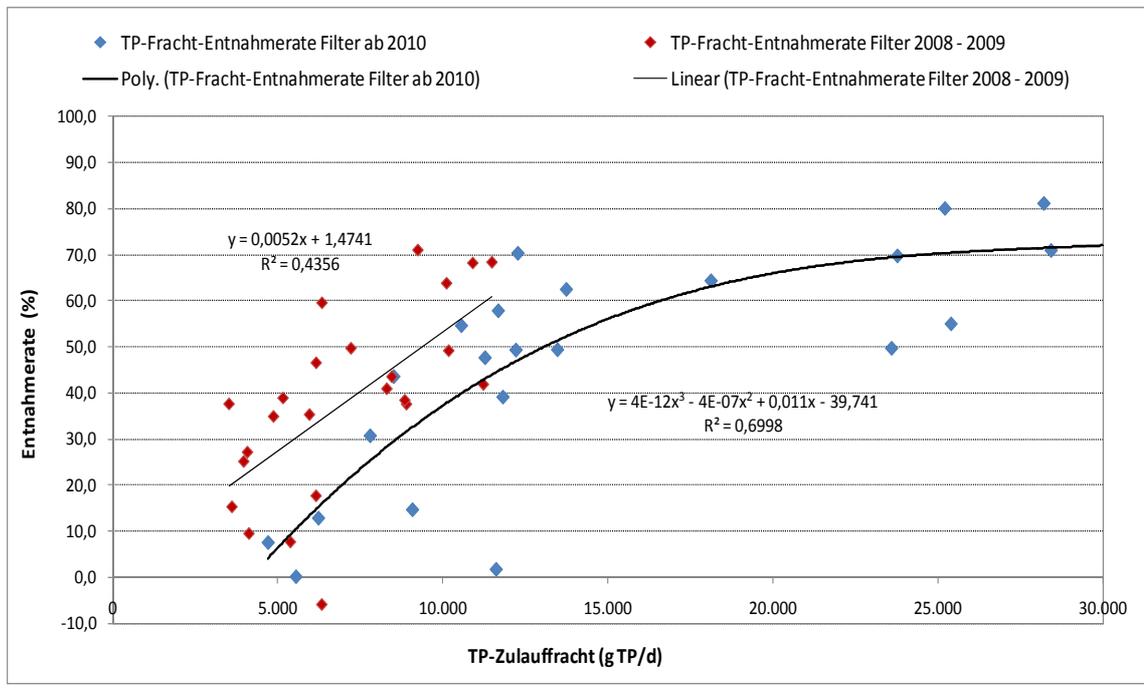


Abbildung 28: TP-Fracht-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter in Abhängigkeit von der TP-Zulauffracht

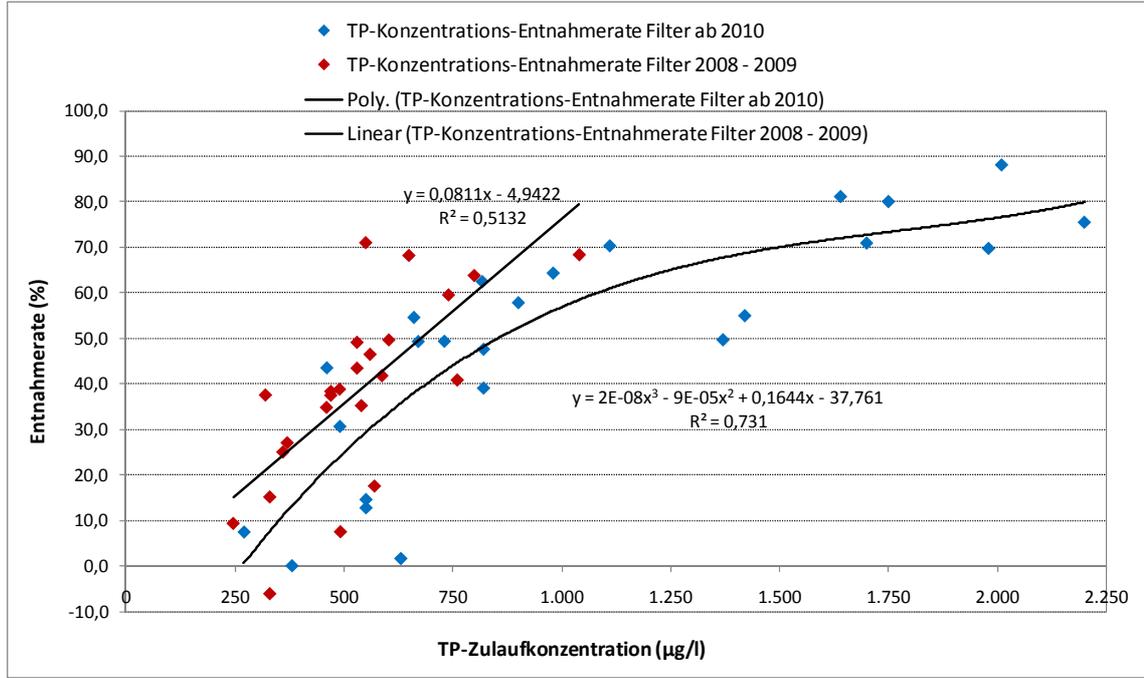


Abbildung 29: TP-Konzentrations-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter in Abhängigkeit von der TP-Zulaufkonzentration

$$m_{EFPFF} = x_P * (1 - (VK_P * 0,01)) \quad (Gl. 17)$$

- m_{EFPFF} partikuläre Phosphorfracht der Fische bezogen auf die Futtermenge (g P/kg Futter)
- x_P Phosphorgehalt des Futters (g P/kg Futter)
- VK_P Verdaulichkeit des Phosphors des Futters (%)

Tabelle 14: TP-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters beider Aufzuchtjahre

	TP-Entnahmerate (%)
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	40,2
Median	38,8
Standardabweichung	21,9
prozentuale Standardabweichung*	56,4
90 %-Perzentil	69
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	36,9
Median	49,3
Standardabweichung	50,4
prozentuale Standardabweichung*	102,2
90-Perzentil	83
Aufzuchtperiode 2009 - 2010 ab 1.1.2010	
arithmetischer Mittelwert	48,9
Median	52,1
Standardabweichung	25,9
prozentuale Standardabweichung*	49,8
90-Perzentil	81

* bezogen auf den Medianwert

In Abb. 30 und 31 sind die berechneten partikulären TP-Emissionen des Fischbestandes bei einer P-Verdaulichkeit von 50 % den absoluten gemessenen TP-Entnahmefrachten des Siebtrommelfilters gegenübergestellt.

Für die Aufzuchtperiode 2008 - 2009 ergab sich an einigen Messtagen eine relativ gute Annäherung der berechneten partikulären Frachten der Fische an die gemessenen TP-Entnahmefrachten. Für die Aufzuchtperiode 2009 - 2010 war die Anzahl dieser Annäherungen geringer. Es ergaben sich Medianwerte des Anteils der berechneten partikulären Substanz an den berechneten P-Emissionen der Fische von 68,8 % und 71,3 %, die die gemessenen mittleren TP-Entnahmeraten überstiegen. Messwerte der Entnahmeraten in dieser Größenordnung kommen aber bei hohen TP-Zulaufkonzentrationen vor.

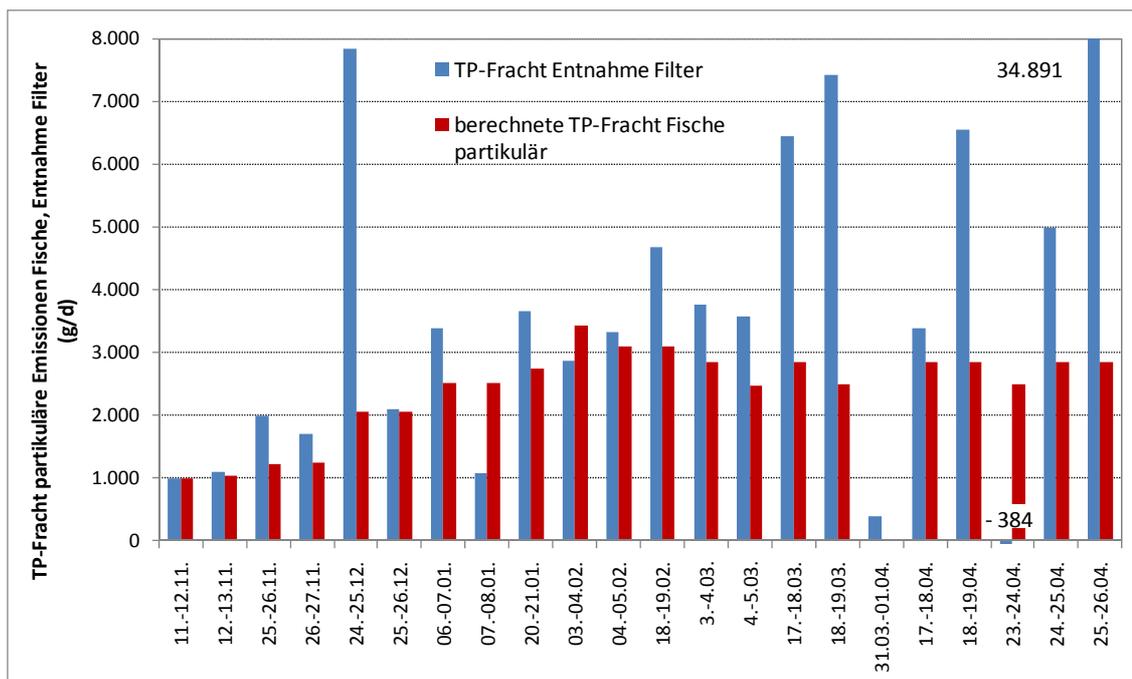


Abbildung 30: Berechnete partikuläre TP-Emissionen des Fischbestandes und gemessene Entnahme durch den Siebtrommelfilter 2008 - 2009

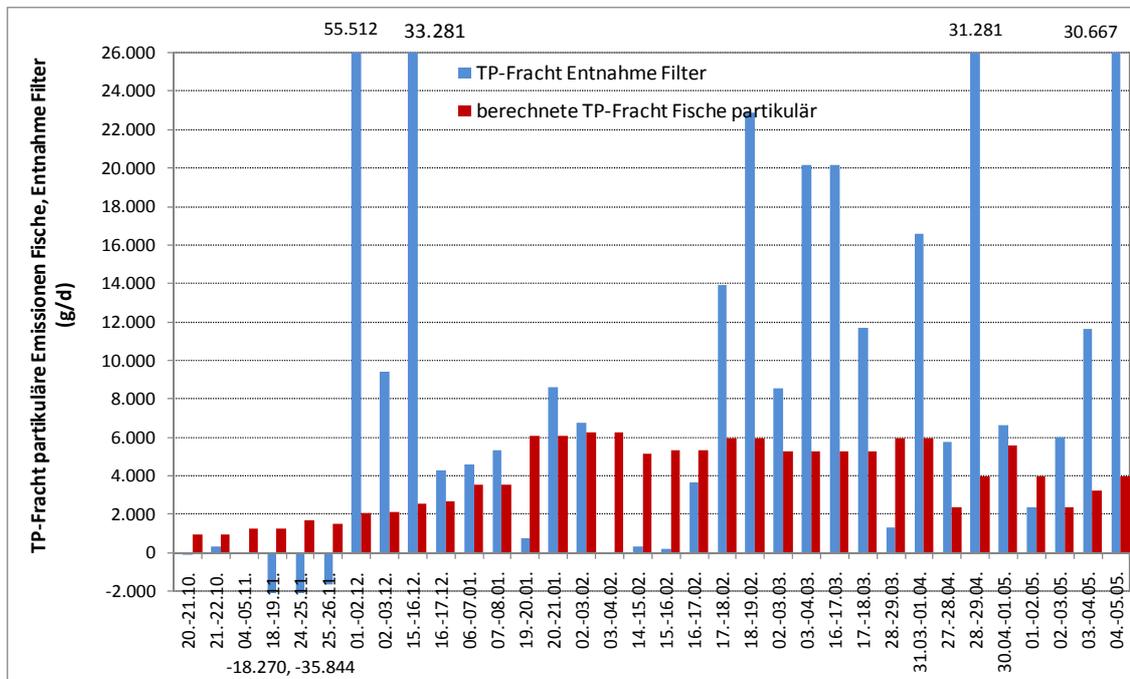


Abbildung 31: Berechnete partikuläre TP-Emissionen des Fischbestandes und gemessene Entnahme durch den Siebtrommelfilter 2009 - 2010

6.1.3 Phosphor-Emissionen der Gesamtanlage

In Abb. 32 und 33 sind die Messwerte der TP-Konzentration am Anlagenzulauf und Anlagenablauf sowie die TP-Konzentrationsdifferenz beim Durchfluss des Wassers durch die Anlage dargestellt. Abb. 34 und 35 zeigen die absoluten Frachtwerte der Anlage, die nach Gleichung 6 bestimmt wurden. Zusätzlich sind in diesen Abbildungen die zugehörigen Bestandsmassen eingezeichnet.

Es ist erkennbar, dass auch am Auslauf der Anlage größere TP-Konzentrationschwankungen auftraten, die zu entsprechenden Streuungen der Werte der absoluten TP-Frachten der Anlage führten.

Die Werte der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 sind deutlich höher als im Aufzuchtjahr zuvor. Weiterhin sind die bereits unter 6.1.1 erwähnten, nicht nachvollziehbaren Ausreißer der Konzentrationswerte im Anlagenzulauf und zusätzlich im Anlagenablauf im November und Dezember 2009 sichtbar, die zu extremen negativen bzw. positiven Frachtwerten führten.

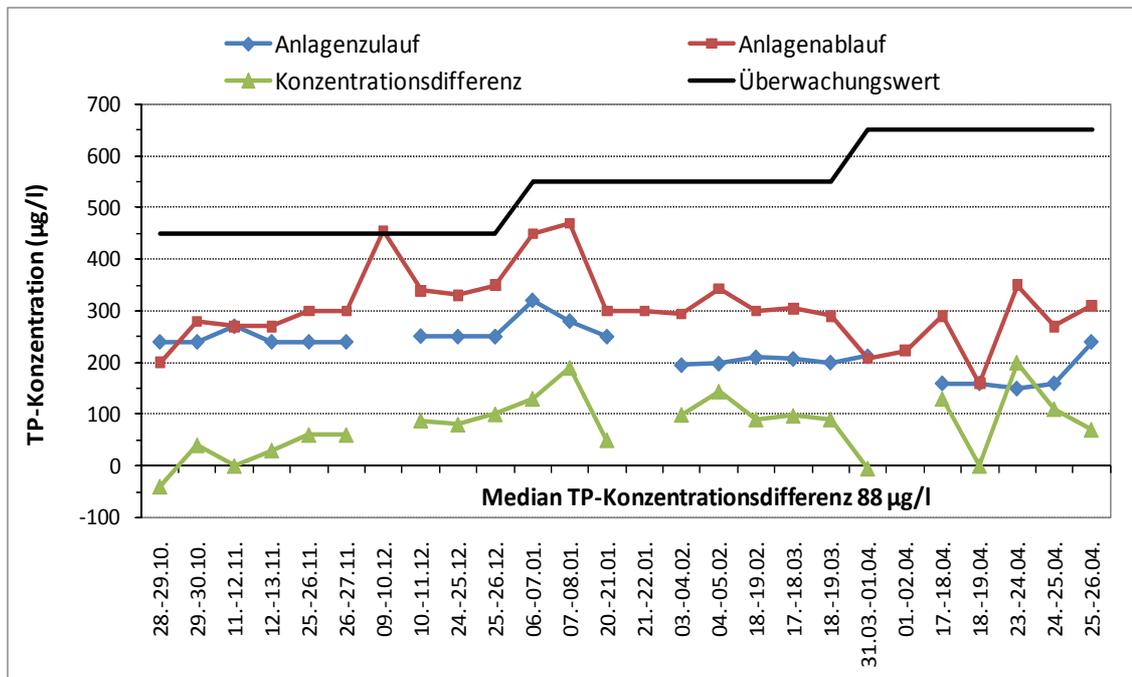


Abbildung 32: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2008 - 2009

Auffällig ist auch, dass 2008 - 2009 an drei und 2009 - 2010 an fünf Messtagen Konzentrationsdifferenzen und damit auch Frachten auftraten, die bei Null lagen oder negative Werte annahmen, d. h. die Anlage wird kurzzeitig zum Phosphorspeicher. Der zu erwartende Anstieg der absoluten TP-Emissionen der Anlage mit steigendem Futtereinsatz bis zum März des Jahres (s. Abb. 20 u. 21) war 2008 - 2009 nur ansatzweise und 2009 - 2010 nur noch undeutlich sichtbar.

In Abb. 32 und 33 sind zusätzlich die durch die Wasserbehörde festgelegten Überwachungswerte der TP-Konzentration eingezeichnet (s. Tab. 4). Diese wurden 2008 - 2009 an nur einem Messtag geringfügig überschritten. Ursache war der höhere Anfangsbestand der Produktionsperiode gegenüber dem für die Berechnungen zugrunde gelegten Modellfischbestand. 2009 - 2010 wurden die Überwachungswerte durch drei Ausreißer im November überschritten. Hinzu kamen drei leichte Überschreitungen im Jahr 2010. Die Ursache dieser Überschreitungen lag neben den generell auftretenden großen Streuungen höchstwahrscheinlich in dem höheren Fischbestand gegenüber dem für die Berechnungen zugrunde gelegten Modellbestand und dem höheren P-Gehalt des Futters gegenüber 2008 - 2009 (Abb. 35).

In Abb. 34 und 35 sind weiterhin die anhand des Modellfischbestandes berechneten TP-Frachten für die Anlage mit einer zugrunde gelegten TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters von 40 % dargestellt (s. 3.3 u. RÜMLER & SCHIEWE 2006a). Diese Werte wurden 2008 - 2009 während der angegebenen Zeitabschnitte an keinem Messtag überschritten (s. Tab. 4, Abb. 33). Während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 lag der Fischbestand ab Januar 2010 zum Teil deutlich über dem Modellbestand. Hinzu kommen die stärkeren Streuungen der Konzentrationswerte gegenüber dem vorhergehenden Jahr. Zusammen mit dem höheren Phosphorgehalt des 2009 - 2010 eingesetzten Futters führte das dazu, dass die gemessenen Frachten mehrfach über den in der Konzeption berechneten Werten lagen (Abb. 35).

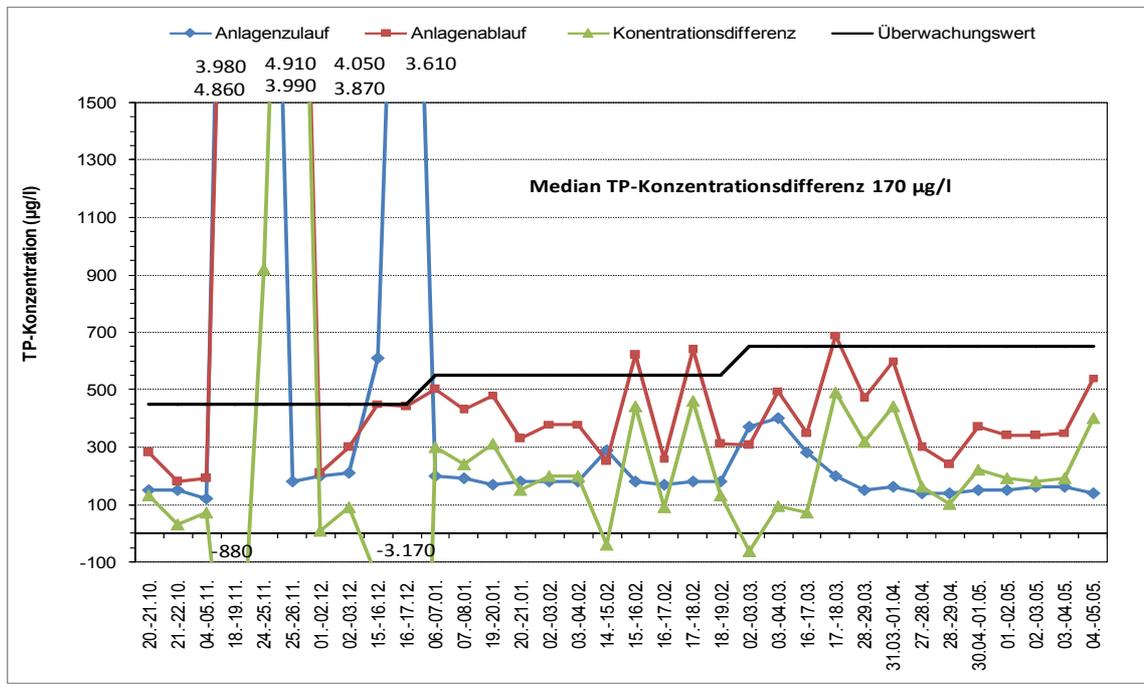


Abbildung 33: TP-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2009 - 2010

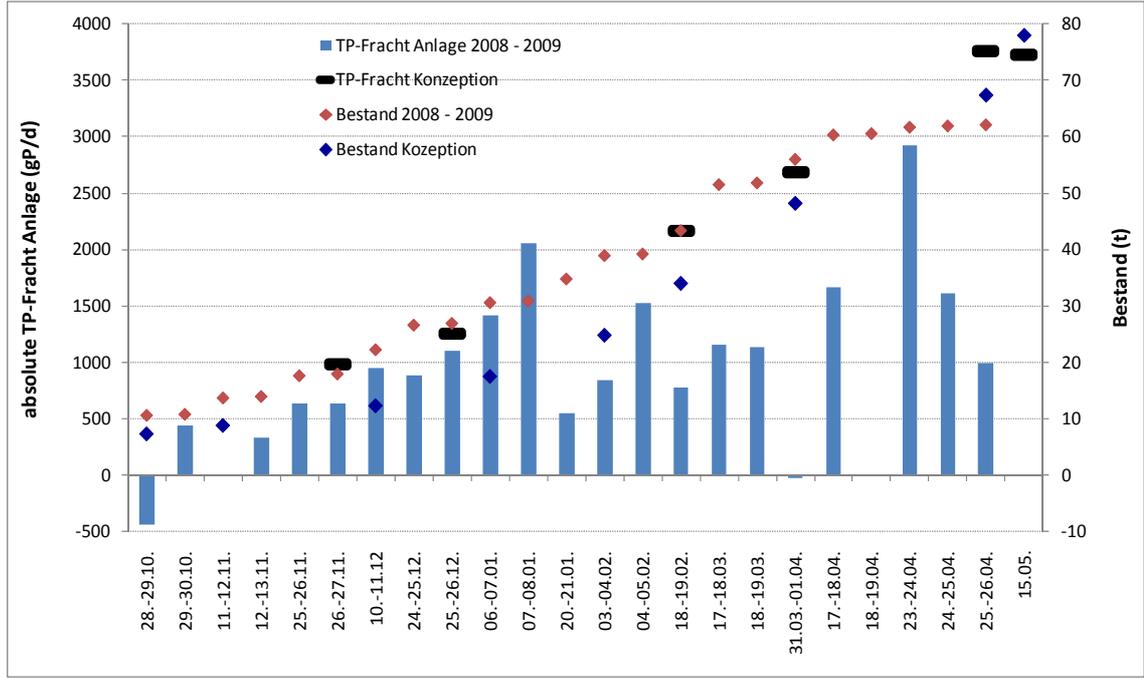


Abbildung 34: TP-Frachten der Anlage 2008 - 2009, Entwicklung des Fischbestandes während der Produktionsperiode und des berechneten Modellbestandes sowie anhand des Modellbestandes berechnete TP-Frachten für die Anlage

Abb. 36 und 37 zeigen die spezifischen TP-Frachten der Anlage, die entsprechend der „Hinweise“ auf das Mittel der verabreichten Futtermenge der beiden Messtage einer 24 h-Messung bezogen wurden. In Tab. 15 sind die Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Frachten der Anlage zusammengefasst.

Der Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 7,0 g TP/kg Futter wurde 2008 - 2009 an keinem Messtag erreicht. Ohne den Siebtrommelfilter wäre dieser Wert an 43 % der Messtage überschritten worden (Abb. 22).

Während der Aufzuchtphase 2009 - 2010 lagen nur die Ausreißer im November und der letzte Wert kurz vor der Abfischung über dem Belastungshöchstwert der „Hinweise“. Durch das 2009 - 2010 eingesetzte Futter mit einem höheren P-Gehalt waren die Emissionen des Fischbestandes etwas höher, andererseits aber auch die P-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter, so-

dass in erster Linie nur die großen Streuungen der Werte für die Überschreitung des Belastungshöchstwertes verantwortlich gemacht werden können. Systematische Einflussgrößen wie der Futterquotient und der P-Gehalt des Futters führten anscheinend nicht zu den Überschreitungen des Belastungshöchstwertes.

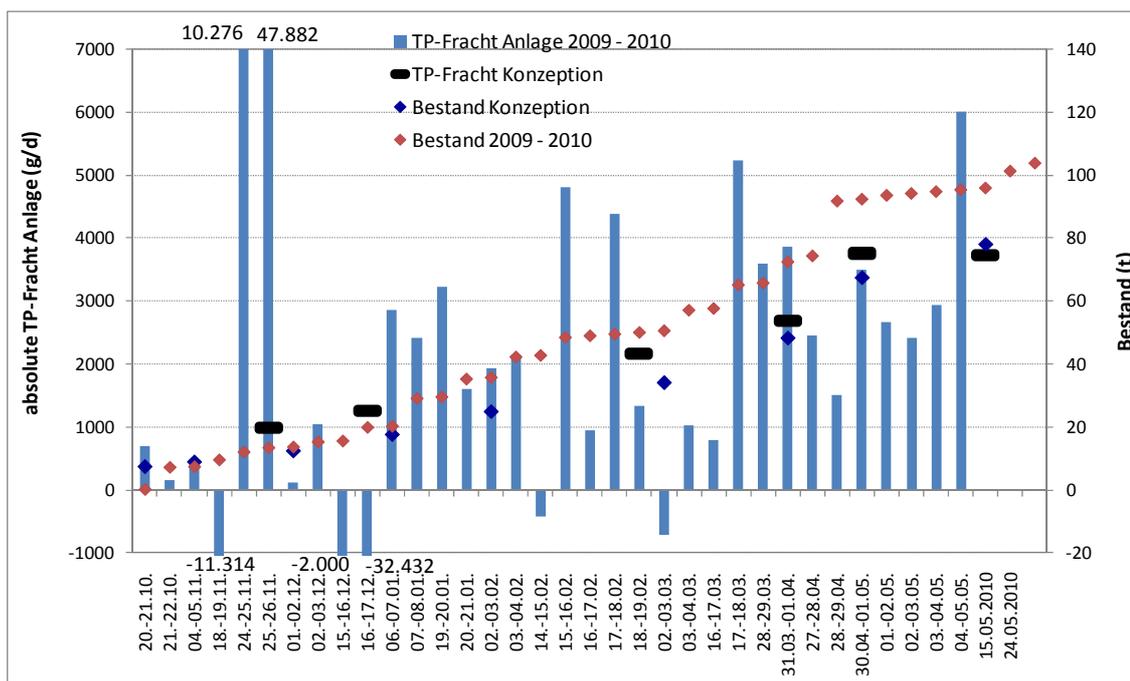


Abbildung 35: TP-Frachten der Anlage 2009-2010, Entwicklung des Fischbestandes während der Produktionsperiode und des berechneten Modellbestandes sowie anhand des Modellbestandes berechnete TP-Frachten für die Anlage

Die großen Streuungen zeigen, dass einmalige oder in geringer Anzahl durchgeführte Messungen der Konzentrationen und Bestimmungen der Frachten wenig geeignet sind, um die Phosphoremissionen durch eine derartige Fischproduktionsanlage widerzuspiegeln. Die Gefahr von Fehleinschätzungen der TP-Auslaufkonzentrationen sowie der erzeugten TP-Frachten wäre sehr groß.

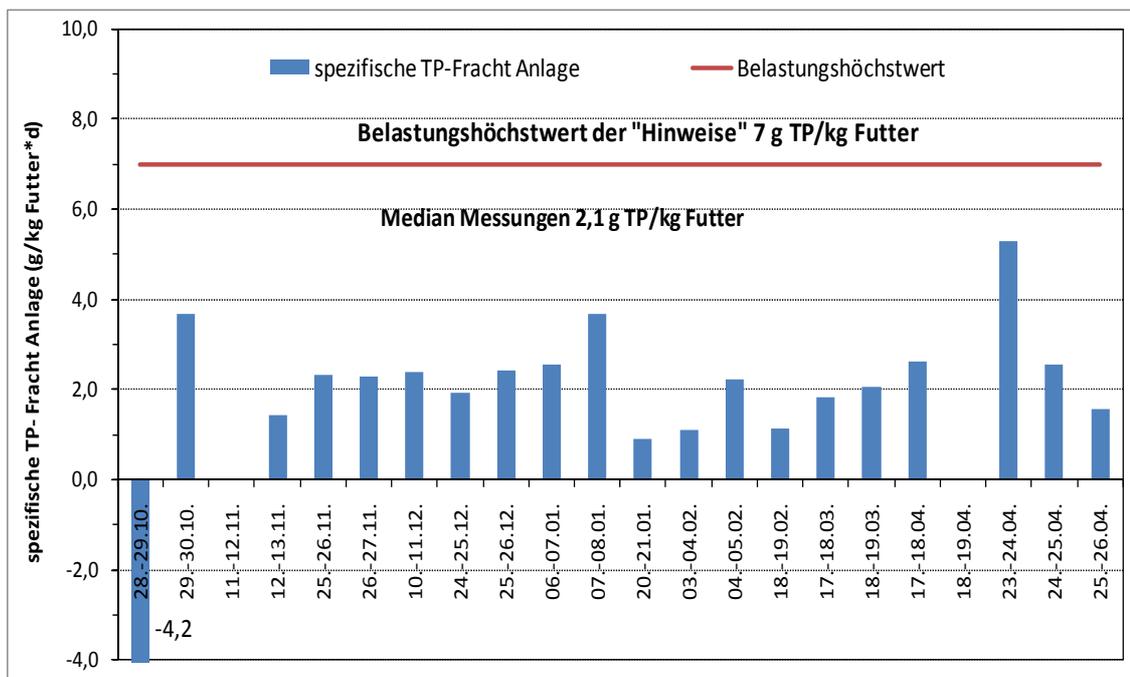


Abbildung 36: Spezifische TP-Frachten der Anlage bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009

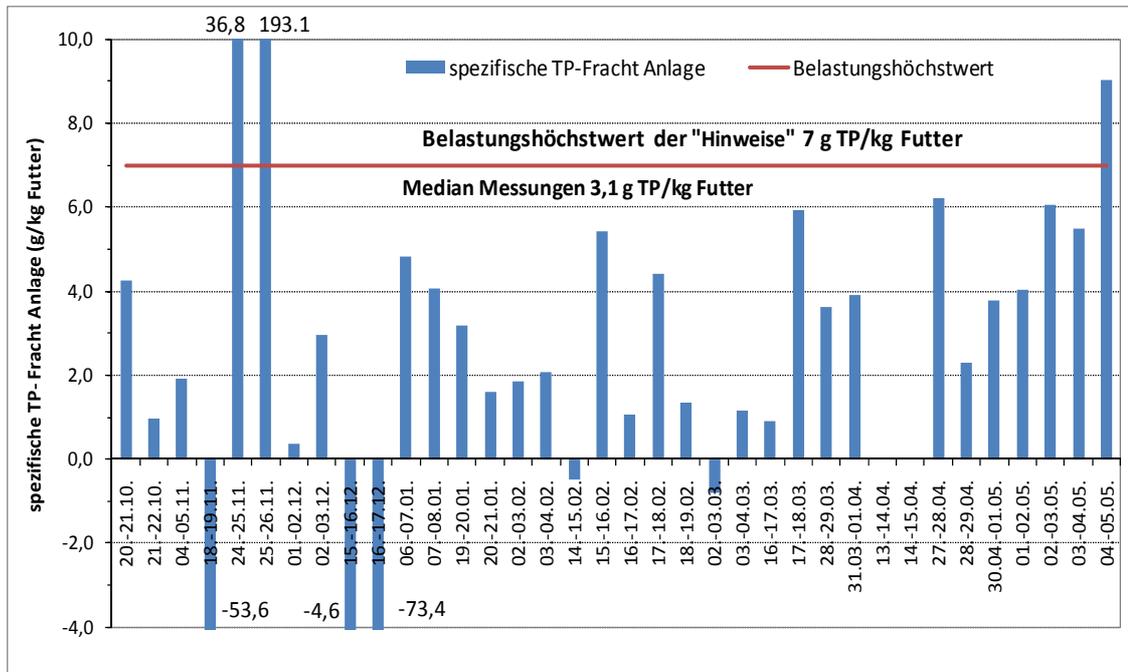


Abbildung 37: Spezifische TP-Frachten der Anlage bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010

Tabelle 15: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Frachten der Anlage

	g TP/kgFutter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	1,8
Median	2,1
Standardabweichung	1,8
prozentuale Standardabweichung*	83,3
90-Perzentil	4
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	5,6
Median	3,1
Standardabweichung	37,5
prozentuale Standardabweichung*	1.221,1
90-Perzentil	6
Aufzuchtperiode 2009 - 2010 ab 1.1.2010	
arithmetischer Mittelwert	3,4
Median	3,7
Standardabweichung	2,4
prozentuale Standardabweichung*	63,7
90-Perzentil	6

* bezogen auf den Medianwert

6.2 Gelöster Phosphor - Orthophosphat

Die Messwerte der spezifischen Orthophosphat-Frachten der Fische sind in Tab. 16 zusammengefasst. Tab. 17 gibt die futterbezogenen PO₄-P-Frachten der Anlage an.

Es ergeben sich für die spezifischen Orthophosphat-Frachten der Fische geringe negative Werte. Die Mittelwerte der futterbezogenen Emissionen der Anlage liegen in ähnlicher Größenordnung. Wie beim Gesamtphosphor sind auch beim gelösten Phosphor große Streuungen der Werte erkennbar.

Für die negativen Mittelwerte und die großen Streuungen sind mehrere Faktoren verantwortlich. Die PO₄-P-Werte sind verglichen mit den TP-Werten derselben Messpunkte geringer. Neben den Streuungen an sich führen dadurch die Bestimmungsgrenzen des Messverfahrens bei der Differenzbildung der Konzentrationswerte zu größeren Ungenauigkeiten. Hinzu kommt die Berücksichtigung der PO₄-P-Emissionen aus dem Absatzbecken. Diese wurden als Mittelwerte für bestimmte Zeitabschnitte auf der Grundlage weniger Messwerte berechnet. Die PO₄-P-Emissionen des Absatzbeckens betragen 2008 - 2009 15 - 35 % des Medians der PO₄-P-Frachten und 4 - 8 % der TP-Fracht in der zentralen Beckenablaufrinne. 2009 - 2010 lagen diese Anteile bei 69 - 93 % der PO₄-P-Emissionen aber bei nur bei 3 - 5 % der TP-Fracht in der zentralen Beckenablaufrinne.

Insgesamt zeigen die Messungen, dass die Phosphoremissionen der Fische nahezu vollständig in partikulärer Form vorliegen. Der mittlere Anteil der futterbezogenen PO₄-P-Fracht der Anlage (Median) lag 2008 - 2009 bei 8,9 % bzw. 2009 - 2010 bei 1,5 % der futterbezogenen TP-Fracht der Anlage. Für die Emissionen der Fische lässt sich dieser Anteil aufgrund der negativen PO₄-P-Frachten nicht bestimmen. Dieses Ergebnis verdeutlicht die Bedeutung, die der Siebtrommelfilter für die Reduzierung der Phosphorbelastung durch die Anlage besitzt.

Die Emissionen der Fische an gelöstem Phosphor, die den PO₄-P-Emissionen weitgehend angenähert sein dürften, können nach Gleichung 18 berechnet werden (BUREAU et al. 2003, PAPATRYPHON et al. 2005, BRINKER et al. 2006).

$$m_{\text{EFPLF}} = (x_{\text{P}} * (\text{VK}_{\text{P}} * 0,01)) - (m_{\text{PR}} / \text{FQ}) \quad (\text{Gl. 18})$$

m_{EFPLF} gelöste Phosphorfracht der Fische bezogen auf die Futtermenge (g P/kg Futter)

x_{P} Phosphorgehalt des Futters (g P/kg Futter)

VK_{P} Verdaulichkeit des Phosphors des Futters (%)

FQ Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)

m_{PR} Phosphorgehalt des Karpfens (g P/kg Fisch = g P/kg Zuwachs), 0,48 % = 4,8 g P/kg Zuwachs (s. SCHRECKENBACH et al. 2001)

Die rechnerisch bestimmten Anteile an gelöstem Phosphor P_{gel} waren gegenüber den Mittelwerten der gemessenen PO₄-P-Frachten höher (Tab. 16 und 17). Bei der Berechnung betrug der Anteil des gelösten Phosphors an der Gesamt-Phosphoremission der Anlage 29 - 31 %.

Die Medianwerte der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters lagen bei 7,7 bzw. 9,3 %.

Tabelle 16: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen PO₄-P-Frachten des Fischbestandes

	g PO ₄ -P/t * d	g PO ₄ -P/kg Futter	g Pgel/kg Futter	g PO ₄ -P/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	-18,9	-0,8	1,9	-0,1
Median	-4,3	-0,3	2,0	-0,5
Standardabweichung	128,0	8,1	0,6	9,4
prozentuale Standardabweichung	-2.963	-2.866	31,5	-1.880
90-Perzentil	45	4	4	4
Aufzuchtperiode 2009 - 2010				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	-3,0	-0,2	2,2	-0,2
Median	-5,0	-0,1	2,4	-0,5
Standardabweichung	21,0	1,2	1,3	1,4
prozentuale Standardabweichung	-423,6	-386,4	52,5	-298,9
90-Perzentil	19	1	5	2

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 17: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen PO₄-P-Frachten der Anlage

	g P/kgFutter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	-1,1
Median	0,2
Standardabweichung	8,3
prozentuale Standardabweichung*	3.719,5
90-Perzentil	2
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	0,1
Median	0,05
Standardabweichung	0,6
prozentuale Standardabweichung*	1.357,8
90-Perzentil	1

*bezogen auf den Medianwert

6.3 Stickstoff

6.3.1 Mineralischer Stickstoff

Für die abwasserabgaberechtliche Veranlagung, die wasserrechtliche und abgaberechtliche Überwachung sowie als Parameter der Emissionsanforderungen der „Hinweise“ wird der mineralische Stickstoff N_{min} als Summe der Einzelbestimmungen aus Nitrat-, Nitrit- und Ammonium-Stickstoff herangezogen. In Abb. 38 und 39 sind die N_{min}-Frachtwerte der Emissionen des Fischbestandes, die nach Gleichung 5 ermittelt wurden, dargestellt. Zusätzlich sind in diesen Abbildungen die zugehörigen Bestandsmassen und Futtermengen eingezeichnet.

Der zu erwartende Anstieg der absoluten N_{min}-Frachten mit steigendem Futtereinsatz war während beider Aufzuchtperioden als Tendenz sichtbar. Anhand der prozentualen Standardabweichung ist erkennbar, dass die N_{min}-Frachtwerte des Fischbestandes während beider Aufzuchtperioden in sehr viel geringerem Umfang streuten als die TP-Frachten.

Die auf die tägliche Futtermenge bezogenen N_{min}-Frachten des Fischbestandes beider Aufzuchtperioden sind in Abb. 40 und 41 dargestellt. Zusätzlich wurde der Futterquotient für die einzelnen Messtage eingezeichnet.

Für die futterbezogenen Nmin-Frachten der Fische ergeben sich gegenüber den äquivalenten TP-Frachten ebenfalls sehr viel geringere Streuungen. Eine Erhöhung des Futterquotienten und ein Anstieg der spezifischen Nmin-Emissionen mit zunehmender Stückmasse der Fische war nur mit schwacher Tendenz erkennbar. Insbesondere am Ende der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 kam es zu einem Anstieg der Nmin-Emissionen. Dieser Sachverhalt kennzeichnet erneut das Vorhandensein anderer bedeutender Einflussgrößen mit wahrscheinlich zufälligem Charakter oder die Folge der Bewirtschaftungsinstabilitäten.

Die Frachtwerte der Fische bezogen auf den Fischbestand, das Futter und den Zuwachs sind als Mittel- und Medianwerte in Tab. 18 dargestellt. Als Maß für die Streuung der Werte wurden die Standardabweichung und das 90-Perzentil angegeben. Bereits ohne Berücksichtigung des Siebtrommelfilters wurde der Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 60 g Nmin/kg Futter 2008 - 2009 nur an zwei Tagen und 2009 - 2010 lediglich an vier Tagen überschritten. Die Überschreitungen des Grenzwertes stehen im Zusammenhang mit verringerten Futtergaben während dieser Tage.

Die Nmin-Emissionen der Fische setzen sich in erster Linie aus den NH₄-Ausscheidungen über die Kiemen und die Niere zusammen. Die Nmin-Emissionen ergeben zusammen mit dem Harnstoff die Emissionen an gelöstem Stickstoff Ngel. Diese lassen sich nach Gl. 19 berechnen (BUREAU et al. 2003, PAPATRYPHON et al. 2005, SCHRECKENBACH et al. 2005, BRINKER et al. 2006).

$$m_{\text{EFNLF}} = (x_{\text{N}} * \text{N/RP} * (\text{VK}_{\text{RP}} * 0,01)) - (m_{\text{NR}} / \text{FQ}) \quad (\text{Gl. 19})$$

m_{EFNLF} gelöste Stickstofffracht der Fische bezogen auf die Futtermenge (g Ngel/kg Futter)

x_{N} Rohproteingehalt des Futters (g RP/kg Futter)

N/RP Stickstoffanteil im Rohprotein: 0,16 kg N/kg RP, 16 %

VK_{RP} Verdaulichkeit des Rohproteins des Futters (%), 94 % (s. TERPSTRA et al. 2009)

FQ Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)

m_{NR} Stickstoffgehalt des Karpfens (g N/kg Fisch = g N/kg Zuwachs), 2,72 % = 27,2 g N/kg Zuwachs (s. SCHRECKENBACH et al. 2001)

Die Summe des gelösten Stickstoffs und des mit dem Kot ausgeschiedenen partikulären Stickstoffs ergibt die Gesamtstickstoffemission. Diese kann nach Gl. 20 berechnet werden. Gl. 20 stellt den äquivalenten Ansatz zu Gl. 14 und 15 dar (z. B. BARTHELMES u. PREDEL 1983, HÅKANSON et al. 1988, KNÖSCHE 1992). Dabei wird ein Stickstoffgehalt des Rohproteins von 16 % und des Fisches von 2,72 % (17 % Rohprotein des Fisches * 16 % Stickstoffanteil des Rohproteins) zugrunde gelegt (BOHL 1999, KNÖSCHE 1992, SCHRECKENBACH et al. 2001).

$$m_{\text{EFTNF}} = (x_{\text{N}} * \text{N/RP}) - (m_{\text{NR}} / \text{FQ}) \quad (\text{Gl. 20})$$

m_{EFTNF} Gesamtstickstoff-Fracht der Fische bezogen auf die Futtermenge (g TN/kg Futter)

x_{N} Rohproteingehalt des Futters (g RP/kg Futter)

N/RP Stickstoffanteil im Rohprotein: 0,16 kg N/kg RP, 16 %

FQ Futterquotient (kg Futter/kg Zuwachs)

m_{NR} Stickstoffgehalt des Karpfens (g N/kg Fisch = g N/kg Zuwachs), 2,72 % = 27,2 g N/kg Zuwachs (s. SCHRECKENBACH et al. 2001)

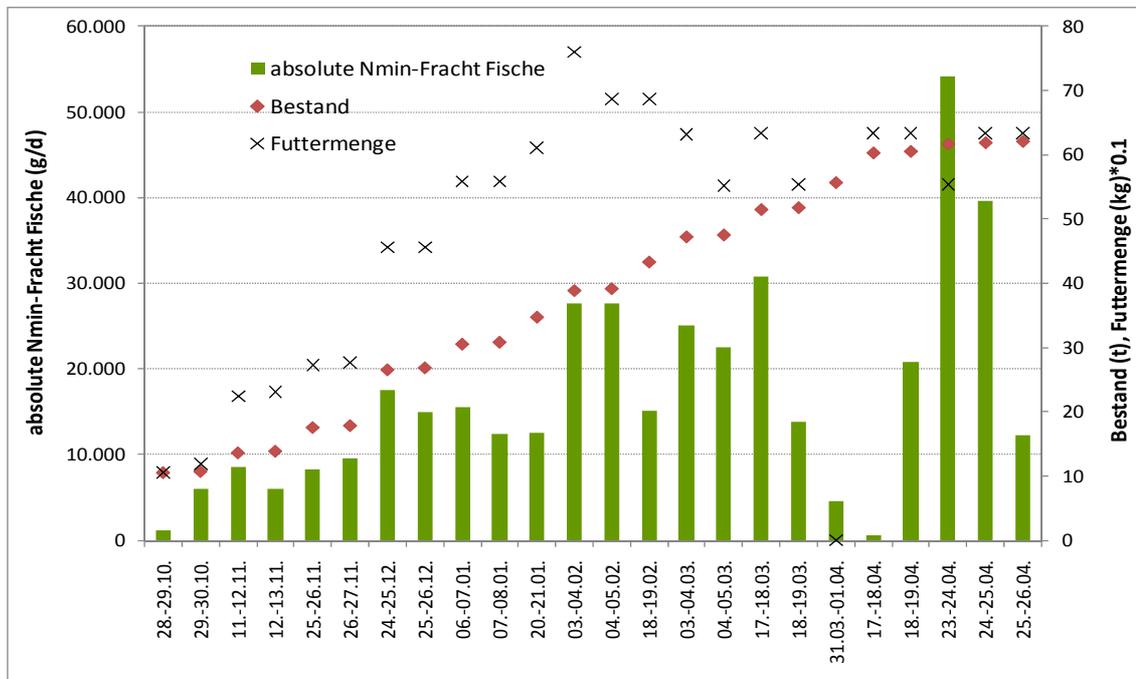


Abbildung 38: Absolute Nmin-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung des Fischbestandes und der Futtermenge 2008 - 2009

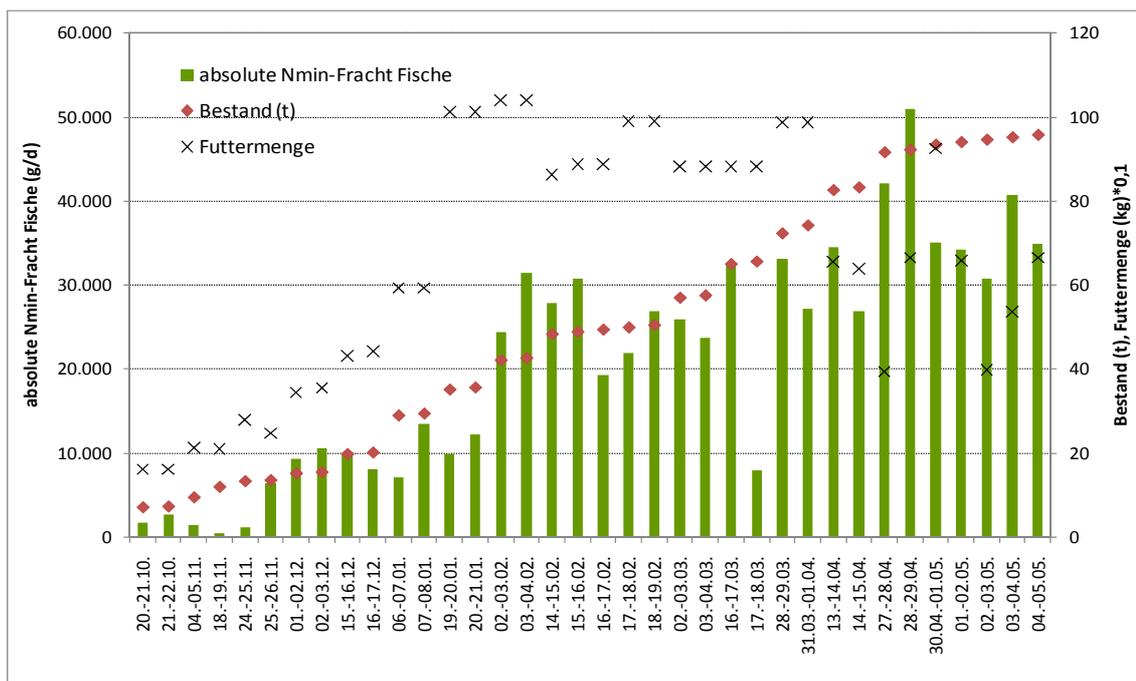


Abbildung 39: Absolute Nmin-Frachten des Fischbestandes, Entwicklung des Fischbestandes und der Futtermenge 2009 - 2010

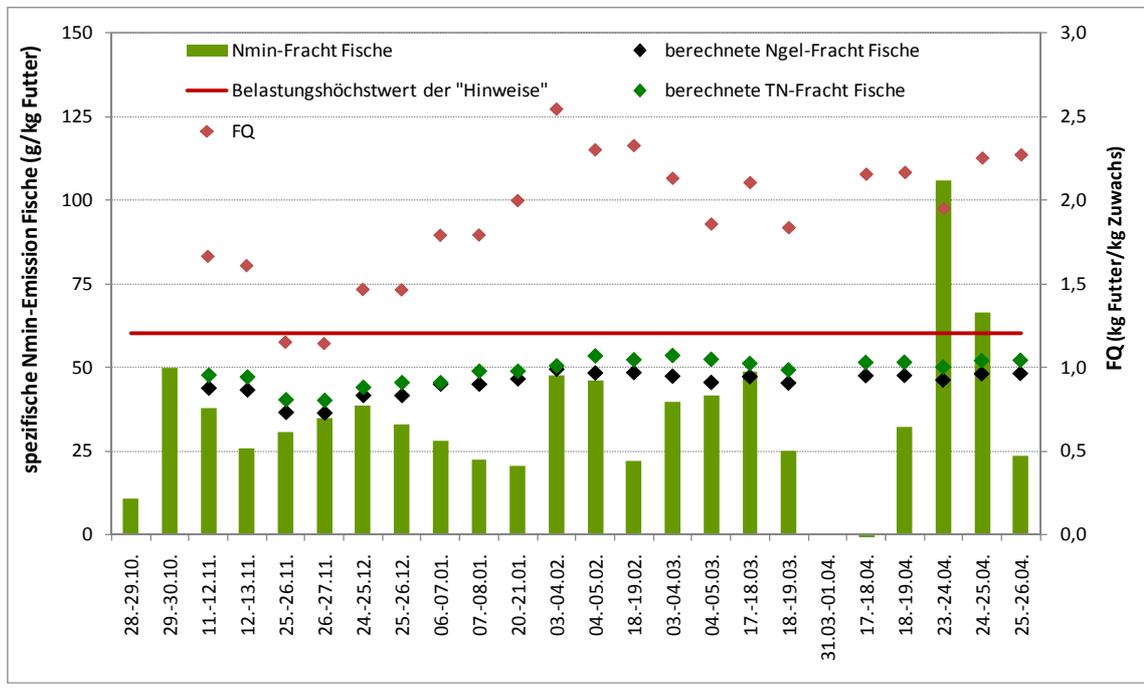


Abbildung 40: Spezifische Nmin-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009

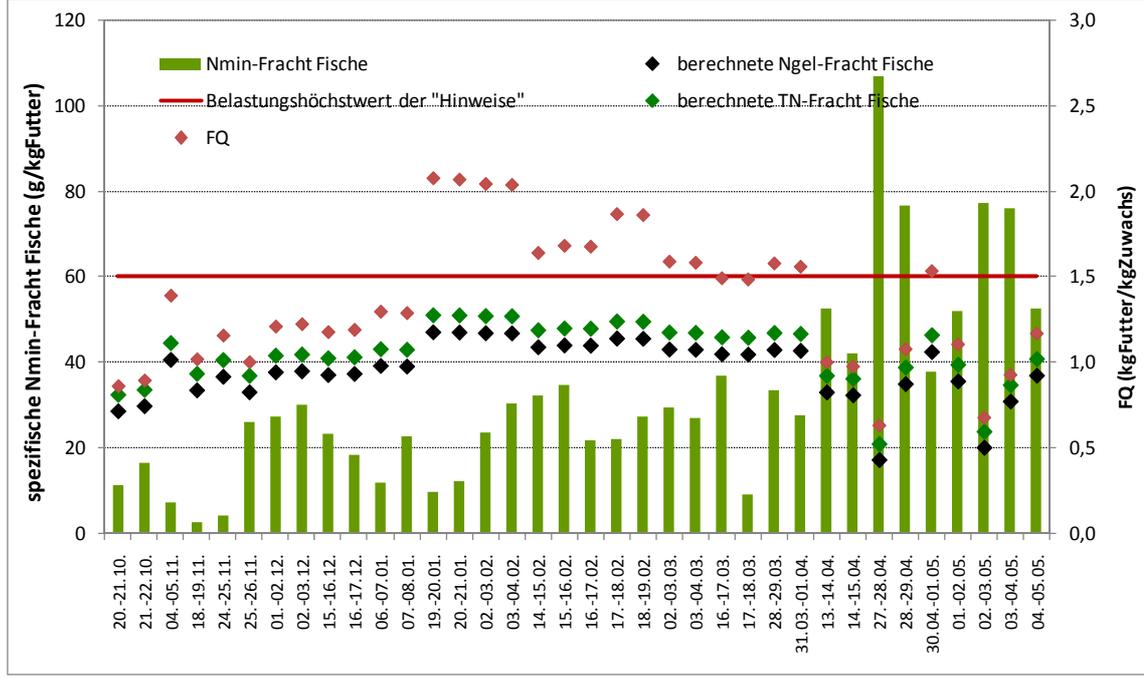


Abbildung 41: Spezifische Nmin-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010

Die nach Gleichung 19 und 20 berechneten N_{gel} - und TN-Werte sind ebenfalls in Abb. 40 und 41 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die berechneten N_{gel} und TN-Frachten während beider Aufzuchtperioden ständig unterhalb des Belastungshöchstwertes der „Hinweise“ von 60 g Nmin/kg Futter lagen. Gleichzeitig unterschritten auch die gemessenen Frachten in der Regel die berechneten Werte. Hier dürften die in Fischproduktionsanlagen rasch einsetzenden Stickstoffumsetzungsprozesse bereits wirksam werden.

Die Stickstoffentnahme durch den Siebtrommelfilter wurde dabei noch nicht berücksichtigt. Allerdings ist diese durch das Vorliegen des überwiegenden Stickstoffanteils in gelöster Form gering. Der Medianwerte der Nmin-Entnahmerate lagen 2008 - 2009 bei 7,9 % und 2009 - 2010 bei 1,8 %.

Die Konzentrationswerte der einzelnen Messtage im Anlagenzulauf und Anlagenablauf, die Konzentrationsdifferenzen zwischen Anlagenzu- und -ablauf und die festgelegten Überwachungswerte nach Tab. 4 sind in Abb. 42 und 43 dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Konzentrationsaufstockung an mineralischem Stickstoff durch die Anlage sehr gering ist. Der Median der Konzentrationsdifferenz zwischen Zu- und Ablauf lag nur bei 1,1 bzw. 1,6 mg/l. Der Nmin-Schwellenwert zur Veranlagung zur Abwasserabgabe von 5 mg/l ist deutlich höher. Der Verzicht auf die Veranlagung zur Abwasserabgabe für den Parameter mineralischer Stickstoff konnte, ergänzend zu den bei der Erarbeitung der Konzeption (RÜMMLER & SCHIEWE 2006a) durchgeführten überschlägigen Berechnungen, damit auch messtechnisch während des Betriebs der Anlage bestätigt werden.

Ein gewisser tendenzieller Anstieg der Auslaufkonzentration mit zunehmender Futtermenge ist erkennbar. Generell waren auch hier nicht zu vernachlässigende Schwankungen der Auslaufkonzentration vorhanden. Dazu trugen zumindest 2008 - 2009 auch Konzentrationsschwankungen im Zulauf bei. Die festgelegten Überwachungswerte der Nmin-Konzentration wurden während beider Aufzuchtperioden an keinem Messtag überschritten.

Durch die geringe Nmin-Entnahmerate des Siebtrommelfilters unterscheiden sich die Frachten der Gesamtanlage nur geringfügig von den Frachten des Fischbestandes. Da durch die nicht erforderliche Veranlagung zur Abwasserabgabe die Nmin-Frachten der Anlage von geringerer Bedeutung sind, wurde auf ihre Darstellung verzichtet.

Die futterbezogenen Emissionswerte der Anlage sind in Tab. 19 dargestellt. Der Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 60 g Nmin/kg Futter wurde während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009 nur an einem Messtag bzw. an vier Messtagen 2009 - 2010 überschritten. Die Nmin-Mittelwerte liegen mit 27,0 bzw. 26,6 g Nmin/kg Futter 2008 - 2009 und 30,2 bzw. 24,7 g Nmin/kg Futter jedoch deutlich unterhalb des Belastungshöchstwertes.

Das Auftreten einzelner „Ausreißer“ mit einer Überschreitung des Belastungshöchstwertes und u. U. auch der wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Überwachungswerte wird anscheinend auch für den Parameter Nmin infolge zufälliger Einflussfaktoren, die zu großen Streuungen führen, nicht völlig auszuschließen sein.

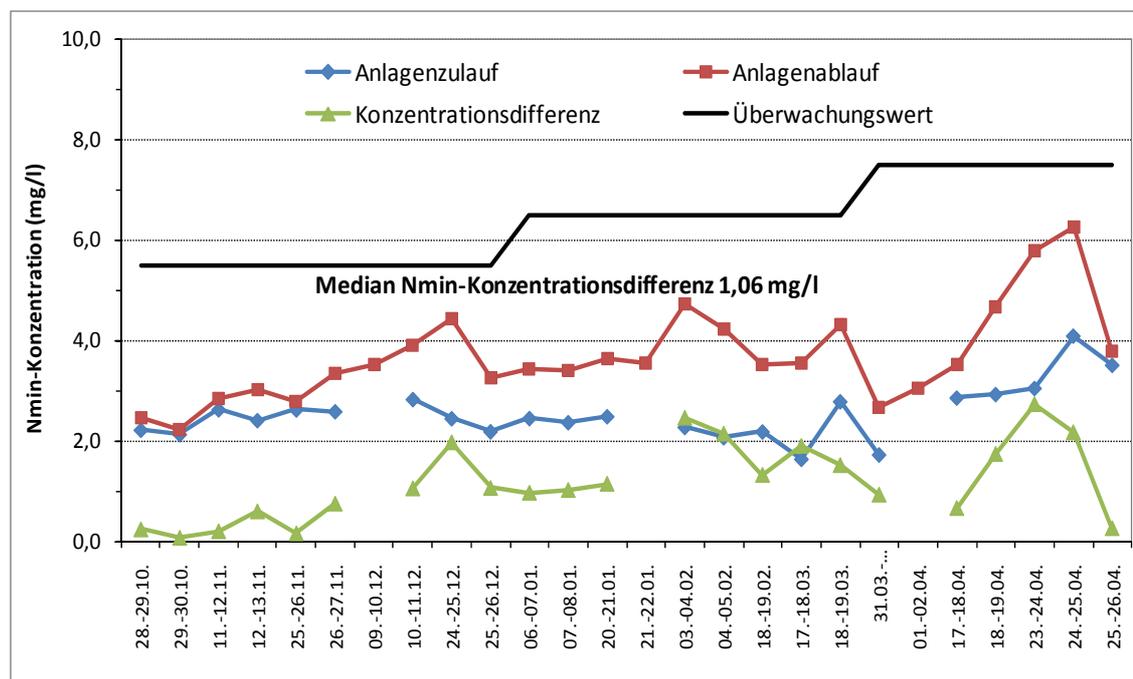


Abbildung 42: Nmin-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2008 - 2009

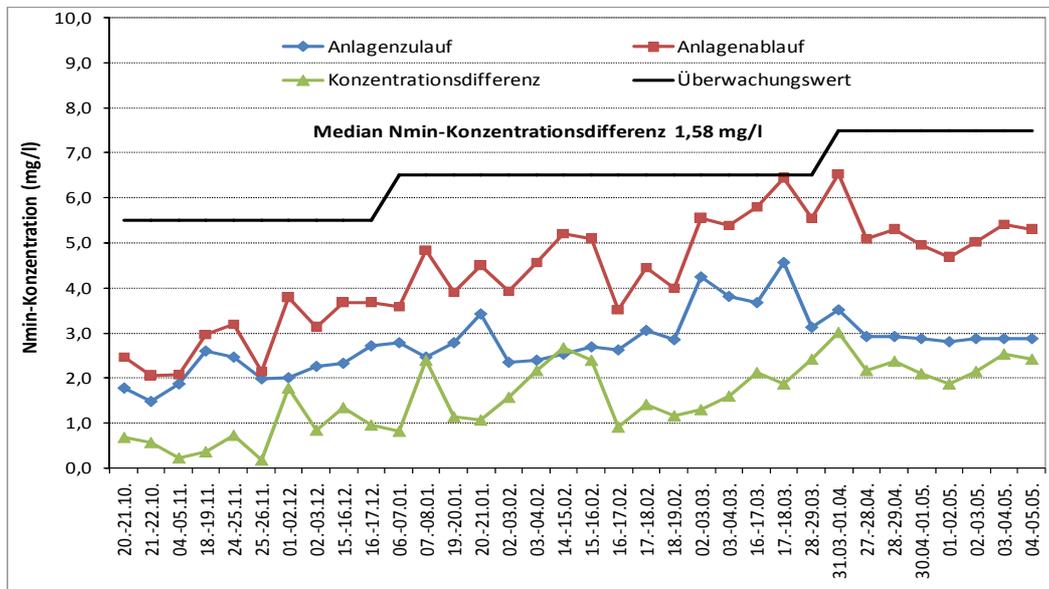


Abbildung 43: Nmin-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2009 - 2010

Tabelle 18: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen Nmin-Frachten des Fischbestandes

	g Nmin/t * d	g Nmin/kg Futter	g Ngel/kg Futter	g Nmin/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	475,7	35,9	45,2	67,0
Median	497,1	32,9	45,8	49,5
Standardabweichung	248,4	21,2	3,7	62,1
prozentuale Standardabweichung*	50,0	64,4	8,0	125,3
90-Perzentil	869	60	48	161
Aufzuchtperiode 2009 - 2010				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	410,0	32,0	38,3	39,5
Median	414,3	27,2	39,1	41,8
Standardabweichung	158,8	23,0	7,1	20,3
prozentuale Standardabweichung*	38,3	84,4	18,2	48,4
90-Perzentil	624	76	47	63

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 19: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen Nmin-Frachten der Anlage

	g Nmin/kg Futter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	27,0
Median	26,6
Standardabweichung	15,7
prozentuale Standardabweichung*	59,2
90-Perzentil	49
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	30,2
Median	24,7
Standardabweichung	20,1
prozentuale Standardabweichung*	81,3
90-Perzentil	68

* bezogen auf den Medianwert

6.3.2 Gesamtstickstoff

Die Betrachtung der Stickstoffemissionen von Fischzuchtanlagen erfolgt neben dem mineralischen Stickstoff Nmin auch auf der Basis des Gesamtstickstoffs TN, da ein Teil der Stickstoffexkretionen der Fische auch in partikulärer Form im Kot vorliegt. Dadurch kann auch ein Teil des Stickstoffs, wenn auch in geringerem Umfang als beim Phosphor, mit der Ablaufwasserreinigung entnommen werden. Weiterhin lassen sich Vergleiche von gemessenen und berechneten Stickstoffemissionen der Fische am besten auf der Basis des Gesamtstickstoffs durchführen. Daneben ist Gesamtstickstoff auch ein wichtiger gewässerökologischer Parameter, der z. B. bei den Immissionsbetrachtungen, d. h. der Wirkung der Einleitung auf das konkrete Gewässer, zu beachten ist.

Gesamtstickstoff ist aber kein Parameter, für den eine Veranlagung zur Abwasserabgabe festgelegt ist und für den Emissionshöchstwerte vorliegen. Aus diesem Grund werden hier nur die spezifischen TN-Frachten des Fischbestandes und die TN-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters betrachtet.

Abb. 44 und 45 zeigen die gemessenen futterbezogenen TN-Frachten des Fischbestandes. Zusätzlich sind der Futterquotient und die nach Gleichung 20 berechneten TN-Emissionen der einzelnen Messtage dargestellt. Die Mittelwerte und die Streuungswerte der spezifischen TN-Frachten der Fische sind in Tab. 20 aufgeführt.

2008 - 2009 waren die gemessenen futterbezogenen TN-Frachten in den meisten Fällen höher als die berechneten Werte oder lagen in deren Bereich. 2009 - 2010 streuen die gemessenen Werte stärker um die berechneten Frachten. Der Median der gemessenen futterbezogenen TN-Frachten war 2008 - 2009 deutlich höher als der der berechneten Werte. Der Medianwert der Messungen 2009 - 2010 wies bei der erhöhten Anzahl von Messungen nur noch eine geringe Differenz zu dem Median der berechneten Werte auf.

Für die TN-Entnahme durch den Siebtrommelfilter wurden Medianwerte von 17,0 % 2008 - 2009 und 18,0 % 2009 - 2010 ermittelt. Die futterbezogenen Emissionswerte der Anlage sind in Tab. 21 aufgeführt.

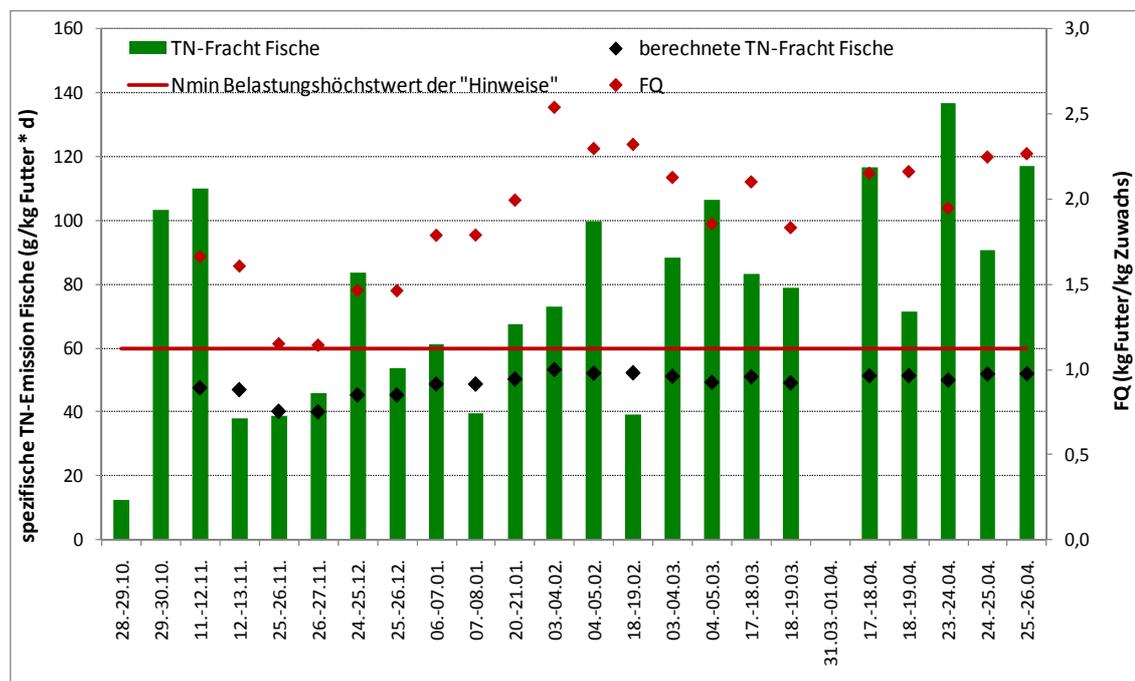


Abbildung 44: Spezifische TN-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009

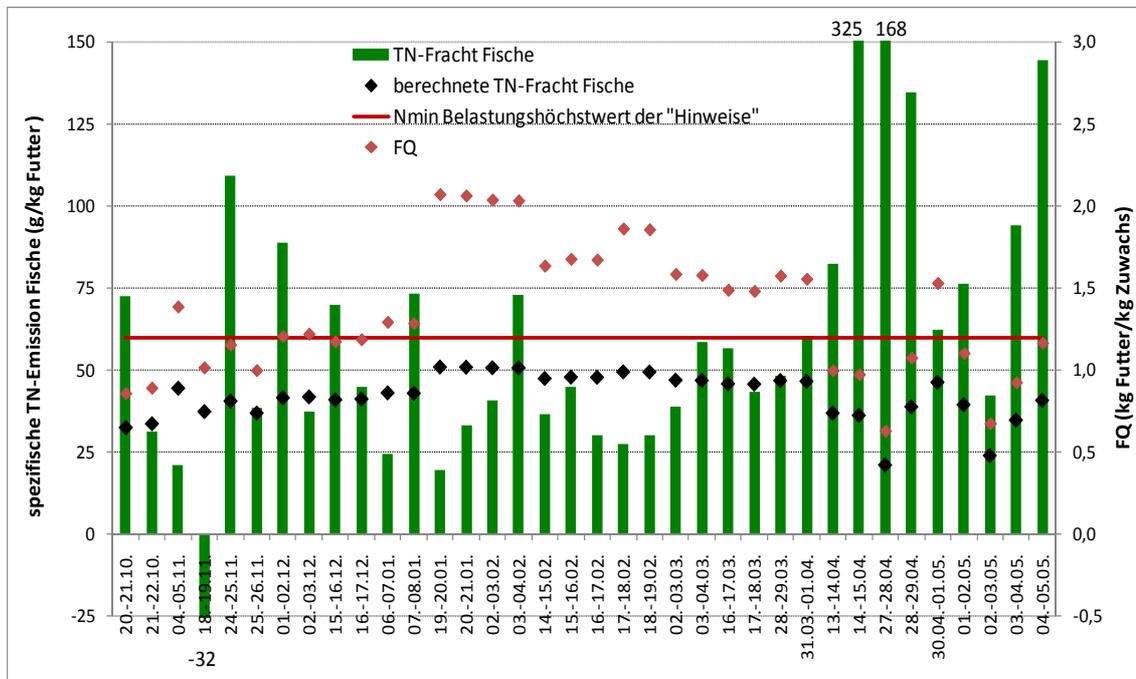


Abbildung 45: Spezifische TN-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010

Tabelle 20: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen TN-Frachten des Fischbestandes

	g TN/t * d	g TN/kg Futter	g TN/kg Futter	g TN/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	1.005,9	76,3	48,9	147,8
Median	1.073,7	79,1	49,6	130,4
Standardabweichung	408,1	31,7	3,9	99,8
prozentuale Standardabweichung*	38,0	40,1	7,3	76,5
90-Perzentil	1592	117	53	325
Aufzuchtperiode 2009 - 2010				
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	berechnet	gemessen
arithmetischer Mittelwert	891,6	65,3	42,5	80,2
Median	713,9	46,6	43,7	75,8
Standardabweichung	590,8	58,6	7,2	55,9
prozentuale Standardabweichung*	82,8	125,7	16,6	73,8
90-Perzentil	1851	138	51	146

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 21: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TN-Frachten der Anlage

	g TN/kg Futter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	41,1
Median	40,5
Standardabweichung	17,0
prozentuale Standardabweichung*	41,9
90-Perzentil	63
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	34,7
Median	31,3
Standardabweichung	28,7
prozentuale Standardabweichung*	91,6
90-Perzentil	75

* bezogen auf den Medianwert

6.4 CSB und andere Parameter der organischen Belastung

Parameter der organischen Wasserbelastung durch die Fischzucht sind der biochemische Sauerstoffbedarf innerhalb von fünf Tagen (BSB₅), der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) und der gesamte organische Kohlenstoff (TOC).

Die CSB-Konzentration bzw. CSB-Fracht ist zur Charakterisierung der leicht abbaubaren organischen Stoffe des Ablaufwassers aus der Fischproduktion nur eingeschränkt geeignet (BRINKER et al. 2006). Besser lässt sich dafür der BSB₅ anwenden. Der CSB wird aber für die Überwachungsaufgaben der Wasserbehörden vorzugsweise genutzt, da sich mit diesem Parameter vor allem stärker belastete Industrieabwässer gut charakterisieren lassen.

CSB ist daher der Parameter der organischen Belastung, der für die Veranlagung zur Abwasserabgabe nach AbwAG und daher auch für die Emissionsanforderungen der „Hinweise“ genutzt wird. Daneben wird für die wasserwirtschaftliche Überwachung verstärkt der TOC als Summenparameter herangezogen, der ebenfalls schwer oxidierbare Inhaltsstoffe mit erfasst und damit, wie der CSB, weniger für die Einschätzung der organischen Belastungen durch die Fischproduktion geeignet ist. Um die Vergleichbarkeit mit älteren BSB₅-Angaben und neueren TOC-Messungen zu gewährleisten, wurden alle drei Parameter bestimmt.

Die Abbildungen 46 und 47 zeigen die gemessenen futterbezogenen CSB-Frachten des Fischbestandes, die nach Gleichung 5 bestimmt wurden. Auch hier ergaben sich wieder während beider Aufzuchtperioden große Streuungen mit z. T. starken Ausreißern.

Die arithmetischen Mittelwerte und die Medianwerte lagen mit 678 und 537 g CSB/kg Futter 2008-2009 bzw. 667 und 433 g CSB/kg Futter in ähnlicher Größenordnung (Tab. 22). Der Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 400 g CSB/kg Futter wird dabei überschritten. Auf die kontinuierliche Reinigung des Ablaufwassers aus den Becken mit dem Siebtrommelfilter kann daher zur Einhaltung des Standes der Technik entsprechend der "Hinweise" nicht verzichtet werden.

Für beide Aufzuchtperioden sind in Abbildungen 48 und 49 die Verläufe der CSB-Konzentrationen am Anlagenzulauf und Anlagenablauf dargestellt. Der Median der Konzentrationsaufstockung der Anlage, d. h. nach Durchfluss des Wassers durch den Siebtrommelfilter, lag 2008 - 2009 mit 5,0 mg/l und 2009 - 2010 mit 11,5 mg/l unterhalb bzw. oberhalb des berechneten Mittelwertes der CSB-Konzentrationsaufstockung von 5,9 mg/l (s. 3.3), aber deutlich unterhalb des CSB-Schwellenwertes nach dem AbwAG von 20 mg/l.

Die Überwachungswerte wurden 2008 - 2009 bei fünf von 26 Messungen überschritten bzw. bei vier Messungen wurde die berechnete CSB-Aufstockung durch die Anlage (Tab. 4) überschritten. Während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 lagen 12 Messwerte von 34 über den Überwachungswerten bzw. bei 13 Messungen wurde die berechnete CSB-Aufstockung durch die Anlage

(Tab. 4) überschritten. Davon lag während beider Aufzuchtperioden jeweils ein CSB-Wert bereits im Zulauf über dem Überwachungswert.

Der größte Teil der Überschreitungen der Überwachungswerte dürfte auch wieder zufälligen Charakter gehabt haben und lässt sich nicht auf ein konkretes Ereignis zurückführen.

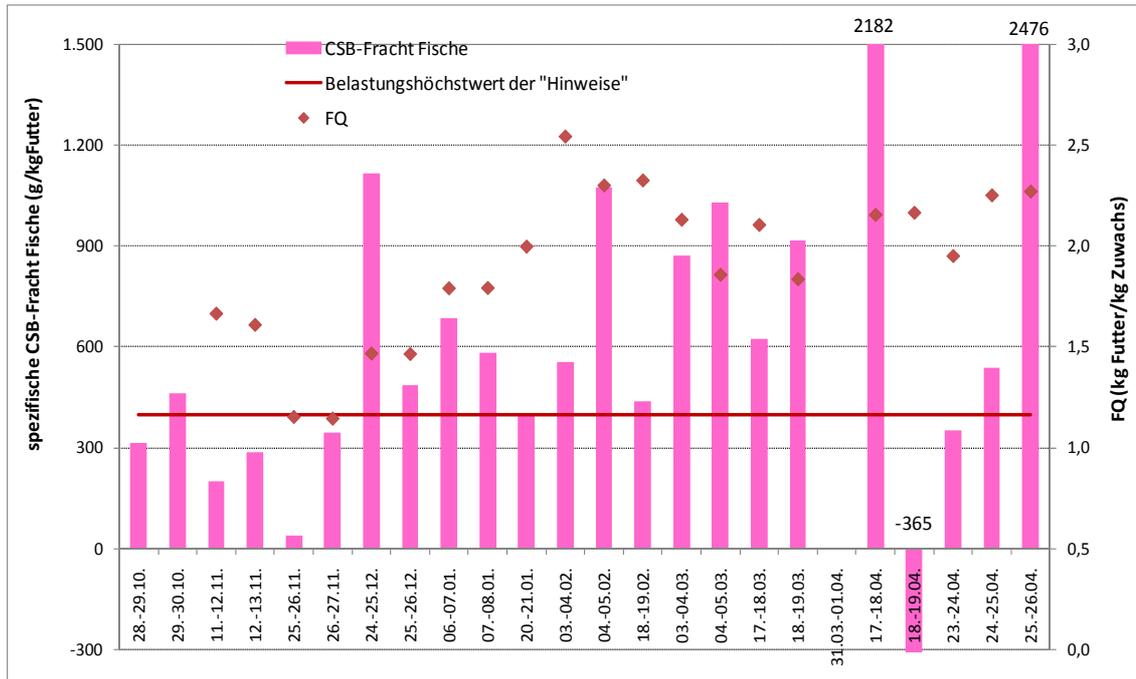


Abbildung 46: Spezifische CSB-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009

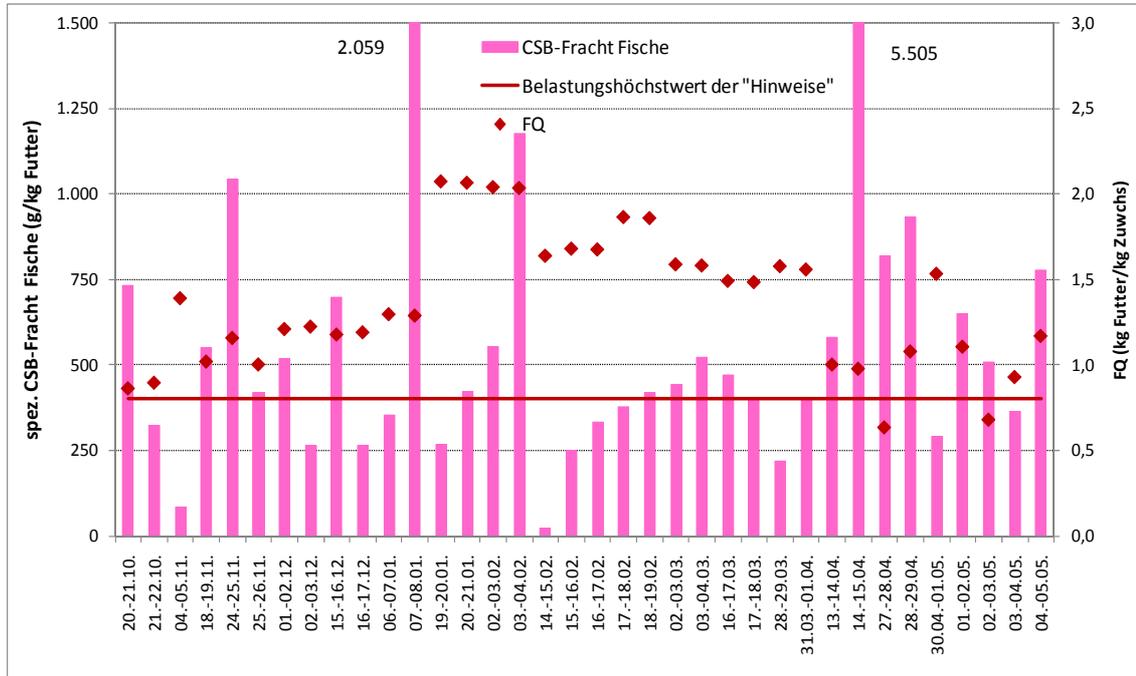


Abbildung 47: Spezifische CSB-Frachten des Fischbestandes bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010

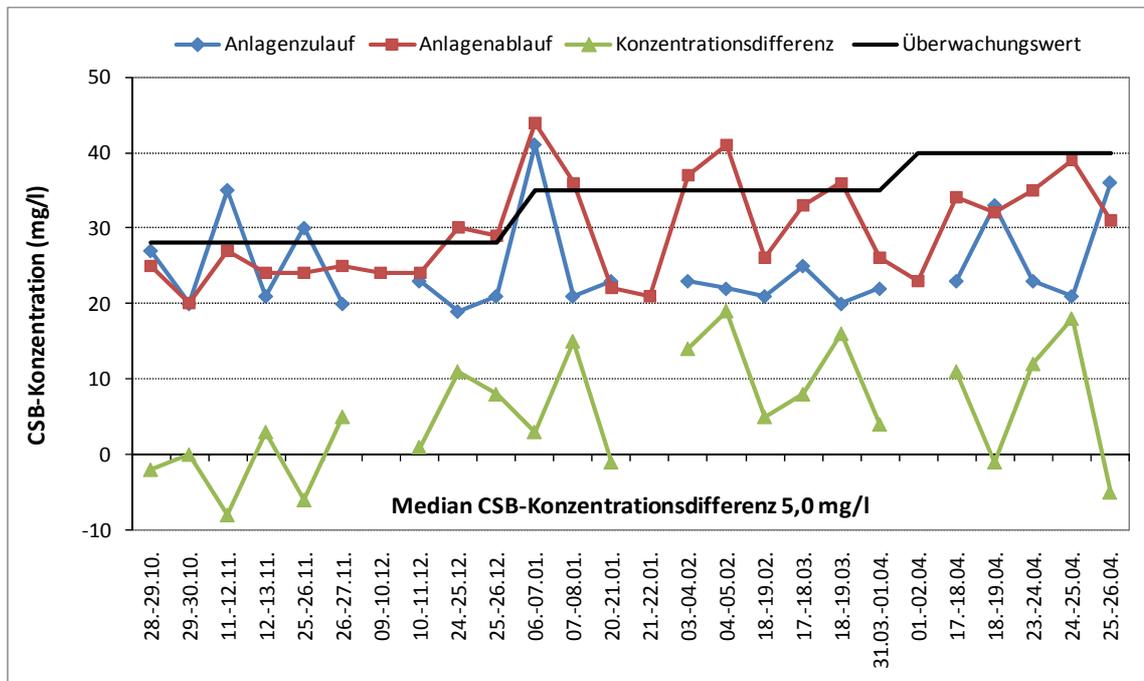


Abbildung 48: CSB-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2008 - 2009

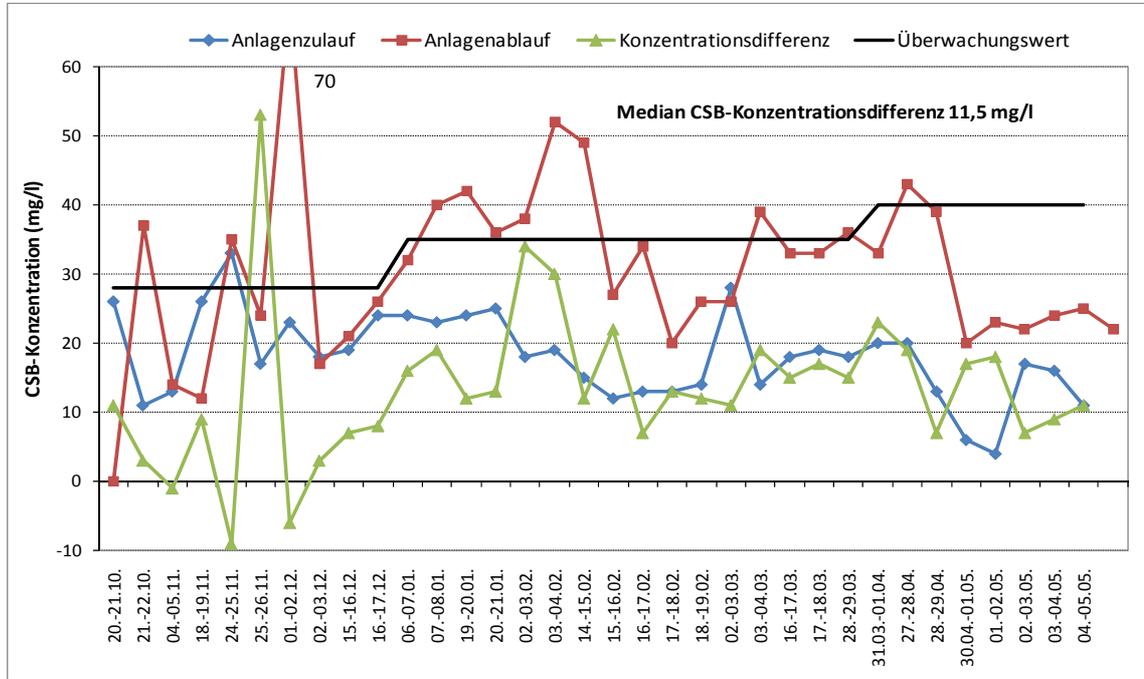


Abbildung 49: CSB-Messwerte der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und Anlagenablauf 2009 - 2010

Wird von einer maximalen Konzentrationsaufstockung von 20 mg/l während der gesamten Aufzuchtperiode ausgegangen, so ergibt sich eine Überschreitung des daraus resultierenden Überwachungswertes der CSB-Konzentration von 40 mg/l 2008 - 2009 an keinem und 2009 - 2010 an fünf Messtagen.

Die spezifischen CSB-Frachten der Anlage bezogen auf die Futtermenge sind in Abb. 50 und 51 dargestellt.

In mehreren Fällen traten negative Konzentrationsdifferenzen und negative Frachten auf. Die Schwankungen der Werte sind wie die der TP-Konzentration sehr hoch. Es ergeben sich Medianwerte von 147 g CSB/kg Futter 2008 - 2009 und 204 g CSB/kg Futter 2009 - 2010, d. h. der Emissionshöchstwert der "Hinweise" von 400 g CSB/kg Futter wird als Mittelwert nicht überschritten.

Der Emissionshöchstwert wurde 2008 - 2009 nur leicht an einem Messtagen am Ende der Produktionsperiode und 2009 - 2010 an drei Messtagen überschritten. Dabei trat ein extremer Ausreißer auf. Die zwei Überschreitungen am Anfang der Aufzuchtperiode

de waren mit negativen Frachten in derselben Zeitperiode verbunden. Insgesamt kann auch hier der Stand der Technik als eingehalten gelten.

Die mittleren CSB-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters lagen als Medianwerte bei 29,4 % bzw. 26,6 %. Dadurch wird vor allem in der zweiten Hälfte der Aufzuchtperiode ein wichtiger Beitrag zur Einhaltung der Überwachungswerte und zur Unterschreitung des Emissionsgrenzwertes der „Hinweise“ geleistet.

Einen völligen Ausschluss von einzelnen „Ausreißern“ mit einer Überschreitung der festgelegten wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Überwachungswerte oder des Belastungshöchstwertes der „Hinweise“ wird es aufgrund des Einflusses zufälliger Faktoren, die zu großen Streuungen führen, nicht geben können.

Da die Medianwerte der Konzentrationsaufstockung durch die Anlage deutlich unter dem Schwellenwert nach dem AbwAG liegen, ist eine Erklärung bzw. Veranlagung zur Abwasserabgabe für den Parameter CSB nicht notwendig. Die für die erste Berechnung der Überwachungswerte der CSB-Konzentration angesetzte spezifische CSB-Fracht von 250 g/kg Zuwachs muss als zu niedrig eingestuft werden. Wird von einer CSB-Fracht des Fischbestandes von 330 g/kg Zuwachs und einer CSB-Entnahmerate des Siebtrommelfilters von 25 % ausgegangen, so wird der CSB-Schwellenwert von 20 mg/l noch nicht überschritten.

Tabelle 22: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen CSB-Frachten der Fische

	g CSB/t * d	g CSB/kg Futter	g CSB/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	140.316	677,5	1.405,6
Median	7.951,7	536,6	1.036,6
Standardabweichung	642.699	623,6	1.807,1
prozentuale Standardabweichung*	8.082,6	116,2	174,3
90-Perzentile	24.109	1.754	4.054
Aufzuchtperiode 2009 - 2010			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	9.743,6	667,0	830,2
Median	6.792,0	433,1	607,3
Standardabweichung	9.731,9	904,4	934,7
prozentuale Standardabweichung*	143,3	208,8	153,9
90-Perzentile	24.002	1.083	1.562

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 23: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen CSB-Frachten der Anlage

	g CSB/kg Futter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	98,5
Median	147,0
Standardabweichung	206,8
prozentuale Standardabweichung*	140,7
90-Perzentil	351
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	271,0
Median	203,7
Standardabweichung	458,7
prozentuale Standardabweichung*	225,2
90-Perzentil	465,9

* bezogen auf den Medianwert

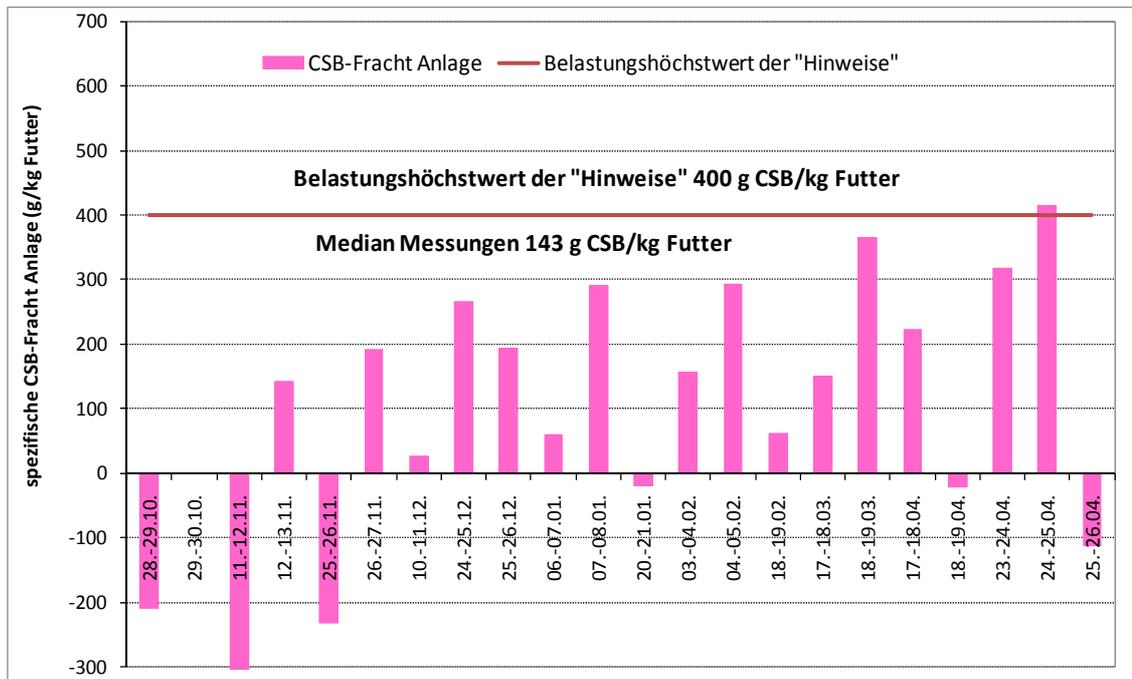


Abbildung 50: Spezifische CSB-Frachten der Anlage bezogen auf die tägliche Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2008 - 2009

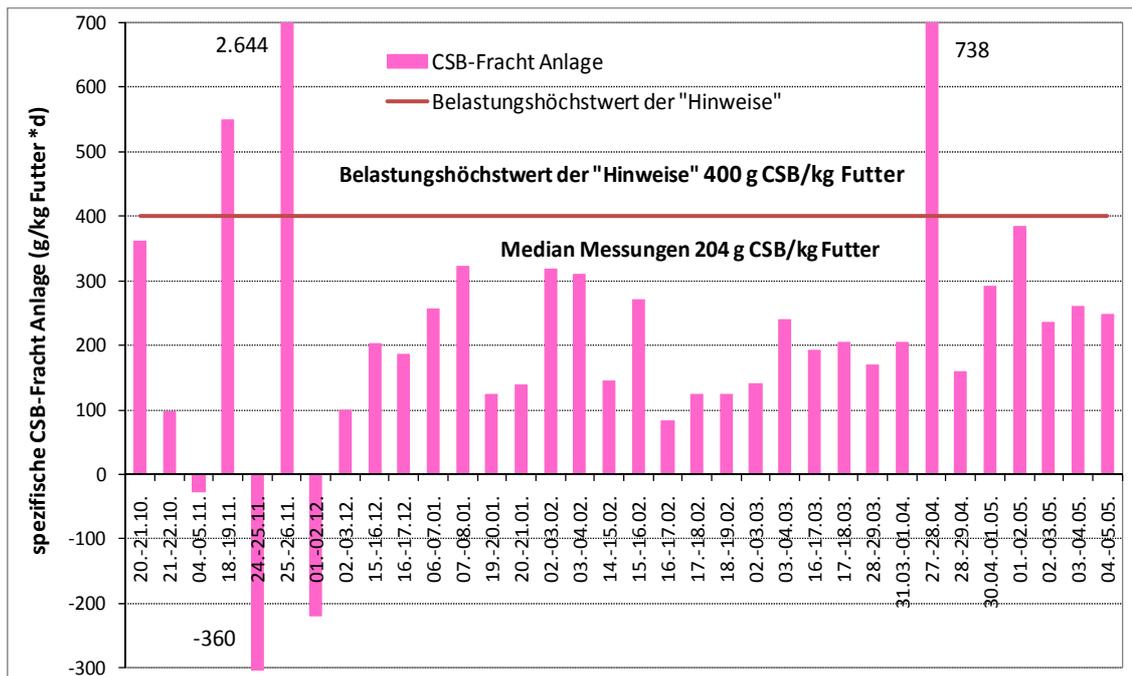


Abbildung 51: Spezifische CSB-Frachten der Anlage bezogen auf die Futtermenge entsprechend der „Hinweise“ 2009 - 2010

In Tab. 24 und 26 sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Werte der 90-Perzentile für die spezifischen BSB₅- und TOC-Emissionen des Fischbestandes zusammengefasst. In Tab. 25 und 27 sind die Mittelwerte und die Streuungswerte der futterbezogenen BSB₅- und TOC-Frachten der Anlage aufgeführt.

Tabelle 24: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen BSB₅-Frachten der Fische

	g BSB ₅ /t * d	g BSB ₅ /kg Futter	g BSB ₅ /kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	6.837,5	189,94	423,7
Median	2.071,1	154,9	264,1
Standardabweichung	20.978,8	184,3	486,7
prozentuale Standardabweichung*	1.013,0	118,9	184,3
90-Perzentile	7.904	476	1.285
Aufzuchtperiode 2009 - 2010			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	2.866,9	178,6	229,1
Median	2.234,5	134,5	173,6
Standardabweichung	2.705,6	177,4	203,8
prozentuale Standardabweichung*	121,1	131,9	117,4
90-Perzentile	7.232	367	394

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 25: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen BSB₅-Frachten der Anlage

	g BSB ₅ /kg Futter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	46,0
Median	45,1
Standardabweichung	67,1
prozentuale Standardabweichung*	148,6
90-Perzentil	156
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	50,1
Median	49,7
Standardabweichung	69,7
prozentuale Standardabweichung*	140,4
90-Perzentil	142

* bezogen auf den Medianwert

Tab. 28 zeigt die zusammengefassten Kennwerte der spezifischen Frachten der Fische für die verschiedenen Parameter der organischen Belastung. Außerdem werden die Verhältniswerte zwischen den einzelnen Parametern angegeben.

Für BSB₅ lag der Median der spezifischen Frachten der Fische, die nach Gleichung 5 bestimmt wurden, 2008 - 2009 bei 154,9 g BSB₅/kg Futter bzw. 2,07 g BSB₅/kg Fischbestand * d sowie 2009 - 2010 bei 134,5 g BSB₅/kg Futter bzw. 2,23 g BSB₅/kg Fischbestand * d. Die mittleren BSB₅-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters betragen als Medianwert 45,1 % bzw. 39,2 %.

Für den Parameter TOC lagen die Mediane der spezifischen Frachten der Fische bei 32,0 g TOC/kg Futter bzw. 0,33 g TOC/kg Fischbestand * d 2008 - 2009 sowie 29,5 g TOC/kg Futter bzw. 0,39 g TOC/kg Fischbestand * d 2009 - 2010. Die mittleren TOC-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters betragen 4,2 % bzw. 0,6 %.

Tabelle 26: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen TOC-Frachten der Fische

	g TOC/t * d	g TOC/kg Futter	g TOC/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	-349,8	-18,4	0,4
Median	331,1	32,0	46,3
Standardabweichung	2861,5	173,0	252,8
prozentuale Standardabweichung*	864,3	539,9	546,5
90-Perzentile	1.004	60	142
Aufzuchtperiode 2009 - 2010			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	486,4	33,4	43,4
Median	389,9	29,5	44,2
Standardabweichung	623,0	43,2	48,5
prozentuale Standardabweichung*	159,8	146,2	109,7
90-Perzentile	1.382	69	76

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 27: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TOC-Frachten der Anlage

	g TOC/kg Futter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	-40,6
Median	4,2
Standardabweichung	170,2
prozentuale Standardabweichung*	4.036,6
90-Perzentil	
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	16,1
Median	23,6
Standardabweichung	42,4
prozentuale Standardabweichung*	179,8
90-Perzentil	58

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 28: Zusammengefasste Kennwerte der Frachten der Fische für die verschiedenen Parameter der organischen Belastung

	CSB	BSB5	TOC
Aufzuchtperiode 2008 - 2009			
spezifische Emission (g/kg Futter)			
arithmetischer Mittelwert	677	190	-18
Median	537	155	32
Standardabweichung	624	184	173
prozentuale Standardabweichung*	116	119	540
90-Perzentil	1.754	476	60
Entnahmerate Siebtrommelfilter (%)**	29,4	45,1	4,2
Verhältnis zu anderen Parametern (Basis Medianwerte)			
CSB	-	3,46	16,7
BSB5	0,29	-	4,83
TOC	0,06	0,21	
Aufzuchtperiode 2009 - 2010			
spezifische Emission (g/kg Futter *d)			
arithmetischer Mittelwert	667	179	33
Median	433	134	30
Standardabweichung	904	177	43
prozentuale Standardabweichung*	209	132	146
90-Perzentil	1.083	367	69
Entnahmerate Siebtrommelfilter (%)**	26,6	39,2	0,6
Verhältnis zu anderen Parametern (Basis Medianwerte)			
CSB	-	3,22	14,7
BSB5	0,31	-	4,55
TOC	0,07	0,22	

* bezogen auf den Medianwert

** Medianwerte

6.5 Abfiltrierbare Stoffe

Den zeitlichen Verlauf der Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe (AFS) am Anlagenzulauf und Anlagenablauf beider Aufzuchtperioden zeigen Abb. 51 und 52.

Generell sind die hohen Zulaufkonzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe auffällig. Dazu im Vergleich ist die AFS-Konzentrationsaufstockung durch die Anlage relativ gering. Der Median der Konzentrationsaufstockung lag 2008 - 2009 bei 14,0 mg/l und 2009 - 2010 bei 42,0 mg/l. Die arithmetischen Mittelwerte betragen dagegen 20,1 mg/l und 2,5 mg/l. In Tab. 29 und 30 sind die Mittelwerte und Streuungen der spezifischen AFS-Emissionen der Fische und der Anlage zusammengefasst.

Bei einer Reihe von Messungen traten negative Konzentrationsdifferenzen und negative Frachten auf. Die Schwankungen der Werte sind wie den TP-Konzentrationen und den Werten der organischen Belastung sehr hoch. Die gemessene Feststoffentnahme des Siebtrommelfilters liegt bei lediglich 18 % bzw. 13 % (Median).

Das hohe Konzentrationsniveau der gemessenen AFS und die Medianwerte der futterbezogenen AFS-Frachten der Fische erscheinen unreal. Die Medianwerte von 920 g AFS/kg Futter 2008 - 2009 bzw. 1.494 g AFS/kg Futter 2009 - 2010 würden im ersten Fall eine Ausscheidung von über 92 % des aufgenommenen Futters durch die Fische und in zweiten Fall eine Ausscheidung

dung der Fische, die die aufgenommene Futtermenge übersteigt, bedeuten. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, die im Rahmen dieser Arbeiten nicht erbracht werden konnten.

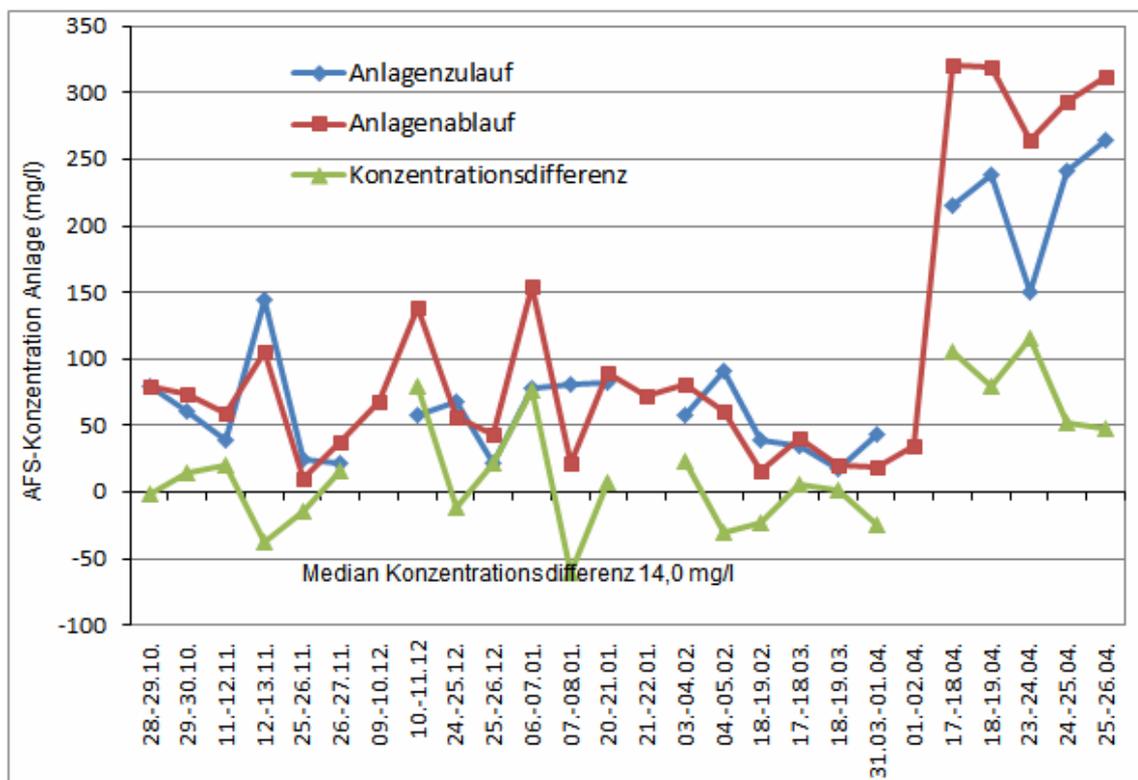


Abbildung 52: Messwerte der abfiltrierbaren Stoffe der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und -ablauf 2008 - 2009

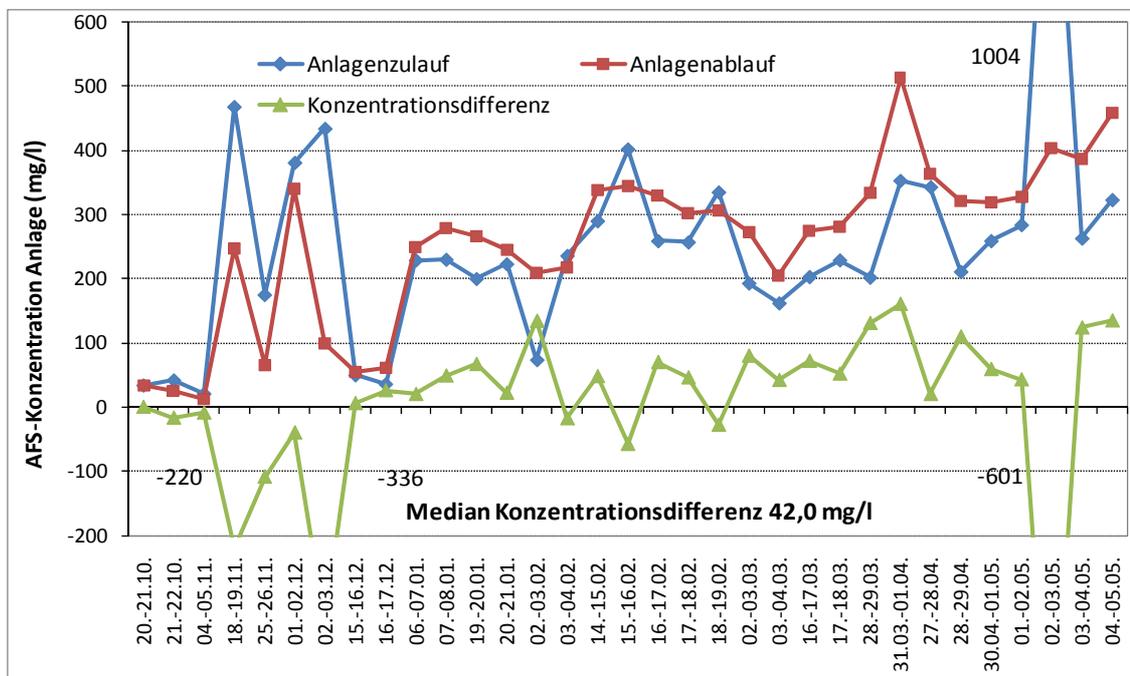


Abbildung 53: Messwerte der abfiltrierbaren Stoffe der 24 h-Mischproben im Anlagenzulauf und -ablauf 2009 - 2010

Tabelle 29: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen AFS-Frachten der Fische

	g AFS/t * d	g AFS/kg Futter	g AFS/kg Zuwachs
Aufzuchtperiode 2008 - 2009			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	12.990,1	1051,0	2.482,2
Median	13.021,9	919,5	1.152,2
Standardabweichung	19.188,1	1.489,2	3.389,4
prozentuale Standardabweichung*	147,4	162,1	294,2
90-Perzentil	36.498	2.767	7.792
Aufzuchtperiode 2009 - 2010			
Art der Bestimmung	gemessen	gemessen	gemessen
arithmetischer Mittelwert	22.380,4	1.027,6	1.743,4
Median	19.830,8	1.493,6	2.156,5
Standardabweichung	40.111,1	4114,7	3.518,1
prozentuale Standardabweichung*	202,3	275,5	163,1
90-Perzentil	51.608	4.304	4.527

* bezogen auf den Medianwert

Tabelle 30: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen AFS-Frachten der Anlage

	g AFS/kg Futter
Aufzuchtperiode 2008 - 2009	
arithmetischer Mittelwert	545,7
Median	380,9
Standardabweichung	1.154,7
prozentuale Standardabweichung*	303,2
90-Perzentil	2.152
Aufzuchtperiode 2009 - 2010	
arithmetischer Mittelwert	-901,6
Median	579,2
Standardabweichung	4.869,9
prozentuale Standardabweichung*	-540,1
90-Perzentil	2.102

* bezogen auf den Medianwert

6.6 Probenahmeumfang am Beispiel Gesamtphosphor

Die festgestellten großen Streuungen bei den Konzentrationsmessungen und Frachtbestimmungen werfen die Frage auf, ob sich diese Schwankungen durch das Poolen mehrerer nacheinander entnommener 24 h-Mischproben verringern ließen. In diesem Fall wird der Probenahmeumfang vergrößert.

Diese Betrachtungen werden nur für TP, als den einzigen abwasserabgabepflichtigen Parameter, vorgenommen. Als vergleichbare Werte werden die futterbezogenen TP-Frachten des Fischbestandes und der Anlage genutzt. In Tab. 31 und 32 sind die Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Emissionen des Fischbestandes und der Anlage für die einzelnen 24 h-Mischproben sowie die 48 h-Mischproben aufgeführt. Letztere Werte wurden als Mittel der zwei aufeinanderfolgenden 24 h-Mischproben gebildet. Es ist erkennbar, dass sich die arithmetischen Mittelwerte und die Medianwerte der 48 h-Mischproben nur geringfügig von denen der 24 h-Mischproben unterscheiden. Die Standardabweichung sank in allen vier Fällen. Das Niveau der prozentualen Standardabweichung und des 90-Perzentils ist aber weiterhin so hoch, dass sich zumindest mit einer 48 h-Mischprobe keine grundsätzliche Verbesserung erreichen lässt. Die mit den Streuungen der Konzentrations- und Frachtwerte

verbundenen Probleme bei der Veranlagung zur Abwasserabgabe sowie der wasserrechtlichen Überwachung werden sich dadurch nicht lösen lassen.

In Tab. 33 sind die Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Emissionen angegeben, die an sieben Tagen hintereinander (28.04. - 4.05. 2010) als 24 h-Mischproben entnommen wurden. Es ergeben sich größere Abweichungen der Mittelwerte der Sieben-Tage-Probe gegenüber den Mittelwerten der gesamten Produktionsperiode. Die prozentuale Standardabweichung und die 75-Perzentile sind weiterhin relativ hoch.

Eine über 48 h hinausgehende Zeitdauer der Probenahme wird anscheinend auch nicht zu einer deutlichen Minimierung der Streuungen bei den Messungen führen können. Außerdem treten hierbei dann schon die Probleme der internen Umsetzungsprozesse im Probenwasser, der Kühlung der Proben und der veränderten Futtermengen und Fischzuwächse auf.

Tabelle 31: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Emissionen für die einzelnen 24 h-Mischproben sowie für zwei aufeinanderfolgende gemittelte 24 h-Mischproben 2008 - 2009

Aufzuchtperiode 2008 - 2009	Emissionen Fischbestand (g TP/kg Futter)		Emissionen Anlage (g TP/kg Futter)	
	24 h-Mischproben	Mittel aus zwei 24 h-Mischproben**	24 h-Mischproben	Mittel aus zwei 24 h-Mischproben**
Anzahl Proben	21	10	19	9
arithmetischer Mittelwert	9,7	9,1	1,9	1,8
Median	6,9	7,4	2,2	1,9
Standardabweichung	11,0	5,3	1,9	1,1
prozentuale Standardabweichung*	158,6	71,5	85,6	56,0
90-Perzentil	17,3	21,8	3,7	3,1

* bezogen auf den Medianwert

** eine Probe als Mittel aus drei Tagen

Tabelle 32: Mittelwerte und Streuungen der futterbezogenen TP-Emissionen für die einzelnen 24 h-Probenahmen sowie für zwei aufeinanderfolgende gemittelte 24 h-Mischproben 2009 - 2010

Aufzuchtperiode 2009 - 2010	Emissionen Fischbestand (g TP/kg Futter)		Emissionen Anlage (g TP/kg Futter)	
	24 h-Mischprobe	Mittel von zwei 24h-Mischproben**	24 h-Mischprobe	Mittel von zwei 24h-Mischproben**
Anzahl Proben	34	16	32	15
arithmetischer Mittelwert	25,6	26,0	7,5	7,7
Median	10,7	13,5	3,4	2,6
Standardabweichung	60,3	34,2	37,1	31,6
prozentuale Standardabweichung*	565,1	252,6	1.087,8	1.204,0
90-Perzentil	115,9	102,2	8,2	50,1

* bezogen auf den Medianwert

**zwei Proben als Mittel aus drei Tagen

Tabelle 33: Mittelwerte und Streuungen der spezifischen futterbezogenen TP-Emissionen von sieben hintereinander entnommenen 24 h-Mischproben (28.04. - 4.05. 2010)

	Emissionen Fischbestand (g TP/kg Futter)	Emissionen Anlage (g TP/kg Futter)
Anzahl Proben	7	7
arithmetischer Mittelwert	21,2	5,3
Median	16,6	5,5
Standardabweichung	20,4	2,2
prozentuale Standardabweichung*	122,4	39,7
75-Perzentil	46,9	6,2

bezogen auf den Medianwert

7 Reinigungswasseraufbereitung

Das Reinigungswasser des Siebtrommelfilters wird über einen Pumpensumpf dem Absetzbecken zugeführt. Insgesamt besitzt das Absetzbecken ein Volumen von 73,5 m³ und setzt sich aus drei Abteilen zusammen. Das Überlaufwasser läuft aus dem Absetzbecken zurück in die zentrale Ablaufrinne der vier 175 m³-Fischbecken.

Die durch den Siebtrommelfilter entnommenen Stofffrachten wurden zum einen rechnerisch aus der Differenz der Konzentrationen vor und nach dem Filter, d. h. der Konzentrationsdifferenz zwischen Beckenauslauf und Anlagenauslauf, multipliziert mit dem Frischwasserdurchfluss ermittelt (wasserseitig bestimmte Entnahmefracht).

Zum anderen erfolgte die Berechnung der Reinigungswasserfracht des Siebtrommelfilters aus den stichprobenartig bestimmten Konzentrations- und Durchflusswerten des Reinigungswassers. Dabei wird davon ausgegangen, dass das für die Reinigung des Siebtrommelfilters genutzte Spülwasser weitgehend unbelastet ist. Insgesamt wurden nach dieser Methode 2008 - 2009 12 Frachtwerte und 2009 - 2010 15 Frachtwerte bestimmt.

Der Vergleich der wasserseitig ermittelten Entnahmefrachten mit den Reinigungswasserfrachten ergab große Differenzen. Der Median der wasserseitig bestimmten Entnahmefracht lag für den Parameter TP 2008 - 2009 bei 2.307 g TP/d und 2009 - 2010 bei 4.741 g TP/d. Die ermittelten Frachten des Reinigungswassers betragen dagegen nur 1.249 bzw. 1.933 g TP/d. Einflussgrößen sind hierbei die schwankenden Durchflüsse der Reinigungswasserpumpe, z. B. durch Zusetzen und Verschleiß der Düsen, der geringe Stichprobenumfang bei der Bestimmung des Durchflusses und der Konzentrationen des Reinigungswassers sowie die ebenfalls sehr starken Streuungen der Konzentrationswerte. Genauere Untersuchungen würden einen sehr viel höheren messtechnischen Aufwand erfordern, der im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen war und fachlich auch nicht notwendig erschien.

Der mittlere Wasserdurchfluss des Reinigungswassers lag 2008 - 2009 bei 4,6 m³/h und 2009 - 2010 bei 3,8 m³/h. Daraus ergeben sich mittlere Wasseraufenthaltszeiten des Reinigungswassers im Absetzbecken von 16,0 bzw. 19,3 Stunden.

Tabelle 34: Mediane der Konzentrationsmessungen vor und hinter dem Absetzbecken und ermittelte Entnahmeraten

	Zulauf (mg/l)	Ablauf (mg/l)	Differenz (mg/l)	Entnahmerate (%)
Aufzuchtperiode 2008 - 2009				
TP	8,2	7,1	1,0	12,7
PO4-P	1,2	4,9	-3,7	-303,3
BSB5	357	111	245,5	68,9
TOC	75	94	-19,0	-25,3
CSB	1.307	313	994,0	76,1
TN	41	13	28,0	68,3
Nmin	1,2	1,0	0,1	11,5
AFS	648	147	501,0	77,3
Aufzuchtperiode 2009 - 2010				
TP	21,0	5,6	15,4	73,3
PO4-P	0,9	1,4	-0,6	-63,3
BSB5	292,5	97,0	195,50	66,8
TOC	83,0	59,0	24,00	28,9
CSB	689	333	356,5	51,7
TN	37,2	15,1	22,1	59,5
Nmin	1,6	0,05	1,6	97,2
AFS	800	337	463,3	57,9

Mit Hilfe der Konzentrations- und Durchflussmessungen am Auslauf des Absetzbeckens sowie der Konzentrationsmessungen des Reinigungswassers konnte die Rückhaltung bzw. Umsetzung der einzelnen Wasserinhaltsstoffe im Absetzbecken zumindest orientierend ermittelt werden. Aufgrund von Problemen mit dem Wasserzähler 2008 - 2009 und der 2009 - 2010 geänder-

ten Methodik der Durchflussbestimmung wurden die prozentualen Rückhaltungs- bzw. Umsetzungsraten lediglich auf der Basis der Konzentrationen bestimmt.

Die als Mediane zusammengefassten Werte sind in Tab. 34 dargestellt. Der Median 2008 - 2009 wurde aus acht Konzentrationsdifferenzen und der 2009 - 2010 aus 12 Werten bestimmt.

Die Daten beider Aufzuchtperioden ergaben für einige Parameter ein übereinstimmendes Bild. Die organische Belastung als BSB₅ und CSB wird in hohem Maße im abgesetzten Schlamm festgelegt oder im Absetzbecken umgesetzt. Dasselbe gilt für Gesamtstickstoff TN und die abfiltrierbaren Stoffe AFS. Der Abbau des mineralischen Stickstoffs N_{min} dürfte von den speziellen Nitrifikations- und Denitrifikationsbedingungen abhängig sein. Insgesamt kommt es aber durch die Nitrifikations- und Denitrifikationsvorgänge zu einem deutlichen Stickstoffabbau oder einer Stickstofffestlegung im Schlamm.

Die Phosphorrückhaltung war in beiden Jahren unterschiedlich. 2008 - 2009 wurde ein relativ geringer Wert von ca. 13 % TP ermittelt. Dafür stieg der Anteil an gelöstem Phosphor PO₄-P stark an. Die Ursache dürfte in Rücklösungserscheinungen, insbesondere unter anaeroben Bedingungen liegen. 2009 - 2010 war die TP-Retention im Absetzbecken mit 73 % bedeutend höher und die Erhöhung an gelöstem Phosphor PO₄-P geringer.

2008 - 2009 wurden 141 m³ Schlamm und 2010 116 m³ abgefahren. Entweder wurde der Schlamm einem Klärwerk zugeführt oder auf Teichflächen der Karpfenaufzucht ausgebracht. Es ergab sich ein Schlammanfall von 2,15 bzw. 1,15 m³ Schlamm/t Zuwachs bzw. 1,32 und 0,89 m³ Schlamm/t Futter.

Am 30.04. und 5.05.2010 wurde jedem Abteil des Absetzbeckens eine Schlammprobe mittels Bodengreifer entnommen. Die gemittelten Analysewerte sind in Tab. 35 zusammengefasst. Diese Werte haben bisher nur orientierenden Charakter.

Tabelle 35: Mittelwerte der Analyse von sechs Schlammproben vom 30.04. und 5.05.2010

Parameter	Kurzbezeichnung	Einheit	Wert
Gesamtposphor	TP	g/kg TS	50,4
pflanzenverfügbarer Phosphor	PDL	g/kg TS	4,2
Kjeldahl-Stickstoff	TKN	g/kg TS	37,0
chemischer Sauerstoffverbrauch	CSB	g/kg TS	781
gesamter organischer Kohlenstoff	TOC	g/kg TS	395
Rohschlammichte	RSD	kg/dm ³	1,03
Trockensubstanzgehalt	TS	%	15
Glühverlust	GV	%	66

8 Zusammenfassung der Ergebnisse und Diskussion

8.1 Emissionsanforderungen für Durchflussanlagen

Warmwasser-Durchflussanlagen der Fischzucht sind technische Anlagen, die Wasser nutzen, das z. B. durch ein Kraftwerk aus dem natürlichen Wasserkreislauf herausgelöst und in seinen Eigenschaften verändert wurde. Das aus derartigen Fischzuchtanlagen abgeleitete Wasser ist dadurch Abwasser im Sinne des Abwasserabgabengesetzes (AbwAG). Werden die vorgegebenen Konzentrations-Schwellenwerte der im AbwAG festgelegten Schadstoffparameter überschritten, setzt die Abwasserabgabepflicht im Umfang der produzierten Frachten ein.

Die grundsätzlichen Emissionsanforderungen des § 7a des früheren Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) (§ 57 Abs. 1 Nr. 1 des aktuellen WHG) wurden auch auf die überwiegend nicht abwasserabgabepflichtigen Aufzuchtverfahren der Binnenfischerei übertragen, d. h. die Belastung des genutzten Wassers ist so gering zu halten, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Anhaltspunkte für die dazu in Betracht kommenden Maßnahmen und Verfahrensweisen wurden in dem LAWA-Papier „Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung“ (LAWA 2003) dargestellt. Diese schließen auch die wenigen abwasserabgabepflichtigen Anlagen mit ein.

Die „Hinweise“ sollen als Hilfe bei Genehmigungs- und Überwachungsverfahren dienen und zu deren Vereinheitlichung beitragen. In Tab. 36 sind die Anforderungen, die in dieser Hinsicht an Durchflussanlagen gestellt werden, zusammengefasst. Bei deren Einhaltung kommt es lediglich zu solchen Belastungen des genutzten Wassers, die durch sinnvolle und wirtschaftlich vertretbare technische Maßnahmen nicht weiter verringert werden können. Für Warmwasser-Durchflussanlagen bildet die Einhaltung dieser Maßgaben des Standes der Technik die Voraussetzung für die Ermäßigung des Abgabesatzes der Abwasserabgabe um die Hälfte der Schadeinheiten.

Bei der im Regelfall intensiven Nutzung des vorhandenen Warmwassers ist für Warmwasser-Durchflussanlagen im offenen Kreislauf die Intensitätsstufe III der "Hinweise" zutreffend, d. h. neben den energiereichen und phosphorarmen Futtermitteln ist eine Reinigung des Ablaufwassers mit Hilfe eines Siebtrommelfilters oder eines Absetzbeckens erforderlich. Diese Voraussetzungen sind in der Anlage Schwarze Pumpe erfüllt.

Als anlagentechnische Voraussetzungen werden die getrennte Abführung und Behandlung des bei der Abfischung anfallenden Restwassers sowie des Reinigungswassers ohne signifikante Belastung des Vorfluters gefordert. Hinzu kommt die Möglichkeit einer vollständigen, unabhängigen Entleerung jeder Fischhaltungseinrichtung. Weiterhin wird die zentralisierte Ableitung des Ablaufwassers gefordert.

8.2 Probleme bei der Emissionsbestimmung durch Messungen

Aus den in der Anlage Schwarze Pumpe durchgeführten Untersuchungen ist ersichtlich, dass bei der messtechnischen Bestimmung der Frachten der Fischproduktion bzw. der Auslaufkonzentrationen der Anlage auch auf der Basis von 24 h-Mischproben große Streuungen auftreten.

Bei anderen Messungen in Kaltwasser-Durchflussanlagen wurden ebenfalls große Streuungen der Konzentrationsparameter und folgerichtig auch stark schwankende Frachten festgestellt. Das Spektrum reichte dabei von negativen Werten bis zu einem Mehrfachen der z. B. beim Phosphor errechneten Frachten. Extreme Schwankungen sind dabei auch an aufeinanderfolgenden Tagen bei derselben Futtermenge aufgetreten (RÜMMLER 2010 u. 2011).

Stark schwankende Konzentrations- und Frachtwerte wurden auch im Rahmen einer Reihe weiterer Untersuchungen, vorrangig in Forellenanlagen, festgestellt (FOY & ROSELL 1991a, b, FLADUNG 1993, HENNESSY et al. 1996, KELLY et al. 1996, EICHHOLZ

1997, AXLER et al. 1997, LEMARIE et al. 1998, MAILLARD et al. 2005, PAPATRYPHON et al. 2005, ROQUE D'ORBCASTEL et al. 2008). Wie bei den eigenen Untersuchungen ergaben auch die Arbeiten von FOY & ROSELL (1991a, b), LEMARIE et al. (1998) sowie PAPATRYPHON et al. (2005) erst nach Mittelwertbildung einer größeren Anzahl von Messungen oder erst bei sehr großen Stichprobenumfängen (CHO et al. 1991, 1994) sinnfällige Werte. Derartig umfangreiche Messungen sind aus Kosten- und Aufwandsgründen bestenfalls für wissenschaftliche Untersuchungen geeignet, nicht aber für stichprobenartige Frachtermittlungen in der Praxis.

Der messtechnische Nachweis der Einhaltung der wasserrechtlichen Überwachungswerte und der in den „Hinweisen“ angegebenen Frachthöchstwerte ist auf der Basis von einzelnen 24 h-Mischproben daher in der Praxis nicht anwendbar. Wie die durchgeführten Untersuchungen ergaben, ist es für Warmwasser-Durchflussanlagen ebenfalls nicht möglich, die wirklichen Frachten der abwasserabgabepflichtigen Parameter auf der Basis weniger, stark schwankender Messwerte richtig abzubilden. Das kann fatale finanzielle Folgen für den Betreiber haben.

Tabelle 36: Zusammenfassung der Maßnahmen und Verfahrensweisen für Durchflussanlagen der „Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung“ (LAWA 2003)

	Intensitätsstufe I	Intensitätsstufe II	Intensitätsstufe III
Jahreszuwachs (kg je l/s Frischwasser)	< 150	150 - 500	> 500
Futtermittel	keine Anforderungen	zu mehr als 80 % hoch verdauliche Futtermittel: Bruttoenergie mindestens 20 MJ/kg, Phosphorgehalt maximal 1,2 % *	
Behandlung des Ablaufwassers:			
Futtereinsatz (kg je l/s Frischwasser)	< 150	150 - 500	> 500
Ablaufreinigung:	nicht erforderlich	wie Intensitätsstufe III wenn die Anforderungen an das Futter nicht eingehalten werden, ansonsten nicht erforderlich	erforderlich, z. B. Mikrosieb mit ca. 60 - 100 µm Maschenweite oder Absetzbecken mit rechnerischer Verweilzeit größer 30 Minuten
Belastungshöchstwerte (g/kg Futter Tagesmenge)	chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) 400 Gesamtphosphor (TP) 7 Stickstoff anorganisch (Nanorg = NH4-N + NO2-N + NO3-N) 60		
Überwachung:	Belastungshöchstwerte können als eingehalten gelten, solange Vorgaben an Futter und Ablaufreinigung erfüllt sind ansonsten Überprüfung der Einhaltung durch Messung (Ermittlung der Konzentrationsdifferenz Ablauf - Zulauf aus 24 h Mischprobe, Abflussdurchfluss in 24 h, mittlere Futterration der beiden Vortage)		
Dokumentation:	Jahresverbrauch an Futtermitteln, Medikamenteneinsatz, Betriebstagebuch mit Schlammentnahmen und Vorkommissen		

* Speisefischproduktion

8.3 Ursachen der großen Streuungen der gemessenen Konzentrationen und bestimmten Frachten

Als mögliche Ursachen der großen Streuungen der Konzentrationswerte sind zuerst messtechnische Probleme zu berücksichtigen. Zum einen ist der entnommene Stichprobenumfang sehr gering. Bei einer mittleren Wassermenge in der Anlage Schwarze Pumpe von 450 m³/h entspricht die Probenahme von 10 l über 24 h einem Stichprobenumfang von lediglich 0,053 %. Auf diese Art und Weise lässt sich keine repräsentative Stichprobe der im Ablaufwasser diskontinuierlich und ungleichmäßig verteilten Kotreste der Fische ermitteln. Die Messwerte der partikulären Emissionen werden daher bereits durch den Probenumfang große Streuungen aufweisen. Auch nach der Passage des Siebtrommelfilters ergibt sich derselbe Sachverhalt für die hier dann immer noch vorliegenden feindispersen Partikel mit einer Größe unterhalb der Maschenweite des Siebtrommelfilters.

Weiterhin sind durch die hohen Wasserdurchflüsse die Differenzen der Konzentrationen zwischen Anlagenablauf und Anlagenzulauf zumindest in der ersten Aufzuchtphase im Vergleich zur Höhe der Konzentrationswerte gering. Dadurch führen auch die

Fehlergrenzen bzw. Bestimmungsunsicherheiten der Analyseverfahren zu weiteren Streuungen der Frachtwerte. Bei einem spezifischen Frischwassereinsatz von ca. 20 m³/t*^h liegen die Bestimmungsunsicherheiten im Bereich von ± 10 % (TP ± 5,3 %, TN ± 9,3 %, CSB ± 10,8 %). Dabei wurden die Fehler der Durchflussmessung noch nicht berücksichtigt.

Genauso bedeutend und wahrscheinlich noch umfangreicher dürften die Schwankungen der Frachten selbst sein. Einerseits haben Veränderungen der Futteraufnahme und -verwertung auch einen variablen Umfang der Ausscheidungen der Fische zur Folge. Die Ursachen dafür können in schwankenden Umwelt-, Haltungs- und Bewirtschaftungsbedingungen liegen. Insbesondere Temperatur, Qualität und Menge des zufließenden Wassers sowie das Fütterungsregime sind hierbei zu nennen. Auch fischgesundheitliche und konditionelle Probleme sowie Stressfaktoren können eine Rolle spielen. Andererseits ist anhand der durchgeführten Messungen und den aufgeführten Literaturangaben naheliegend, dass Durchflussanlagen der Fischzucht nicht als einfache Durchlaufsysteme mit einer für alle Stoffe konstanten mittleren Aufenthaltszeit betrachtet werden können.

Für die im Wasser löslichen Ausscheidungen der Fische, die über die Kiemen (CO₂, NH₃/NH₄⁺) und mit dem Urin (Harnstoff, Phosphate) abgegeben werden, kann unterstellt werden, dass sie in den Fischhaltungseinrichtungen weitgehend homogen verteilt sind.

Die Feststoffpartikel des Kots sinken durch ihre Dichte und Größe zunächst zu einem großen Teil auf den Boden der Fischhaltungseinrichtung und werden anschließend durch die Wasserturbulenzen und einsetzende Zerfallsprozesse zerkleinert. Durch chemische Auswaschung und mikrobielle Freisetzung werden organische Substanzen und Nährstoffe aus dem Kot nach und nach im Wasser gelöst. Beim Auftreten ausreichender Strömungsgeschwindigkeiten werden die kleineren Partikel aufgewirbelt und gegebenenfalls nach weiteren Absetzvorgängen zum Auslauf der Fischhaltungseinrichtung transportiert. Diese Prozesse verlaufen örtlich und zeitlich diskontinuierlich, in Abhängigkeit von den lokalen Strömungsgeschwindigkeiten bzw. -turbulenzen (FOY & ROSELL 1991a, b, KELLY et al. 1996, PAPATRYPHON et al. 2005, ROQUE D'ORBCASTEL 2008). Daneben können sich aber auch kleinere Partikel durch Flockungsprozesse wieder zu größeren verbinden (BRINKER et al. 2006).

Die diskontinuierlichen Strömungsverhältnisse, die zu den zeitlich und örtlich variablen Zerkleinerungs-, Sedimentations-, Re-suspensions- und Austragsvorgängen der partikulären Substanz führen, können zahlreiche Ursachen haben. Dazu gehören ein schwankendes Wasserdargebot (PAPATRYPHON et al. 2005), uneinheitliche Strömungsverhältnisse in den Fischhaltungseinrichtungen, unterschiedliche Besatzstärken und Fischgrößen sowie die Bewirtschaftungsprozesse, die zu schwankenden Schwimmaktivitäten, Beunruhigungen und Stresssituationen der Fische führen (CHO et al. 1991, 1994, FOY & ROSELL 1991b, HENNESSY et al. 1996, KELLY et al. 1996, BERGHEIM & ASGARD 1996, MAILLARD et al. 2005, PAPATRYPHON et al. 2005). Als Bewirtschaftungsprozesse sind vor allem Fütterung, Besatz, Abfischung, Sortierung, Probewägung und Reinigung anzuführen.

Das Auftreten diskontinuierlicher Austräge der partikulären Substanz wird verständlicher, wenn man sich vor Augen führt, dass die Strömungsgeschwindigkeit in den Becken und Kanälen zur Fischhaltung vielfach nicht ausreichend ist, um ohne die Fische eine Selbstreinigung zu gewährleisten. Erst die Turbulenzen durch die Schwimmbewegung der Fische führen zu einem ausreichenden Austrag des Kots. Die Ablagerungsmöglichkeiten von Kot- und Schlammpartikeln in weniger durchströmten Teilen der Anlage in Abhängigkeit von der Aktivität der Fische sowie den Wasserdurchflüssen bzw. lokalen Strömungsgeschwindigkeiten sind allgemein bekannt. Deutlich wird dieser Sachverhalt auch anhand der rechnerischen Wasseraufenthaltszeit in Durchflussanlagen, die im vorliegenden Fall bei einem Wasserwechsel in den Becken von ca. 1,0 h⁻¹ ca. 60 Minuten beträgt. Die untere Grenze der für Absetzbecken angegebenen Werte liegt mit ca. 0,5 h bereits bedeutend niedriger (SUMMERFELD 1999, LEKANG 2007).

In Untersuchungen von CHO et al. (1991, 1994), HENNESSY et al. (1996), KELLY et al. (1996), EICHHOLZ (1997), LEMARIE et al. (1998), MAILLARD et al. (2005), PAPATRYPHON et al. 2005 sowie ROQUE D'ORBCASTEL (2008) waren die Schwankungen der in hohem Maße an partikuläre Substanzen gebundenen Frachtparameter wie Feststoffe, TP und biologischer Sauerstoffbedarf BSB₅ bedeutend höher als die überwiegend gelöst vorliegenden NH₄⁺- bzw. TN-Frachten. Dieser Sachverhalt konnte auch durch die vorliegenden Messungen bestätigt werden. Es war erkennbar, dass die Streuungen der Konzentrations- und Frachtwerte der ausschließlich oder überwiegend gelöst vorliegenden Stickstoffparameter am geringsten waren.

Anlagen mit einer größeren Anzahl kleinerer Becken, zyklischen Reinigungsarbeiten und häufigeren Umsetzungs-, Sortierungs- und Abfischungsprozessen dürften von schwankenden Austrägen der partikulären Substanz stärker betroffen sein als Anlagen mit weitgehend selbstreinigenden, großen Haltungseinheiten, die nach dem Rein-Raus-Prinzip der Fischbestände arbeiten. Für die Anlage Schwarze Pumpe dürften in dieser Hinsicht bereits günstige Verhältnisse vorliegen.

Die mittlere Wasseraufenthaltszeit in Durchflussanlagen mit offenem Kreislauf kann bis zu drei Stunden betragen. In diesen Zeiträumen laufen in geschlossenen und teilgeschlossenen Kreislaufanlagen bei ausreichend großer Besiedelungsfläche für die Bakterien bereits Nitrifikations- und gegebenenfalls Denitrifikationsprozesse sowie Abbauvorgänge der organischen Substanz ab. Daher können auch die in gelöster Form vorliegenden Emissionen, insbesondere die Stickstofffrachten, in Durchflussanlagen bereits Umsetzungsprozessen unterliegen. KNÖSCHE (1992) gab für Forellen-Durchflussanlagen einen Stickstoffverlust durch Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse von ca. 30 % an. Durch die relativ hohe Wasseraufenthaltszeit in Warmwasser-Durchflussanlagen durch den niedrigen spezifischen Frischwassereinsatz, die zusätzliche Kreislaufführung des Wassers sowie die Temperaturen über 20 °C dürften diese Effekte auch hier nicht vernachlässigbar sein.

8.4 Emissionsberechnungen auf der Basis von Nährstoffemissionsbilanzen

Geeigneter im Vergleich zu den Messungen ist die rechnerische Bilanzierung der Phosphor- und Stickstofffrachten. Aus deutscher Sicht wurden die Möglichkeiten einer genaueren rechnerischen Bilanzierung der tatsächlichen mittleren Belastung im Vergleich zu ungenauen Einzelmessungen bereits von BRINKER et al. (2006) herausgestellt. Anhand des Vergleichs mit entsprechend umfangreichen Messungen wurde die Eignung von Nährstoffemissionsbilanzen zur Berechnung der Nährstoffeinträge durch die Fische in Forellenanlagen in mehreren Arbeiten bestätigt (FOY & ROSELL 1991a, CHO et al. 1994, LEMARIE et al. 1998, PAPATRYPHON et al. 2005). Für die Bewertung der Einträge der Aquakulturanlagen in Frankreich wurde durch eine damit beauftragte Arbeitsgruppe ebenfalls die Nutzung von Nährstoffemissionsbilanzen vorgeschlagen (PAPATRYPHON et al. 2005).

Die einsetzbaren Bilanzansätze wurden bereits in den einzelnen Kapiteln genutzt. Die Berechnung der Gesamtphosphor-Emission des Fischbestandes erfolgt nach Gleichung 14 - 16, die Berechnung der partikulären Phosphoremissionen des Fischbestandes nach Gleichung 17 und die des gelösten Phosphors nach Gleichung 18. Die Ermittlung der Gesamtstickstoff-Emission des Fischbestandes wird nach Gleichung 20, 14 und 16 und die Berechnung der gelösten Stickstoffemissionen des Fischbestandes nach Gleichung 19 vorgenommen.

Eine rechnerische Emissionsabschätzung für die CSB-Frachten ist auf der Basis des verabreichten Futters und der Futtermittelverwertung gegenwärtig nicht möglich. Die wenigen, unter bestimmten Versuchs- oder Praxisbedingungen für Forellen ermittelten spezifischen CSB-Frachten von 423 (FLADUNG 1993), 315 (RENNERT 1993), 191 - 321 (PLUTA 2002) und 225 g CSB/kg Futter (BARDÓCZ et al. 2009) liegen im Bereich bzw. unterhalb des CSB-Belastungshöchstwertes der "Hinweise" von 400 g CSB/kg Futter. Lediglich die Messungen von RÜMMLER (2010 u. 2011) ergaben einen sehr viel höheren Medianwert von 608 g CSB/kg Futter. Von SANDU et al. (2008) wurde für Tilapien ein Emissionswert von 190 g CSB/kg Futter ermittelt.

Mit Nährstoffemissionsbilanzen können zwar die stark streuenden täglichen Frachten nicht exakt vorausberechnet werden, aber sie sind jedoch gut geeignet, die mittleren Emissionen für einzelne Tage oder längere Zeiträume mit ausreichender Genauigkeit wiederzugeben. Neben den sehr viel geringeren Kosten und der erhöhten Genauigkeit gegenüber einzelnen oder einer begrenzten Anzahl von Messungen lassen sich derartige Berechnungen flexibel an andere Futterzusammensetzungen und auch veränderte Bedingungen wie z. B. Fischart und Futtermittelverwertung anpassen. Außerdem können Nährstoffemissionsbilanzen nach Vorgabe entsprechender Werte auch zur Vorausberechnung von Belastungen oder für Maßnahmen zu ihrer Verringerung genutzt werden, z. B. bei der Anlagenplanung und der Beantragung der wasserrechtlichen Erlaubnis.

Die Entfernung von Phosphor und Stickstoff, aber auch organischer Belastung und abfiltrierbarer Stoffe durch die Ablaufwasserreinigung kann bei den Emissionsberechnungen als prozentuale Entnahmerate, bezogen auf die Emissionen der Fische, berücksichtigt werden. Dazu sollten Ergebnisse entsprechender Messungen, die möglichst unter vergleichbaren oder ähnlichen Bedingungen durchgeführt wurden, genutzt werden.

Literaturangaben zu den Entnahmeraten von Siebtrommelfiltern weisen für die einzelnen gewässerbelastenden Parameter große Spannweiten auf. Die Maschenweite des Filters, seine hydraulische Belastung, die Größenverteilung der Partikel, die Art des Futters, die Konzentration der einzelnen Parameter u. a. m. beeinflussen die Entnahmeraten. Nach verschiedenen Untersuchungen (BERGHEIM et al. 1993, CRIPPS & BERGHEIM 2000, WEDEKIND & GÖTHLING 2000, TIMMONS et al. 2002, RÖSCH et al. 2003, BRINKER et al. 2006, SINDILARIU et al. 2009) dürften für eine Maschenweite von 60 - 80 µm Entnahmeraten von 35 % TP und 5 % TN in den meisten Fällen auf der wasserwirtschaftlich sicheren Seite liegen.

PAPATRYPHON et al. (2005) schlugen für die Nutzung von Nährstoffemissionsbilanzen zur Emissionsbewertung der Aquakulturanlagen in Frankreich Entnahmeraten der Siebtrommelfilter von 30 % und für Absetzbecken von 10 % aller Belastungsparameter vor.

8.5 Zusammengefasste Ergebnisse der Untersuchungen

8.5.1 Zusammengefasste Werte der Emissionen des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten

Die Werte der futterbezogenen Emissionen der Fische und der Anlage, d. h. nach Durchlaufen des Siebtrommelfilters, sowie die Entnahmeraten des Siebtrommelfilters sind in Tab. 37 - 39 zusammengefasst.

In Tab. 40 sind die Medianwerte der Messungen den mit Hilfe von Nährstoffemissionsbilanzen berechneten Werten für TP, N_{gel} bzw. N_{min} sowie TN gegenüber gestellt. Für die Anlage liegen alle Medianwerte der Messungen unterhalb der berechneten Werte. Die Berechnungen befinden sich also auf der wasserwirtschaftlich sicheren Seite.

Tabelle 37: Zusammenfassung der futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters 2008 - 2009

		TP	PO4-P	TN	Nmin	CSB	BSB5	TOC	AFS
Aufzuchtperiode 2008 - 2009									
spezifische Emission der Fische (g/kg Futter)	arithmetischer Mittelwert	9,44	-0,84	76,30	35,88	677,46	189,93	-18,4	1.051,0
	Median	6,45	-0,28	79,05	32,93	536,61	154,93	32,0	919,5
	Standardabweichung	10,55	8,09	31,72	21,22	623,55	184,28	173,0	1.489,2
	prozentuale Standardabweichung*	163,57	-2.865,95	40,12	64,44	116,20	118,95	539,9	162,0
	90-Perzentil	16,11	3,96	116,76	59,80	1.754,39	475,63	59,5	2.767,4
Entnahmerate des Siebtrommelfilters (%)	arithmetischer Mittelwert	40,18	4,84	17,18	11,99	29,01	39,38	5,8	17,5
	Median	38,78	7,69	17,33	7,94	29,41	45,07	4,2	17,7
	Standardabweichung	21,89	41,11	11,73	27,18	26,60	29,08	9,1	39,9
	prozentuale Standardabweichung*	56,45	534,46	67,71	342,31	90,43	64,53	218,4	225,5
	90-Perzentil	69,33	38,97	34,57	34,64	58,71	78,80	13,2	59,7
spezifische Emission der Anlage (g/kg Futter)	arithmetischer Mittelwert	1,81	-1,13	41,08	26,98	98,53	45,96	-40,6	545,7
	Median	2,14	0,22	40,50	26,58	146,98	45,14	4,2	380,9
	Standardabweichung	1,78	8,31	16,97	15,74	206,82	67,09	170,2	1.154,7
	prozentuale Standardabweichung*	83,26	3.719,48	41,90	59,22	140,71	148,64	4.036,6	303,2
	90-Perzentil	3,68	2,29	63,31	49,35	351,05	156,21	34,9	2.152,0

*bezogen auf den Medianwert

Tabelle 38: Zusammenfassung der futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters 2009 - 2010

		TP	PO4-P	TN	Nmin	CSB	BSB5	TOC	AFS
Aufzuchtperiode 2009 - 2010									
spezifische Emission der Fische (g/kg Futter)	arithmetischer Mittelwert	20,25	-0,25	65,29	31,99	667,00	178,63	33,4	1.027,6
	Median	9,39	-0,31	46,59	27,24	433,10	134,49	29,5	1.493,6
	Standardabweichung	65,02	1,19	58,58	22,98	904,40	177,44	43,2	4.114,7
	prozentuale Standardabweichung*	692,49	-386,44	125,74	84,35	208,82	131,93	146,2	275,5
	90-Perzentil	98,09	1,25	137,51	76,14	1.082,90	366,66	69,3	4.304,2
Entnahmerate des Siebtrommelfilters (%)	arithmetischer Mittelwert	36,85	8,34	18,97	0,71	20,12	42,25	5,9	13,0
	Median	49,28	9,31	18,14	1,79	26,65	39,20	0,6	12,5
	Standardabweichung	50,38	47,26	16,71	11,98	39,26	27,97	26,4	42,4
	prozentuale Standardabweichung*	102,22	507,76	92,09	670,10	147,33	71,34	4.334,1	339,3
	90-Perzentil	83,31	81,12	42,60	13,92	57,24	79,25	23,8	55,2
spezifische Emission der Anlage (g/kg Futter)	arithmetischer Mittelwert	5,58	0,11	34,73	30,15	271,04	50,10	16,1	-901,6
	Median	3,07	0,05	31,28	24,67	203,66	49,66	23,6	579,2
	Standardabweichung	37,5	0,64	28,65	20,05	458,73	69,73	42,4	4.869,9
	prozentuale Standardabweichung*	1.221,1	1.357,76	91,60	81,30	225,24	140,41	179,8	840,9
	90-Perzentil	6,14	0,70	75,00	68,38	465,91	141,74	58,2	2.101,9

*bezogen auf den Medianwert

Tabelle 39: Zusammenfassung der futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage sowie der Entnahmeraten des Siebtrommelfilters ab 01.01.2010

		TP	PO4-P	TN	Nmin	CSB	BSB5	TOC	AFS
Aufzuchtperiode ab 2010									
spezifische Emission der Fische (g/kg Futter)	arithmetischer Mittelwert	10,00	-0,18	71,90	37,88	735,37	180,83	42,4	799,4
	Median	7,87	-0,31	52,53	31,27	433,10	131,98	31,0	1.783,2
	Standardabweichung	8,17	0,96	56,88	23,44	902,31	166,07	41,4	4.157,5
	prozentuale Standardabweichung*	103,90	-311,87	108,29	74,96	208,34	125,84	133,3	233,2
	90-Perzentil	48,60	1,25	151,67	76,81	1.441,86	293,64	74,2	3.306,0
Entnahmerate Siebtrommelfilter (%)	arithmetischer Mittelwert	40,99	15,31	21,71	4,49	26,22	39,60	127,5	7,7
	Median	49,25	14,29	20,35	5,46	28,10	35,58	2,9	6,9
	Standardabweichung	25,95	51,59	19,22	114,97	44,65	27,49	721,6	69,6
	prozentuale Standardabweichung*	52,68	361,12	94,46	2.104,25	158,87	77,26	25.163,0	1.003,3
	90-Perzentil	80,55	96,77	44,33	14,43	57,52	84,40	50,0	28,1
spezifische Emission der Anlage (g/kg Futter)	arithmetischer Mittelwert	3,37	0,12	37,88	31,90	236,80	66,18	26,5	66,3
	Median	3,70	0,04	35,11	27,04	220,63	70,92	27,7	802,9
	Standardabweichung	2,36	0,49	29,03	22,12	440,14	64,85	48,6	4.382,3
	prozentuale Standardabweichung*	63,67	1.285,39	82,66	81,82	199,49	91,45	175,6	545,8
	90-Perzentil	6,14	0,60	80,59	72,63	352,37	156,40	63,3	2.778,1

*bezogen auf Medianwert

Tabelle 40: Gegenüberstellung der Mediane der gemessenen und der berechneten futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der Anlage

	Aufzuchtperiode	gemessen		berechnet	Differenz
		Median	Standardabweichung	Median	Mediane (%)
spezifische Emission der Fische (g/kg Futter)					
TP	2008 - 2009	6,5	10,6	6,5	-0,8
	2009 - 2010	9,4 (7,9)	65,0 (8,2)	8,3	13,4
Nmin	2008 - 2009	32,9	21,2	45,8	-33,6
	2009 - 2010	27,2	23,0	39,1	-30,3
TN	2008 - 2009	79,1	31,7	49,6	58,0
	2009 - 2010	46,6	58,6	43,7	6,6
spezifische Emission der Anlage (g/kg Futter)					
TP	2008 - 2009	2,1	1,8	3,9*	-45,2
	2009 - 2010	3,1 (3,7)	37,5 (2,4)	5,0*	-56,2
Nmin	2008 - 2009	26,6	15,7	45,8**	-46,4
	2009 - 2010	24,7	20,1	39,1**	-36,9
TN	2008 - 2009	40,5	17,0	44,6***	-10,1
	2009 - 2010	31,3	28,7	39,3***	-20,5

* Entnahmerate Siebtrommelfilter 40%

** Entnahmerate Siebtrommelfilter 0%

*** Entnahmerate Siebtrommelfilter 10%

8.5.2 Das Problem der Streuungen der Konzentrationsmesswerte der bestimmten Frachten mit daraus abgeleiteten Konsequenzen

Anhand der Konzentrationswerte am Becken- und Anlagenauslauf, der absoluten Frachten sowie der Werte der prozentualen Standardabweichungen und der 90-Perzentile der spezifischen Frachten ist erkennbar, dass bei den messtechnischen Konzentrations- und Frachtbestimmungen auch auf der Basis von 24 h-Mischproben sehr große Streuungen auftreten. Das gilt für die Emissionen der Fische, die Entnahme durch den Siebtrommelfilter und die Anlage insgesamt (s. 8.5.1).

Trotz einer im Durchschnitt wöchentlich entnommenen 24 h-Mischprobe (zwei Proben alle 14 Tage) wiesen die futterbezogenen Emissionen für die Parameter, die in hohem Maße an partikuläre Substanz gebunden sind, AFS, CSB, BSB₅ und TP, immer noch extreme prozentuale Standardabweichungen von meist über 150 % und einem Mittel von ca. 250 % auf. Gegenüber diesen Streuungen der Emissionswerte der Fische waren die Streuungen für die Anlage noch um das Zwei- bis Dreifache höher. Sichtbar wird das auch anhand der z. B. beim Phosphor 2008 - 2009 an vier und 2009 - 2010 an fünf Messtagen festgestellten Konzentrationsdifferenzen und damit auch Frachten, die bei Null lagen oder negative Werte annahmen. Die Anlage kann also kurzzeitig auch zum Phosphorspeicher werden.

Für die überwiegend gelöst im Wasser vorliegenden Stickstoffparameter TN und Nmin ergaben sich geringere prozentuale Standardabweichungen um 70 - 80 %.

Weiterhin wurde anhand der futterbezogenen Emissionen des Fischbestandes und der Anlage für den einzigen abwasserabgabepflichtigen Parameter TP festgestellt, dass sich das Niveau der prozentualen Standardabweichung und des 90-Perzentils durch 48 h-Mischproben nicht grundsätzlich verringern lässt. Auch eine Sieben-Tage-Mischprobe ergab größere Abweichungen der Mittelwerte gegenüber den Mittelwerten der gesamten Produktionsperiode. Die mit den Streuungen der Konzentrations- und Frachtwerte verbundenen Probleme bei der Veranlagung zur Abwasserabgabe und der wasserrechtlichen Überwachung lassen sich anscheinend nicht durch eine ökonomisch und technisch noch vertretbare Steigerung des Probenahmeumfangs lösen.

Der messtechnische Nachweis der Einhaltung der wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Überwachungswerte und der in den „Hinweisen“ angegebenen Frachthöchstwerte ist daher durch wenige stichprobenartige 24 h-Mischproben in der Praxis nicht möglich. Dasselbe gilt für die Ermittlung der tatsächlichen Schadstofffrachten als Grundlage für die Berechnung und Planung der Abwasserabgabe sowie gegebenenfalls von Maßnahmen zu ihrer Verringerung. Auch diese Werte lassen sich nicht mit der erforderlichen Genauigkeit durch eine begrenzte Anzahl messtechnisch ermittelter 24 h-Frachten erfassen und widerspiegeln.

Gleichzeitig haben die vorliegenden Messungen beider Aufzuchtperioden gezeigt, dass erst nach einer sehr großen Anzahl von Einzelmessungen eine langsame Annäherung der Mittelwerte der gemessenen spezifischen Emissionswerte an die als genauer einzuschätzenden berechneten Werte erfolgt. Zum einen ist eine derartige Anzahl von Messungen für die wasserrechtliche Überwachung und die Eigenkontrolle des Einleiters kostenmäßig nicht mehr realisierbar und zum anderen hat ein aus einer Vielzahl von Messungen gewonnener Mittelwert für die wasserrechtliche und abgabenrechtliche Überwachung keine Bedeutung. Aufgrund der nicht beeinflussbaren Streuungen der gemessenen Werte ist trotz niedriger Mittelwerte eine Überschreitung der festgelegten Überwachungswerte zu jedem Zeitpunkt möglich. Die überwachungsrechtlichen Probleme durch einzelne extrem hohe Werte können durch eine Mittelwertbildung einer größeren Anzahl von Messungen nicht gelöst werden.

Die Möglichkeit der Wasserbehörde, eine Erhöhung der Überwachungswerte vorzunehmen, hätte eine ungerechtfertigte finanzielle Belastung des Einleiters zur Folge und würde die realen Schadstofffrachten nicht mehr widerspiegeln. Die "4 aus 5 Regelung" der Abwasserverordnung AbwV würde für den abwasserabgabepflichtigen Parameter Phosphor während der Aufzuchtperiode 2009 - 2010 ebenfalls zu keiner ständigen Einhaltung der Überwachungswerte führen, da im November 2009 drei extreme Ausreißer mit einer Überschreitung des Überwachungswertes von mehr als 100 % gemessen wurden. Während dieser Aufzuchtperiode wurden aber gleichzeitig an fünf Tagen negative Frachten, d. h. eine Phosphorrückhaltung in der Anlage, ermittelt. Diese Ergebnisse zeigen, dass die wasserrechtliche Überwachung und die Veranlagung zur Abwasserabgabe nach den Maßgaben der im Abwasserabgabengesetz angegebenen Vorgehensweise für Fischzuchtanlagen nicht realisierbar ist.

Aus dem unter 8.3 dargestellten Ursachenkomplex wird weiterhin erkennbar, dass eine oder wenige dominierende und gleichzeitig beeinflussbare Ursachen für die großen Streuungen der gemessenen Konzentrationswerte nicht existieren. Der Betreiber einer Anlage hat dadurch keine ökonomisch vertretbaren Möglichkeiten, eventuellen kurzzeitigen Überschreitungen der Belastungshöchstwerte, die messtechnisch nachgewiesen wurden, entgegenzuwirken.

Geeigneter für die Veranlagung zur Abwasserabgabe ist daher gegenüber den Messungen eine rechnerische Bilanzierung der Schadstofffrachten (s. 8.4). Anhand der vorliegenden sowie weiteren umfangreichen Messungen in Forellenanlagen konnte die bessere Eignung von Nährstoffemissionsbilanzen zur Ermittlung der Nährstoffeinträge durch Fischzuchtanlagen bestätigt werden (s. 8.4). Dieser Vorgehensweise kommt auch entgegen, dass im vorliegenden Fall und wahrscheinlich auch für andere Anlagen dieses Typs lediglich Phosphor den festgelegten Schwellenwert des AbwAG überschreitet und damit abwasserabgabepflichtig wird. Die Berechnungsweise der Nährstoffemissionsbilanz für Phosphor ist eindeutig, allgemein akzeptiert und gibt den betrachteten Parameter direkt als Ergebnis an. Die TP-Entnahmeraten der Ablaufwasserreinigung werden auf der Basis messtechnisch ermittelter Werte festgelegt.

Auf die behördliche Überwachung festgelegter maximaler Konzentrationswerte sollte bei der Nutzung von Nährstoffemissionsbilanzen zur Berechnung der Schadstofffrachten verzichtet werden und nur eine Eigenkontrolle bei der höchsten Futtermenge vorgenommen werden. Stattdessen sollte der Einsatz des wesentlichsten gewässerbelastenden Stoffes bei der Fischzucht, des Futters, erfasst und überwacht werden. Das betrifft die Futtermenge und -zusammensetzung sowie die Futtermittelverwertung durch die Fische. Unter 9. ist die dementsprechende Vorgehensweise dargestellt.

Durch die eingesetzten phosphorarmen Hochenergiefuttermittel und den installierten Siebtrommelfilter kann der Stand der Technik als eingehalten gelten und eine Halbierung der Schadeinheiten bei der Veranlagung zur Abwasserabgabe vorgenommen werden. Eine Abhängigkeit der Frachten von den produktionsbiologischen Kennwerten war nicht oder nur in grober Tendenz erkennbar. Das betrifft die Futtermenge und die Futtermittelverwertung. Die Ursachen liegen in den großen Streuungen der gemessenen Frachtwerte und wahrscheinlich auch in den schwankenden Bewirtschaftungsbedingungen, insbesondere der zeitweisen Beeinflussung der verabreichten Futtermenge durch die reduzierten Wasserdurchflüsse. Generell konnten aber in beiden Aufzuchtperioden überwiegend gute bis ausreichende Werte der wasserchemischen Parameter als wichtige Haltungsbedingungen des Fischbestandes gewährleistet werden. Diese dürften die Frachtwerte nur in geringem Umfang beeinflusst haben.

8.5.3 Phosphor

Für Phosphor stellen die mit Hilfe der Nährstoffemissionsbilanzen berechneten Werte die wirklichen Emissionen des Fischbestandes dar, die sich unter weitgehend konstanten Bewirtschaftungsbedingungen bei einer ausreichend großen Anzahl von Messungen eigentlich ergeben müssten. Die Medianwerte der gemessenen futterbezogenen TP-Emissionen des Fischbestandes lagen 2008 - 2009 mit 6,5 g TP/kg Futter und 2009 - 2010 mit 9,4 g bzw. 7,9 g TP/kg Futter nach der Eliminierung der Ausreißer im Bereich der berechneten Werte von 6,5 g TP/kg Futter bzw. 8,3 g TP/kg Futter. Allerdings war die prozentuale Stan-

Abweichung der gemessenen futterbezogenen Frachtwerte mit 430 % bzw. 130 % nach Eliminierung der Ausreißer 2009 - 2010 trotz einer im Durchschnitt wöchentlich entnommenen 24 h-Mischprobe immer noch sehr hoch. Es ist daher naheliegend, dass die Anzahl der Messungen immer noch nicht ausreichend war. Bei den berechneten Werten ergaben sich keine größeren Schwankungen der einzelnen futterbezogenen P-Frachtwerte. Insgesamt wird deutlich, dass sich bei einer sehr großen Anzahl von Messungen das Mittel der gemessenen Emissionen den berechneten Emissionen gut annähert.

Die Mittelwerte der gemessenen futterbezogenen Frachten des Fischbestandes und der berechneten Werte lagen 2009 - 2010 über dem Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 7 g TP/kg Futter. Auf die kontinuierliche Reinigung des Ablaufwassers aus den Becken mit dem Siebtrommelfilter kann daher zur Einhaltung des Standes der Technik entsprechend der "Hinweise" nicht verzichtet werden.

Für den Siebtrommelfilter ergab sich eine mittlere TP-Entnahmerate von 39 bzw. 49 % (Medianwerte). Auch hier traten relativ große Streuungen der Werte auf. Als Mittelwert für die rechnerische Bilanzierung der TP-Schadstofffrachten der Anlage Schwarze Pumpe wird eine TP-Entnahmerate von 45 % festgelegt.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters mit steigender TP-Zulaufkonzentration bzw. TP-Zulaufkonzentration zunächst ansteigt, dann aber bei einem maximalen Wert von 70 - 80 % weitgehend konstant bleibt. Dieser Verlauf dürfte darauf zurückzuführen sein, dass der Anstieg der TP-Zulaufkonzentration mit einer erhöhten Konzentration partikulärer Stoffe verbunden ist, die in den Maschen des Siebtrommelfilters in zunehmendem Umfang zurückgehalten werden. Bei weiterer Steigerung der absoluten Frachten könnte die nahezu gleichbleibende bzw. nur noch unwesentlich ansteigende TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters mit einem steigenden Anteil feindisperser Substanzen, z. B. durch den erhöhten Fischbestand und die häufigere Kreislaufführung erklärt werden.

Diese Abhängigkeit der TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters hat für die Einhaltung der Überwachungswerte und der Emissionshöchstwerte der "Hinweise" eine wichtige Bedeutung. Die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt steigende Futtermenge führt im Verlauf der Aufzuchtperiode zumindest in der Tendenz zu einer zunehmenden TP-Fracht mit erhöhten Konzentrationswerten am Auslauf der Fischhaltungsbecken. Die dazu parallel ansteigende TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters hat einen kompensatorischen Effekt und begrenzt die TP-Frachten und TP-Auslaufkonzentrationen der Anlage. Insbesondere traten im letzten Drittel der Aufzuchtphase ab Anfang März verstärkt TP-Entnahmeraten über 50 % auf. Die Berechnungen der TP-Frachten anhand des Modellfischbestandes (RÜMMLER & SCHIEWE 2006a) ergaben, dass die Schadstofffrachten ab März einen Anteil von über 60 % der Gesamtschadstofffrachten einer Aufzuchtperiode haben. Der Median der Entnahmerate des Siebtrommelfilters lag ab dieser Zeit mit 60 % ebenfalls über dem Gesamtmittelwert. Dadurch dürfte die absolute Reduzierung der TP-Frachten des Fischbestandes durch den Siebtrommelfilter 2009 - 2010 insgesamt über dem Mittelwert von 45 % gelegen haben.

Der Vergleich der berechneten partikulär gebundenen TP-Frachten mit den gemessenen TP-Entnahmefrachten des Siebtrommelfilters ergab 2008 - 2009 an einigen Messtagen eine relativ gute Annäherung beider Ergebnisse; 2009 - 2010 war die Anzahl dieser Annäherungen geringer. Die Medianwerte des Anteils der berechneten partikulären Substanz an den berechneten P-Emissionen der Fische von 68,8 % und 71,3 % überstiegen die gemessenen TP-Entnahmeraten. Messwerte der Entnahmeraten in dieser Größenordnung kommen aber bei hohen TP-Zulaufkonzentrationen vor.

Die futterbezogenen TP-Frachten der Anlage, d. h. unter Einschluss der Reinigung durch den Siebtrommelfilter, lagen mit Medianwerten von 2,1 bzw. 3,1 g TP/kg Futter deutlich unter dem Emissionshöchstwert der „Hinweise“ von 7 g/kg Futter. Das gilt für die Aufzuchtperiode 2008 - 2009 auch für alle einzelnen Werte. Zumindest unter Bezugnahme auf die Medianwerte kann damit die Einhaltung des Standes der Technik bei dem üblichen Frischwasser- und Futtermiteinsatz für den Parameter TP als nachgewiesen gelten.

Die für die Anlage festgelegten Überwachungswerte der TP-Konzentration wurden aufgrund der aufgetretenen Streuungen 2008 - 2009 einmal geringfügig und 2009 - 2010 ab Januar 2010 dreimal geringfügig überschritten. Letztere Überschreitungen dürften ihre Ursache in der ab Januar 2010 zum Teil deutlich höheren Fischbestandsmasse gegenüber dem Modellbestand sowie dem höheren Phosphorgehalt des Futters und den größeren Streuungen der Messwerte gegenüber dem vergangenen Jahr gehabt haben. Im November 2009 traten extrem große Streuungen und drei hohe Überschreitungen der Überwachungswerte dieses Parameters auf, deren Ursache ungeklärt ist.

Dagegen lagen die Medianwerte der TP-Konzentrationsaufstockung durch die Anlage mit 0,088 bzw. 0,17 mg/l unterhalb des für den Modellfischbestand auf der Grundlage der Phosphorbilanz berechneten Mittelwertes von 0,2 mg/l (s. 3.3). Dabei wurde

eine TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters von 40 % zugrunde gelegt. Während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009 unterschritt der Medianwert auch den Schwellenwert nach dem AbwAG von 0,1 mg/l.

Die Mittelwerte der spezifischen PO₄-P-Emissionen der Fische und der Anlage ergaben, wahrscheinlich durch die vorhandenen Streuungen, leicht negative Werte. Dieses Ergebnis unterstreicht ebenfalls die Bedeutung, die der Siebtrommelfilter für die Entnahme der überwiegend partikulär gebundenen Phosphoremissionen der Fische hat. Bei der Berechnung betrug der Anteil des gelösten Phosphors an der Gesamt-Phosphoremission der Anlage 29 - 31 %. Die Medianwerte der PO₄-P-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters lagen bei 7,7 bzw. 9,3 %.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass mit Hilfe des Siebtrommelfilters der Emissionsgrenzwert der "Hinweise" von 7 g TP/kg Futter im Mittel eingehalten wurde. Die Medianwerte der gemessenen Konzentrationsaufstockung lagen für beide Aufzuchtperioden unterhalb des berechneten Mittelwertes der TP-Konzentrationsaufstockung. Diese Berechnungen waren die Grundlage für die vorläufige Festsetzung der Überwachungswerte. Bei einer Endbestandsmasse der Fische unterhalb des geplanten Wertes und bei Einsatz von Futter mit 0,9 % Phosphor ist als Median auch eine Unterschreitung des TP-Schwellenwertes nach dem AbwAG möglich. Aufgrund der nicht beeinflussbaren, z. T. großen Streuungen der TP-Messwerte ist aber eine Überschreitung der festgelegten Überwachungswerte zu jedem Zeitpunkt möglich. Aus diesem Grund sollten zur Bestimmung der Schadstofffrachten des einzigen abwasserabgabepflichtigen Parameters Phosphor Nährstoffemissionsbilanzen mit messtechnisch ermittelten TP-Entnahmeraten der Ablaufwasserreinigung zur Anwendung kommen.

8.5.4 Stickstoff

Die Gesamtstickstoff-Emissionen des Fischbestandes wurden im Rahmen der Erarbeitung der Konzeption für die Anlage mit Hilfe des Nährstoffbilanzmodells berechnet (RÜMLER & SCHIEWE 2006a). Es ergaben sich für den Modellfischbestand TN-Konzentrationsaufstockungen unter 5 mg/l (s. 3.3). Eine abwasserabgaberechtliche Veranlagung für den dazu im Vergleich immer niedrigeren mineralischen Stickstoffs N_{min} wurde daher nicht vorgenommen.

Für den mineralischen Stickstoff stellt der mit Hilfe der Proteinverdaulichkeit ermittelte gelöste Stickstoff ebenfalls eine relativ genaue Berechnungsmöglichkeit dar. Die bereits in den Fischhaltungsbecken beginnende Stickstoffumsetzung führt dazu, dass die gemessenen N_{min}-Frachten in der Regel geringer sind als die berechneten Werte, d. h. auf der sicheren Seite liegen. Bei den durchgeführten Untersuchungen konnte das bestätigt werden.

Die gemessenen N_{min}-Konzentrationsaufstockungen durch die Anlage lagen immer unter 5 mg/l und die festgelegten Überwachungswerte der N_{min}-Konzentration wurden immer unterschritten. Der Verzicht auf die Veranlagung zur Abwasserabgabe für den Parameter mineralischer Stickstoff N_{min} konnte dadurch auch messtechnisch während des Betriebs der Anlage bestätigt werden.

Die Medianwerte der gemessenen futterbezogenen N_{min}-Frachten des Fischbestandes von 32,9 und 27,2 g N_{min}/kg Futter sind geringer als die Mittelwerte der berechneten Frachten an gelöstem Stickstoff von 45,8 und 39,1 g N_{gel}/kg Futter. Alle Mittelwerte liegen aber deutlich unter dem Emissionshöchstwert der „Hinweise“ von 60 g N_{min}/kg Futter. Die Einzelwerte der gemessenen futterbezogenen N_{min}-Frachten überschritten den Belastungshöchstwert 2008 - 2009 nur an einem und 2009 - 2010 an vier Messtagen. Das Auftreten einzelner „Ausreißer“ mit einer Überschreitung der abwasserabgaberechtlichen Überwachungswerte oder des Emissionsgrenzwertes wird anscheinend auch für den Parameter N_{min} infolge zufälliger Einflussfaktoren nicht völlig auszuschließen sein. Die N_{min}-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter müsste theoretisch Null sein. Es ergaben sich Medianwerte der Messungen von 8 % und 2 %.

Gesamtstickstoff (TN) ist kein Parameter, für den eine Veranlagung zur Abwasserabgabe vorgeschrieben ist und für den Emissionshöchstwerte vorliegen. Trotzdem ist TN neben Gesamtphosphor der wichtigste gewässerökologische Parameter. Die Gesamtstickstoff-Emissionen der Fische setzen sich aus dem gelösten Stickstoff (NH₄ und Harnstoff) und aus einem geringen partikulären Anteil zusammen, der im Kot gebunden ist. Dieser kann mit der Ablaufwasserreinigung entnommen werden.

Die Berechnung der Gesamtstickstoff-Emissionen des Fischbestandes dürfte ebenfalls eine den realen Verhältnissen weitgehend angenäherte Bilanzierung darstellen. Allerdings muss hier die bereits in den Fischhaltungsbecken beginnende Stickstoffumsetzung berücksichtigt werden. Entgegen den Erwartungen war der Medianwert der gemessenen spezifischen futterbezogenen TN-Fracht 2008 - 2009 mit 79,1 g TN/kg Futter deutlich höher als der Median der berechneten Werte von 49,6 g TN/kg Futter. Bei der erhöhten Anzahl von Messungen 2009 - 2010 ergab sich aber nur noch eine geringe Differenz zwischen dem Medi-

anwert der Messungen und dem der Berechnungen von 46,6 gegenüber 43,7 g TN/kg Futter. Für die TN-Entnahme durch den Siebtrommelfilter wurden Medianwerte von 17,0 % 2008 - 2009 und 18,0 % 2009 - 2010 ermittelt.

8.5.5 Organische Belastung

Parameter der organischen Belastung sind der biochemische Sauerstoffbedarf innerhalb von fünf Tagen (BSB_5), der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) und der gesamte organische Kohlenstoff (TOC). CSB ist der Parameter der organischen Belastung, der für die Veranlagung zur Abwasserabgabe nach dem AbwAG und daher auch für die Emissionsanforderungen der „Hinweise“ genutzt wird. Besser geeignet zur Charakterisierung der leicht abbaubaren organischen Stoffe des Ablaufwassers aus Fischproduktionsanlagen wäre der BSB_5 . Um die Vergleichbarkeit mit älteren BSB_5 -Angaben und neueren TOC-Messungen zu gewährleisten, wurden alle drei Parameter bestimmt.

Die Medianwerte der futterbezogenen CSB-Frachten des Fischbestandes lagen mit 537 bzw. 433 g CSB/kg Futter über den bereits aufgeführten Werten verschiedener Untersuchungen mit Forellen (s. 8.4) und über dem Emissionshöchstwert der "Hinweise" von 400 g CSB/kg Futter. Auf die kontinuierliche Reinigung des Ablaufwassers aus den Becken mit dem Siebtrommelfilter kann daher zur Einhaltung des Standes der Technik nicht verzichtet werden. Die Medianwerte der CSB-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters lagen bei 29,4 % bzw. 26,6 %.

Für die spezifischen futterbezogenen CSB-Frachten der Anlage ergaben sich nach Durchlaufen des Siebtrommelfilters Medianwerte von 147 und 204 g CSB/kg Futter, d. h. der Emissionshöchstwert der "Hinweise" von 400 g CSB/kg Futter wird als Mittelwert nicht überschritten. An den einzelnen Messtagen erfolgten 2008 - 2009 nur eine und 2009 - 2010 nur drei Überschreitungen des Emissionshöchstwertes. Die Mediane der CSB-Konzentrationsaufstockung der Anlage lagen mit 5,0 mg/l und 11,5 mg/l deutlich unterhalb des CSB-Schwellenwertes nach dem AbwAG von 20 mg/l.

Die Überwachungswerte der CSB-Konzentration wurden während der beiden Aufzuchtperioden an mehreren Messtagen überschritten. Wird von einer maximalen Konzentrationsaufstockung von 20 mg/l während der gesamten Aufzuchtperiode ausgegangen, so würde der Überwachungswert 2008 - 2009 an keinem und 2009 - 2010 an fünf Messtagen von 34 überschritten. Der größte Teil der Überschreitungen dürfte auch wieder zufälligen Charakter gehabt haben und lässt sich nicht auf ein konkretes Ereignis zurückführen. Einen völligen Ausschluss von einzelnen „Ausreißern“ mit einer Überschreitung der festgelegten Überwachungswerte oder der Emissionsgrenzwerte wird es durch den Einfluss zufälliger Faktoren, die anscheinend beim CSB ähnlich hoch sind wie beim TP, nicht geben. Eine Erklärung bzw. Veranlagung zur Abwasserabgabe für den Parameter CSB ist daher nicht notwendig. Im vorliegenden Fall würde mit der "4 aus 5 Regelung" der AbwV keine abgabenrechtlich wirksame Überschreitung des Schwellenwertes mehr vorhanden sein.

Für den Parameter BSB_5 lagen die Medianwerte der spezifischen Frachten der Fische bei 154,9 g BSB_5 /kg Futter bzw. 2,07 g BSB_5 /kg Fischbestand * d sowie 134,5 g BSB_5 /kg Futter bzw. 2,23 g BSB_5 /kg Fischbestand * d. Die mittlere BSB_5 -Entnahmerate des Siebtrommelfilters betrug als Medianwerte 45,1 % bzw. 39,2 %. Diese Werte liegen im Bereich neuerer Angaben, vorwiegend aus Forellenanlagen, von 1,1 - 34,6 g BSB_5 /kg Fischbestand * d (HENNESSY et al. 1996), 0,0 - 36,0 g BSB_5 /kg Fischbestand * d (KELLY et al. 1996), 1,17 - 4,9 g BSB_5 /kg Fischbestand * d (EICHHOLZ 1997), 1,92 g BSB_5 /kg Fischbestand * d (AXLER et al. 1997) und 0,47 g BSB_5 /kg Fischbestand * d bzw. 52 g BSB_5 /kg Futter (RÜMMLER 2010 u. 2011). Aus Versuchen mit Forellen mit Stückmassen von 110 - 370 g gab PLUTA (2002) Werte von 89 - 270 g BSB_5 /kg Futter an.

Für den Parameter TOC betrug das Mittel der Mediane der spezifischen Frachten der Fische (Gleichung 5) 32,0 g TOC/kg Futter bzw. 0,33 g TOC/kg Fischbestand * d sowie 29,5 g TOC/kg Futter bzw. 0,39 g TOC/kg Fischbestand * d. Diese Werte liegen im unteren Bereich der wenigen vorhandenen Angaben: 1,08 g TOC/kg Fischbestand * d (AXLER et al. 1997), 0,14 - 2,2 und 0,33 - 0,79 g TOC/kg Fischbestand * d (BERGHEIM & ASGARD 1996), 45 - 75 g TOC/kg Futter (PLUTA 2002) und 173 g TOC/kg Futter bzw. 1,27 g TOC/kg Fischbestand * d (RÜMMLER 2010 u. 2011). Die mittleren TOC-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters betragen 4,2 % bzw. 0,6 %.

Auch diese Daten sind im Vergleich zu den anderen Parametern der organischen Belastung schwer zu interpretieren. Die Verhältnisse der drei Parameter der organischen Belastung zueinander aus verschiedenen Untersuchungen sind in Tab. 41 zusammengefasst. Auch hier ergibt sich wieder ein sehr uneinheitliches Bild, das auf die großen Streuungen bei den Messungen der einzelnen Werte zurückzuführen sein dürfte. Die Nutzung von Verhältniswerten zur gegenseitigen Umrechnung einzelner Parameter der organischen Belastung erscheint daher zumindest gegenwärtig nicht möglich.

Tabelle 41: Verhältnisse der einzelnen Parameter der organischen Belastung zueinander

Autoren, Anlagen	CSB : BSB ₅	CSB : TOC	BSB ₅ : TOC
Pluta (2002)	1,94	4,09	2,4
Rümmler (2010, 2011)	45,1	7,2	0,16
Schwarze Pumpe	3,34	15,7	4,69

8.5.6 Abfiltrierbare Stoffe

Die Feststoffe im Ablaufwasser der Fischproduktion haben in der Mehrzahl eine Größe von 0,005 bis 2 mm. Sie sind instabil und können durch Strömungsturbulenzen leicht zerfallen und damit kleiner werden. Durch Flockungserscheinungen können sich aber kleinere Partikel wieder zu größeren aneinanderlagern (BRINKER et al. 2006). Bei der Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe AFS werden alle Feststoffe zurückgehalten, die einen Filter mit 0,45 µm nicht passieren können.

Das hohe Konzentrationsniveau der gemessenen AFS und die Medianwerte der futterbezogenen AFS-Frachten der Fische von über 90 % bzw. 150 % der aufgenommenen Futtermenge erscheinen unreal. Nach den Bilanzrechnungen, die für die ausgeschiedenen Feststoffe möglich sind (BUREAU et al. 2003, PAPATRYPHON et al. 2005, BRINKER et al. 2006) müssten sich Werte um ca. unterhalb 10 % der aufgenommenen Futtermenge ergeben. Die Feststoffentnahme des Siebtrommelfilters beträgt lediglich 18 % bzw. 13 %. Hier liegen anscheinend grundsätzliche messtechnische oder methodische Probleme vor, die noch nicht gelöst werden konnten.

8.5.7 Reinigungswasseraufbereitung

Das Reinigungswasser des Siebtrommelfilters wird einem Absetzbecken zugeführt. Insgesamt besitzt das Absetzbecken ein Volumen von 73,5 m³ und setzt sich aus drei Abteilen zusammen. Das Überlaufwasser läuft zurück in die zentrale Ablaufrinne der vier 175 m³-Fischbecken. Die mittleren Wasseraufenthaltszeiten des Reinigungswassers im Absetzbecken lagen bei ca. 16 bzw. 19,3 h.

Die Rückhaltungs- und Umsetzungsraten, die auf der Basis der Konzentrationsveränderung beim Durchlaufen des Absetzbeckens ermittelt wurden, zeigten, dass die organische Belastung als BSB₅ und CSB in hohem Maße im abgesetzten Schlamm festgelegt oder im Becken umgesetzt wird. Dasselbe gilt für Gesamtstickstoff TN und die abfiltrierbaren Stoffe AFS. Der Abbau von mineralischem Stickstoff N_{min} dürfte von den speziellen Nitrifikations- und Denitrifikationsbedingungen abhängig sein.

Die Phosphorrückhaltung war in beiden Jahren unterschiedlich. 2008 - 2009 wurde ein relativ geringer Wert von ca. 13 % TP ermittelt. Dafür stieg der Anteil an gelöstem Phosphor PO₄-P bedeutend an. Die Ursache dürfte in entsprechenden Rücklösungserscheinungen, insbesondere unter anaeroben Bedingungen liegen. 2009 - 2010 war die TP-Retention im Absetzbecken mit 73 % bedeutend höher und der Anstieg an gelöstem Phosphor PO₄-P geringer.

Die Ursachen für diese Erscheinungen lassen sich auf der Grundlage der wenigen Messungen noch nicht angeben. Neben den Streuungen der Messungen und den wechselnden Bedingungen in den einzelnen Abteilen des Absetzbeckens, z. B. durch die Schlammmentnahme, könnte auch der Wechsel der Futtersorte eine Rolle gespielt haben. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, da die möglichen Instabilitäten der Rückhaltung bzw. Ausleitung in erster Linie den einzigen abwasserabgabepflichtigen Parameter Phosphor betreffen. In diesem Zusammenhang sollten auch der Umfang des Schlammaufkommens, seine Zusammensetzung und die Verwertungsmöglichkeiten weiter betrachtet werden.

2008 - 2009 wurden 141 m³ Schlamm und 2010 ca. 116 m³ entweder in ein Klärwerk oder in Karpfenteiche verbracht. Insbesondere die letztere wirkliche Verwertung des Schlammes erscheint angesichts der stetig zurückgehenden Teichfruchtbarkeit durch geringe Bewirtschaftungsintensität und mangelnde Düngung eine sehr sinnvolle Wertstoffnutzung zu sein. Es ergab sich ein Schlammaufkommen von 2,15 bzw. 1,15 m³/t Zuwachs bzw. 1,32 und 0,89 m³/t Futter. Weiterhin wurden orientierende Schlammanalysen vorgenommen.

9 Vorschlag für die abwasserabgabenrechtliche Verfahrensweise bei der Veranlagung und Überwachung von Warmwasseranlagen am Beispiel Schwarze Pumpe

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Probleme bei der Veranlagung von Warmwasser-Durchflussanlagen der Fischproduktion zur Abwasserabgabe sowie bei deren wasserrechtlicher und abgabenrechtlicher Überwachung auf der Basis der vom AbwAG vorgesehenen Konzentrations- und Durchflussmessungen dargestellt.

Der einzige gangbare Ausweg besteht in der Nutzung von Nährstoffemissionsbilanzen, d. h. einer rechnerischen Bilanzierung der abwasserabgabepflichtigen Phosphorfrachten. Die Aufstockungen von mineralischem Stickstoff N_{min} und CSB liegen im Regelfall unterhalb der Schwellenwerte des AbwAG und werden daher nicht weiter betrachtet. Weiterhin muss die Einhaltung der Festlegungen der "Hinweise" gewährleistet werden, zum einen als Emissionsanforderungen und zum anderen zur Sicherung des Standes der Technik als Voraussetzung zur Halbierung der Schadstofffrachten bei der Veranlagung zur Abwasserabgabe.

Daraus ergibt sich folgende Vorgehensweise, die für die Anlage Schwarze Pumpe, aber auch für andere K_1 - K_2 -Warmwasser-durchflussanlagen, gegebenenfalls nach entsprechenden Anpassungen an die speziellen örtlichen Bedingungen, genutzt werden sollte:

■ Inhalt der Überwachung ist zum einen die Einhaltung der für diesen Anlagentyp zutreffenden Festlegungen der „Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung“ (LAWA 2003). Danach sind folgende Anforderungen einzuhalten:

■ Futtermittel:

In der Aufzuchtphase bis 100 g Stückmasse der Fische sind Futtermittel mit einem Bruttoenergiegehalt von mindestens 18 MJ/kg oder einem Bruttoenergie/Proteinverhältnis von mindestens 0,35 sowie einem Gesamtphosphorgehalt von höchstens 1,4 % anzuwenden.

Bei der weiteren Aufzucht bis zum Satzkarpfen von ca. 300 - 600 g sind Futtermittel mit einem Bruttoenergiegehalt von mindestens 20 MJ/kg oder einem Bruttoenergie/Proteinverhältnis von mindestens 0,45 sowie einem Gesamtphosphorgehalt von höchstens 1,2 % anzuwenden.

■ Ablaufwasserreinigung:

Die Ablaufwasserreinigung erfolgt durch einen Siebtrommelfilter mit 60 μ m Maschenweite.

Der kontinuierliche Betrieb und die Funktionstüchtigkeit des Mikrosiebfilters sind zu gewährleisten.

Das Reinigungswasser wird in einem Absetzbecken aufgefangen. Nach den ersten orientierenden Messungen erfolgt bei einer mindestens 16-stündigen Wasseraufenthaltszeit für die wichtigsten gewässerbelastenden Parameter ein erheblicher Stoffumsatz bzw. eine erhebliche Festlegung im sedimentierten Schlamm. Das Überlaufwasser wird hinter den Aufzuchtbecken und vor dem Siebtrommelfilter wieder eingeleitet. Der Schlamm aus den Absetzbecken wird bei Bedarf ordnungsgemäß entsorgt.

Es sind folgende Nachweise zu erbringen:

- Jahresverbrauch an Futtermitteln nach Typ und jeweiliger Menge durch Kopien von Lieferscheinen und Deklaration
- Einsatz von Medikamenten durch die Abgabebelege des Tierarztes sowie die Protokollierung der Einsatzmenge und des Einsatzzeitraumes
- Betriebstagebuch mit Schlammproben (Datum, Menge, Verwertung) sowie besonderen Vorkommnissen und Störungen
- Die Nachweise werden drei Jahre lang aufbewahrt.
- Kontrolle der Funktionstüchtigkeit und des ordnungsgemäßen Zustandes des Siebtrommelfilters bzw. entsprechende Wartungen

- Zweitens wird im Rahmen der Eigenkontrolle am Ende der Aufzuchtperiode an zwei Tagen während der Fütterungszeit eine qualifizierte Stichprobe entnommen. Die beiden Probenahmetage müssen mindestens eine Woche auseinander liegen. Es erfolgt die Bestimmung der Parameter Gesamtposphor TP, Stickstoff mineralisch Nmin und chemischer Sauerstoffbedarf CSB. Zusätzlich wird der mittlere Tagesdurchfluss bestimmt. Die Werte haben keine Relevanz für die Berechnung der Abwasserabgabe. Die genutzten Wassermengen werden nach Monaten zusammengefasst dokumentiert.
- Die Veranlagung zur Abwasserabgabe erfolgt für den Parameter Phosphor auf der Grundlage einer modellhaften rechnerischen Ermittlung der Frachten (Nährstoffemissionsbilanz) für die jeweilige Produktionsperiode bzw. das Veranlagungsjahr.
- Ausgangspunkt der Berechnungen sind folgende Parameter, die durch den Anlagenbetreiber übergeben bzw. nachgewiesen werden müssen bzw. aus den vorliegenden Untersuchungen festgelegt wurden:
 - Masse der im Herbst besetzten Fische in kg
 - Masse der am Ende der Aufzuchtperiode (in der Regel Mai) abgefischten Fische in kg
 - Daraus wird der Fischzuwachs während der Aufzuchtperiode (Abfischungsmasse - Besatzmasse) in kg ermittelt.
 - Der Phosphorgehalt des Futters ist der Deklaration des Futtermittels zu entnehmen. In der Regel wird durchgehend ein Futtermittel genutzt. Der Phosphorgehalt des 2008 - 2009 genutzten Futters betrug 0,9 %. Das 2009 - 2010 eingesetzte Futter hatte einen P-Gehalt von 1,2 %.
 - Die verbrauchte Futtermenge wird durch den Anlagenbetreiber in kg angegeben und durch Lieferscheine nachgewiesen. Bei teilgefülltem Futterlager am Anfang oder Ende der Produktionsperiode muss eine Schätzung der verbliebenen Menge vorgenommen werden. Die dabei auftretenden Ungenauigkeiten sind nicht relevant, da sie durch die Berechnungen im vorangegangenen oder folgenden Jahr ausgeglichen werden.
 - Die Phosphor-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter wird als Mittelwert der Untersuchungen, die bisher durch das IfB durchgeführt wurden, auf 45 % festgelegt.

Die Phosphorfracht wird nach Gleichung 21 berechnet, die eine modifizierte Form von Gleichung 14 - 16 darstellt:

$$m_{PG} = ((m_{PF} * m_{FU} / (m_A - m_B)) - m_{PK}) * (m_A - m_B) * (1 - PER/100 \%) \quad \text{Gl. 21}$$

- m_{PG} P-Emission gesamte Produktionsperiode (g P)
- m_{PF} Phosphorgehalt des Futters (9 oder 12 g P/kg Futter = 0,9 oder 1,2 %)
- m_{FU} verabreichte Futtermasse gesamt (kg)
- m_A Fischmasse Abfischung (kg)
- m_B Fischmasse Besatz (kg)
- m_{PK} Phosphorgehalt des Karpfens (g P/kg Fisch = g P/kg Zuwachs), 0,48 % = 4,8 g P/kg Zuwachs (s. SCHRECKENBACH et al. 2001)
- PER P-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter (45 %)

Tabelle 42: Berechnung der Schadeinheiten zur Veranlagung zur Abwasserabgabe am Beispiel der Anlage Schwarze Pumpe ab 2007

	2007 - 2008	2008-2009	2009- 2010
Futtermittelverbrauch (kg)	111.072	87.400	130.370
P-Gehalt Futter (g P/kg Futter)	9 (0,9 %)	9 (0,9 %)	12 (1,2 %)
Besatzmasse (kg)	5.245	8.880	6.543
Abfischungsmasse (kg)	62.205	61.340	100.842
Zuwachs (t)	56.960	52.460	107.385
P-Gehalt des Karpfens (g P/kg Fisch bzw. Zuwachs)	4,8	4,8	4,8
P-Entnahme Mikrosieb (%)	45	45	45
P-Emission (kg)	399,4	295,4	594,2
Anzahl Schadeinheiten	133,1	98,5	198,1
50 % der Schadeinheiten	66,6	49,2	99,0

Der mit den Fischverlusten entfernte Phosphor wird nicht abgezogen. Diese Rechnung liegt dadurch auf der sicheren Seite für die Wasserbehörde. Allerdings sind die Verluste in der Regel sehr gering.

Die vorgenommenen Berechnungen der Schadeinheiten für die drei Aufzuchtperioden ab 2007 in der Anlage Schwarze Pumpe wurden in Tab. 42 dargestellt.

Nach den bisher durchgeführten Messungen und Berechnungen liegt der Anteil des Zuwachses und damit ungefähr auch der der Frachten vom Besatz bis zum 31.12. bei 20 - 25 %. Es wird die Festlegung eines Wertes von 20 % vorgeschlagen. Damit würde sich für das Jahr 2008 eine errechnete Abwasserabgabe für Phosphor von $66,6 * 0,8 + 49,2 * 0,2 = 63,1$ Schadeinheiten ergeben.

Der Mittelwert von 45 % für die Phosphorentnahme durch den Siebtrommelfilter befindet sich im unteren Bereich bekannter Werte aus der Forellenproduktion von unter 30 bis über 80 % (CRIPPS & BERGHEIM 2000). Für die Anlage Schwarze Pumpe liegt er auf der wasserwirtschaftlich sicheren Seite, da die absolute Reduzierung der TP-Frachten des Fischbestandes durch den Siebtrommelfilter für die gesamte Aufzuchtperiode über dem Mittelwert von 45 % liegen dürfte. Ursache ist die steigende TP-Entnahmerate mit zunehmender TP-Zulaufkonzentration bzw. -fracht (s. 8.5.3).

10 Zusammenfassung

Am Standort Schwarze Pumpe wurde 2006 eine Warmwasser-Durchflussanlage zur Aufzucht von Satzkarpfen während des Winterhalbjahres errichtet, die das Absalzwasser aus dem Braunkohlekraftwerk Schwarze Pumpe nutzt.

Derartige Anlagen unterliegen der Abwasserabgabepflicht nach dem Abwasserabgabengesetz (AbwAG). Außerdem sind die Emissionsanforderungen der „Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung“ zu beachten. Diese beinhalten insbesondere den Einsatz energiereicher und phosphorarmer Futtermittel und die Reinigung des Ablaufwassers mit Hilfe eines Siebtrommelfilters oder eines Absetzbeckens. Die Einhaltung dieser Maßgaben des Standes der Technik bildet die Voraussetzung für die Ermäßigung des Abgabesatzes der Abwasserabgabe um die Hälfte der Schadeinheiten.

Für die wasserrechtliche und abgabenrechtliche Erklärung des Einleiters bzw. die Festlegung der Überwachungswerte im wasserrechtlichen Bescheid sind genauere Kenntnisse der Emissionen der Fische und der Reinigungsleistung des Siebtrommelfilters erforderlich. Daneben sind für die Eigenkontrolle und Überwachung Erfahrungen über die Streuungen der abwasserabgaberelevanten Parameter von Bedeutung. Die Emissionen der Fische werden als Frachten und die Reinigungseffektivität des Siebtrommelfilters als prozentuale Entnahmerate des jeweiligen Wasserparameters angegeben. Derartige Daten fehlten für die Satzkarpfenaufzucht im Warmwasser und wurden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit ermittelt.

Für die wasserrechtliche Überwachung und die Veranlagung zur Abwasserabgabe sind bei der Fischzucht die Schadstoffparameter Phosphor TP, mineralischer Stickstoff Nmin und chemischer Sauerstoffbedarf CSB relevant. Unter Abzug der Vorbelastung erfolgt bei der Überschreitung der Schwellenwerte von 0,1 mg/l TP, 5 mg/l Nmin und 20 mg/l CSB eine Veranlagung zur Abwasserabgabe entsprechend der erzeugten Schadstofffrachten. Diese werden für den festgelegten Zeitraum durch Multiplikation des Überwachungswertes mit der Schmutzwassermenge berechnet.

Die vorläufige Erklärung der Überwachungswerte erfolgte im Rahmen der Planung und Inbetriebnahme der Anlage Schwarze Pumpe auf der Basis von Berechnungen mit Hilfe spezifischer Emissionswerte sowie rechnerischer Bilanzierungen der Frachten, die in der Forellenproduktion gebräuchlich sind. Die festgelegten Werte und Vorgehensweisen haben dadurch nur vorläufigen Charakter. Die Berechnungen haben gezeigt, dass bei Abzug der Vorbelastung eine Überschreitung der Schwellenwerte nach dem AbwAG regelmäßig nur beim Phosphor vorkommen dürfte.

Zur Ermittlung der Frachtwerte der Emissionen der Fische, der Reinigung durch den Siebtrommelfilter und der Emissionen der Anlage insgesamt wurden Konzentrationsmessungen durchgeführt. Für diese wurden 24 h-Mischproben vor der Anlage, nach den Fischhaltungsbecken und am Auslauf der Anlage nach dem Siebtrommelfilter entnommen. Weiterhin wurden die Tagessummen des Wasserdurchflusses bestimmt. Die Probenahmen erfolgten während den mehr als siebenmonatigen Aufzuchtperioden 2008 - 2009 und 2009 - 2010 in zweiwöchigem Abstand an zwei aufeinanderfolgenden Tagen. Zur Ermittlung spezifischer

Frachtwerte wurden die produktionsbiologischen Parameter Fischbestandsmasse, Zuwachs, Futtermenge u. a. m. zum Zeitpunkt der Messungen erfasst oder modelliert. Zusätzlich wurden Berechnungen der Phosphor- und Stickstoffemissionen der Fische auf der Basis von Nährstoffemissionsbilanzen vorgenommen.

Bei den messtechnischen Konzentrations- und Frachtbestimmungen traten trotz der entnommenen 24 h-Mischproben sehr große Streuungen aller Parameter auf. Das gilt für die Emissionen der Fische, die Entnahme durch den Siebtrommelfilter sowie die Anlage insgesamt. Teilweise wurden auch Frachten ermittelt, die bei Null lagen oder negative Werte annahmen, d. h. die Anlage wird kurzzeitig z. B. zum Phosphorspeicher.

Obwohl durchschnittlich wöchentlich eine Probenahme erfolgte, wiesen die vergleichbaren futterbezogenen Emissionswerte für die Parameter, die in hohem Maße an partikuläre Substanz gebunden sind wie abfiltrierbare Stoffe AFS, CSB, biochemischer Sauerstoffbedarf innerhalb von fünf Tagen BSB₅ und TP, immer noch extreme prozentuale Standardabweichungen auf. Für die überwiegend im Wasser gelöst vorliegenden Stickstoffparameter TN und Nmin ergaben sich geringere Streuungen. Auch durch die Nutzung von 48 h-Mischproben oder durch noch längere Probenahmezeiten lässt sich anscheinend keine wesentliche Verringerung der Streuungen, zumindest für den wichtigsten Parameter Phosphor, erreichen.

Als Ursachen für die Streuungen kommen der geringe Stichprobenumfang, die Bestimmungsunsicherheiten der Messverfahren und vor allem die Schwankungen des Futterumsatzes der Fische und die zeitlich und örtlich diskontinuierlichen Austräge des Fischkots aus der Anlage in Frage. Der Anlagenbetreiber hat keine ökonomisch vertretbaren Möglichkeiten, vor allem die letzteren zufälligen Ereignisse zu beeinflussen.

Der messtechnische Nachweis der Einhaltung der wasserrechtlichen und abgaberechtlichen Überwachungswerte sowie der Belastungshöchstwerte der "Hinweise" ist daher auf der Grundlage einer begrenzten Anzahl von 24 h-Messungen nicht möglich und nicht sinnvoll. Das bedeutet auch, dass die wirklichen Frachten der abwasserabgabepflichtigen Parameter in Warmwasser-Durchflussanlagen auf der Basis weniger, stark schwankender Messwerte nicht abgebildet werden können.

Gleichzeitig haben die vorliegenden Messungen beider Aufzuchtperioden gezeigt, dass erst nach einer sehr großen Anzahl von Einzelmessungen eine langsame Annäherung der Mittelwerte der gemessenen spezifischen Emissionswerte an die als genauer einzuschätzenden berechneten Werte erfolgt. Zum einen ist eine derartige Anzahl von Messungen für die wasserrechtliche Überwachung und die Eigenkontrolle des Einleiters kostenmäßig nicht mehr realisierbar, zum anderen hat ein aus einer Vielzahl von Messungen gewonnener Mittelwert für die wasserrechtliche und abgabenrechtliche Überwachung keine Bedeutung. Aufgrund der nicht beeinflussbaren Streuungen der gemessenen Werte ist trotz niedriger Mittelwerte eine Überschreitung der festgelegten Überwachungswerte zu jedem Zeitpunkt möglich. Die überwachungsrechtlichen Probleme durch einzelne, extrem hohe Werte können durch eine Mittelwertbildung einer größeren Anzahl von Messungen nicht gelöst werden.

Geeigneter für die Veranlagung zur Abwasserabgabe ist daher im Vergleich zu den Messungen eine rechnerische Bilanzierung der Schadstofffrachten. Anhand der vorliegenden sowie weiteren umfangreichen Messungen in Forellenanlagen konnte die bessere Eignung von Nährstoffemissionsbilanzen zur Ermittlung der Nährstoffeinträge durch Fischzuchtanlagen bestätigt werden. Dieser Vorgehensweise kommt auch entgegen, dass für die Anlage Schwarze Pumpe und wahrscheinlich auch für andere Anlagen dieses Typs lediglich Phosphor den festgelegten Schwellenwert des AbwAG regelmäßig überschreitet und damit abwasserabgabepflichtig wird. Die Berechnungsweise der Nährstoffemissionsbilanz für Phosphor ist eindeutig, allgemein akzeptiert und gibt den betrachteten Parameter direkt als Ergebnis an. Die TP-Entnahmeraten der Ablaufwasserreinigung werden auf der Basis messtechnisch ermittelter Werte festgelegt.

Eine Abhängigkeit der Frachten von den produktionsbiologischen Kennwerten war nicht oder nur in sehr grober Tendenz erkennbar. Das betrifft die Futtermenge und die Futterverwertung durch die Fische. Die Ursachen liegen in den großen Streuungen der gemessenen Frachtwerte und wahrscheinlich auch den schwankenden Bewirtschaftungsbedingungen, insbesondere der zeitweisen Beeinflussung der verabreichten Futtermenge durch die reduzierten Wasserdurchflüsse.

Die Medianwerte der gemessenen spezifischen TP-Emissionen des Fischbestandes lagen mit 6,5 bzw. 9,4 g TP/kg Futter (7,9 nach Ausreißereliminierung) im Bereich der berechneten Mittelwerte von 6,5 bzw. 8,3 g TP/kg Futter. Da die Werte 2009 - 2010 den Belastungshöchstwert der „Hinweise“ von 7 g TP/kg Futter überstiegen, kann zur Einhaltung des Standes der Technik auf die kontinuierliche Reinigung des Ablaufwassers aus den Becken mit dem Siebtrommelfilter nicht verzichtet werden. Für den Siebtrommelfilter ergaben sich Medianwerte der TP-Entnahmerate von 39 bzw. 49 %. Auch hier traten relativ große Streuungen der Werte auf. Als Mittelwert für die rechnerische Bilanzierung der TP-Schadstofffrachten der Anlage Schwarze Pumpe wird eine TP-Entnahmerate von 45 % festgelegt.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die TP-Entnahmerate mit steigender TP-Zulaufkonzentration zunächst ansteigt, dann aber bei einem maximalen Wert von 70 % - 80 % weitgehend konstant bleibt. Diese Abhängigkeit hat für die Einhaltung der Überwachungswerte und der Emissionshöchstwerte der "Hinweise" eine wichtige Bedeutung. Bei hoher Futtermenge werden die entsprechend erhöhten Konzentrations- und Frachtwerte am Auslauf der Fischhaltungsbecken durch die ansteigende TP-Entnahmerate des Siebtrommelfilters zumindest teilweise kompensiert. Dadurch dürfte die absolute Reduzierung der TP-Frachten des Fischbestandes durch den Siebtrommelfilter für die gesamte Aufzuchtperiode über dem Mittelwert von 45 % liegen.

Die futterbezogenen TP-Frachten der Anlage, d. h. unter Einschluss der Reinigung durch den Siebtrommelfilter, lagen mit Medianwerten von 2,1 bzw. 3,1 g TP/kg Futter deutlich unter dem Emissionshöchstwert der „Hinweise“ von 7 g/kg Futter. Unter Bezugnahme auf die Medianwerte kann der Stand der Technik damit als nachgewiesen und eingehalten gelten.

Die für die Anlage festgelegten wasserrechtlichen Überwachungswerte der TP-Konzentration wurden aufgrund der aufgetretenen Streuungen 2008 - 2009 einmal geringfügig und 2009 - 2010 ab Januar 2010 dreimal geringfügig überschritten. Von Oktober bis Dezember 2009 traten zusätzlich extrem große Streuungen auf, deren Ursache ungeklärt ist.

Die Medianwerte der TP-Konzentrationsaufstockung durch die Anlage lagen mit 0,088 bzw. 0,17 mg/l unterhalb des für den Modellfischbestand berechneten Mittelwertes von 0,2 mg/l. Während der Aufzuchtperiode 2008 - 2009 befand sich der Medianwert unterhalb des Schwellenwertes nach dem AbwAG von 0,1 mg/l.

Für den Parameter mineralischer Stickstoff Nmin lagen die gemessenen Konzentrationsaufstockungen durch die Anlage immer unter 5 mg/l und die festgelegten Nmin-Überwachungswerte wurden nie überschritten. Der Verzicht auf die Veranlagung dieses Parameters zur Abwasserabgabe konnte neben den durchgeführten Berechnungen damit auch messtechnisch bestätigt werden.

Die Medianwerte der gemessenen futterbezogenen Nmin-Frachten des Fischbestandes von 32,9 und 27,2 g Nmin/kg Futter sind geringer als die Mittelwerte der berechneten Frachten an gelöstem Stickstoff von 45,8 und 39,1 g Ngel/kg Futter. Alle Mittelwerte liegen aber deutlich unter dem Emissionshöchstwert der „Hinweise“ von 60 g Nmin/kg Futter. Die Nmin-Entnahmerate durch den Siebtrommelfilter müsste theoretisch Null sein. Es ergaben sich Medianwerte der Messungen von 8 % und 2 %.

Gesamtstickstoff (TN) ist kein Parameter, für den eine Veranlagung zur Abwasserabgabe vorgeschrieben ist und für den Emissionshöchstwerte vorliegen. Trotzdem ist TN neben dem Gesamphosphor der wichtigste gewässerökologische Parameter. Die Medianwerte der gemessenen futterbezogenen TN-Frachten des Fischbestandes lagen bei 79,1 und 46,6 g TN/kg Futter, die der berechneten TN-Frachten bei 49,6 und 43,7 g TN/kg Futter. Für die TN-Entnahme durch den Siebtrommelfilter wurden Medianwerte von 17 % und 18 % ermittelt.

CSB ist der Parameter der organischen Belastung, der für die Veranlagung zur Abwasserabgabe und daher auch für die Emissionsanforderungen der „Hinweise“ genutzt wird. Die Medianwerte der futterbezogenen CSB-Frachten des Fischbestandes lagen mit 537 bzw. 433 g CSB/kg Futter über dem Emissionshöchstwert der "Hinweise" von 400 g CSB/kg Futter. Die Medianwerte der CSB-Entnahmeraten des Siebtrommelfilters betragen 29 % bzw. 27 %. Die Medianwerte der futterbezogenen CSB-Frachten der Anlage befanden sich mit 147 und 204 g CSB/kg Futter unterhalb des Belastungshöchstwertes der "Hinweise". Bei den einzelnen Messungen wurde der Emissionshöchstwert der "Hinweise" nur in wenigen Fällen überschritten.

Die Medianwerte der CSB-Konzentrationsaufstockung durch die Anlage lagen mit 5,0 mg/l und 11,5 mg/l deutlich unterhalb des CSB-Schwellenwertes nach dem AbwAG von 20 mg/l. Die Überwachungswerte der CSB-Konzentration wurden während beider Aufzuchtperioden an mehreren Messtagen überschritten. Unter Nutzung der "4 aus 5 Regelung" der AbwV für hohe Einzelmessungen ist aber eine Erklärung bzw. Veranlagung zur Abwasserabgabe für den Parameter CSB nicht notwendig.

Die Überschreitung der Schwellenwerte bzw. Überwachungswerte dürfte auch hier wieder zufälligen Charakter gehabt haben und kann nicht auf ein konkretes Ereignis zurückgeführt und damit auch nicht ausgeschlossen werden.

Für den Parameter BSB₅ lagen die Medianwerte der spezifischen Frachten der Fische bei 154,9 bzw. 134,5 g BSB₅/kg Futter. Diese Werte liegen im Bereich neuerer Angaben, vorwiegend aus Forellenanlagen. Die mittlere BSB₅-Entnahmerate des Siebtrommelfilters betrug als Medianwert 44 % bzw. 39 %.

Für den Parameter TOC ergab sich ein Medianwert der spezifischen Frachten der Fische von 32,0 bzw. 29,5 g TOC/kg Futter. Dieser Wert liegt im unteren Bereich der wenigen vorhandenen Angaben. Die mittlere TOC-Entnahmerate des Siebtrommelfilters betrug 4,2 bzw. 0,6 %.

Die Verhältnisse der einzelnen Parameter der organischen Belastung zueinander sind auch in Übereinstimmung mit Literaturangaben schwer zu interpretieren. Die Nutzung von Verhältniswerten zur gegenseitigen Umrechnung einzelner Parameter der organischen Belastung erscheint zumindest gegenwärtig nicht möglich.

Das hohe Konzentrationsniveau der abfiltrierbaren Stoffe AFS und die Medianwerte der futterbezogenen AFS-Frachten der Fische von über 90 % bzw. 150 % der aufgenommenen Futtermenge erscheinen unreal. Die Feststoffentnahme des Siebtrommelfilters betrug lediglich 18 % bzw. 13 %. Hier liegen anscheinend grundsätzliche messtechnische oder methodische Probleme vor, die noch nicht gelöst werden konnten.

Das Reinigungswasser des Siebtrommelfilters wird einem Absetzbecken zugeführt. Das Überlaufwasser läuft nach einer Aufenthaltszeit von ca. 16 bzw. 19,3 Stunden zurück in die zentrale Ablaufrinne der Fischbecken. Auf der Basis der Konzentrationsveränderung beim Durchlaufen des Absetzbeckens wurde festgestellt, dass organische Belastung, Stickstoff und abfiltrierbare Stoffe in hohem Maße im abgesetzten Schlamm festgelegt oder im Becken umgesetzt werden. Die Phosphorrückhaltung war in beiden Jahren unterschiedlich. Es kann ebenso wie für die anderen Parameter eine hohe P-Sedimentation mit einer geringen PO_4 -P-Rücklösung auftreten. Andererseits ist aber auch eine hohe P-Rücklösung bei geringer P-Sedimentation möglich. Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, da die möglichen Instabilitäten der Rückhaltung bzw. Ausleitung in erster Linie den einzigen abwasserabgabepflichtigen Parameter Phosphor betreffen.

Das Schlammaufkommen lag bei 2,15 bzw. 1,15 m^3/t Zuwachs bzw. 1,32 und 0,89 m^3/t Futter. Es erfolgte eine orientierende Analyse des Schlammes.

Für die Nutzung von Nährstoffemissionsbilanzen bei der Veranlagung zur Abwasserabgabe, d. h. zur Durchführung einer rechnerischen Bilanzierung der abwasserabgabepflichtigen Phosphorfrachten, wurden die erforderlichen Vorgehensweisen dargestellt. Weiterhin wurde als Beispiel die Berechnung der Schadeinheiten für die drei Aufzuchtperioden ab 2007 in der Anlage Schwarze Pumpe vorgenommen.

Die notwendigen Maßnahmen, Kontrollen und Nachweisführungen wurden aufgeführt. Diese ergeben sich insbesondere aus den Festlegungen der "Hinweise". Weiterhin sind als Voraussetzung für die rechnerische Bilanzierung der P-Gehalt des Futters sowie die verabreichte Futtermenge und der Fischzuwachs während der betrachteten Aufzuchtperiode zu erfassen.

Durch die eingesetzten phosphorarmen Hochenergiefuttermittel und den installierten Siebtrommelfilter wird der Stand der Technik eingehalten und es kann eine Halbierung der Schadeinheiten bei der Veranlagung zur Abwasserabgabe vorgenommen werden.

Auf eine behördliche Überwachung anhand von festgelegten maximalen Konzentrationswerten sollte verzichtet werden und lediglich eine begrenzte Anzahl von Eigenkontrollen der abwasserabgaberelevanten Parameter während der höchsten Futtergaben vorgenommen werden. Diese Vorgehensweise ist auch für andere K_1 - K_2 -Warmwasser-Durchflussanlagen, gegebenenfalls nach entsprechenden Anpassungen an die speziellen örtlichen Bedingungen, anwendbar.

11 Literatur

- AUERBACH, W. (1984): Einige Aspekte zur Satzkarpfenproduktion in der Warmwasseranlage Thierbach auf der Basis von K1 aus der Warmwasseraufzucht. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 31, 80 - 81.
- AXLER, R. P., TIKKANEN, C., HENNECK, J., SCHULDT, J. & McDONALD, M. E. (1997): Characteristics of effluent and sludge from two commercial rainbow trout farm in Minnesota. *The Progressive Fish-Culturist*, 59, 161 - 172.
- BARDÓCZ, T., OBERDIECK, A. & VÁRADI, L. (2009): A handbook for sustainable aquaculture. S. 59 - 70. <http://www.vdbi.de/pages/sustainaqua/informationen.php>.
- BARTHELMES, D. & PREDEL, G. (1983): Intensive fischereiliche Nutzung von Binnengewässern. In: Busch, K.-F., Uhlmann, D. & Weise, G.: *Ingenieurökologie*. Gustav Fischer Verlag Jena, 282 - 286.
- BERGHEIM A. & ASGARD, T. (1996): Waste production from aquaculture. In: BAIRD, D. J., BEVERIDGE, M., KELLY, L & MUIR, J.: *Aquaculture and water resource management*, 50 - 80.
- BERGHEIM, A., SANNI, S., INDREVIK, G. & HOLLAND, P. (1993): Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating micro-sieves. *Aquacultural Eng.* 12, 97 - 109.
- BLUME, H. W. (1998): Neue Satzfischaufzuchtanlage des Teichgutes Peitz. *Fischer & Teichwirt* 49, S. 248.
- BOHL, M. (1999): Zucht und Produktion von Süßwasserfischen. Verlags Union Agrar, 2. Auflage, S. 107
- BRÄMICK, U. (2009): Jahresbericht der Deutschen Binnenfischerei 2008. www.bmelv.de, 43 S.
- BREUNINGER, E. (1984): Ergebnisse und Erfahrungen der K1- zu K2-Produktion im Warmwasser in den Winterperioden 1980 bis 1983. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 31, S. 78 - 79.
- BRINKER, A., BERG, R. & RÖSCH, R. (2006): Neue Methoden in der Forellenzucht: Wege zur Minimierung der Ablaufwasserbelastung. *Grundlagen und Technik. Berichte zur Fischereiforschung Baden-Württemberg*, 55 S.
- BUREAU, D. P., GUNTHER, S. T. & CHO, C. Y. (2003): Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture* 65, 33 - 38.
- CHO, C. Y., HYNES, J. D., WOOD, K. R. & YOSHIDA, H. K. (1991): Quantitation of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods; the development of high nutrient dense (HND) diets. In: COWEY, C. B. & Cho, C. Y.: *Nutritional strategies and aquaculture waste. Proceedings of the first international Symposium on Nutritional strategies and aquaculture waste*. Guelph, Ontario, 37 - 50.
- CHO, C. Y., HYNES, J. D., WOOD, K. R. & YOSHIDA, H. K. (1994): Development of high-nutrient-dense diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture* 124, 293 - 305.
- COLT, J. & WATTEN, B. (1988): Applications of Pure Qxygen in Fish Culture. *Aquaculture Eng.* 7, 397 - 441
- COLT, J., ORWITZ, K., & BOUCK, G. (1991): Water quality considerations and criteria for high-density fish culture with supplemental oxygen. In: Colt, J., White, R.J. (Eds.): *Fisheries Bioengineering Symposium 10*. American Fisheries Society, Bethesda, MD, 372 - 385
- CRIPPS, S.J. & BERGHEIM, A. (2000): Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Eng.* 22, 33 - 56.
- EICHHOLZ, B. (1997): Wirkungsweise eines Mikrosiebs zur Verbesserung der Ablaufwasserqualität einer Forellenanlage. Diplomarbeit Albert-Ludwig- Universität Freiburg, 102 S.
- FLADUNG, E. (1993): Untersuchungen zur Verringerung des Nährstoffeintrags aus Fischproduktionsanlagen (Forellentränenanlagen) in die Vorfluter. Diplomarbeit Humboldt-Universität Berlin, 63 S.
- FOY, R.H. & ROSELL, R. (1991a): Loading of nitrogen and phosphorus from a Northern Ireland fish farm. *Aquaculture* 96, 17 - 30.
- FOY, R.H. & ROSELL, R. (1991b): Fractionation of phosphorus and nitrogen loadings from a Northern Ireland fish farm. *Aquaculture*, 96, 31 - 42.
- FRITSCH, S. (1984): Erfahrungen bei der Überleitung der Technologien der industriemäßigen Karpfenproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Warmwasseranlage Boxberg. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 31, 81 - 85.
- FÜLLNER, G. et al. (2006): Ordnungsgemäße Teichwirtschaft im Freistaat Sachsen - Regeln guter fachlicher Praxis. Broschüre der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 66 S.
- HÁKANSON, L., ERVIK, A., MAKINEN, T. & MOLLEG, B. (1988): Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms. *Nordic council of Ministers*, Copenhagen, 103 S.
- HENNESSY, M. M., WILSON, L., STRUTHERS, W. & KELLY, L.A. (1996): Waste loading from two freshwater Atlantic salmon juvenile farms in Scotland. *Water, Air and Soil Pollution* 86, 235 - 249.
- KELLY, L. A., STELLWAGEN, J. & BERGHEIM, A. (1996): Waste loadings from a freshwater atlantic salmon farm in Scotland. *Water Resources Bulletin*, 32, No. 5, 1017 - 1025

- KNÖSCHE, R. (1992): Gedanken zum Frachtenmodell bei der Gesetzgebung zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch Aquakultur. In: Dethlefsen, V.: Fischzucht und Gewässerschutz. Arbeiten des Deutschen Fischerei-Verbandes, H. 56, S. 77 - 90.
- LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 1. Auflage, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 35 S.
- LAWA (2003): Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung, Arbeitskreises 61 der LAWA, 80 S.
- LEKANG, O. - I. (2007): Aquaculture Engineering. Blackwell Publishing, S. 165
- LEMARIE, G., MARTIN, J.-L., M., DUTTO, G. & GARIDOU, C. (1998): Nitrogenous and phosphorous waste production in a flow-through land-based farm of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). Aquat. Living Resour. 11, 247 - 254.
- LfU Baden-Württemberg (2005): Leitfaden Abwasserabgabe. Arbeitshilfe für die Festsetzungsbehörden, Teil 1, Allgemeines und Vollzug. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Siedlungswasserwirtschaft 19, 4. Auflage 2005, 74 S.
- LIEDER, U. (1986): Die Anwendung der Wachstumsformel bei der Karpfenproduktion in Warmwasseranlagen unter Berücksichtigung der Parameter Temperatur, Fischgröße, Futterqualität und Überlebensrate. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 22, 40 - 44
- MAILLARD, V. M., BOARDMANN, G. D., NYLAND, J. E. & KUHN, D. (2005): Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. Aquacultural Engineering 33, 271 - 284.
- PAPATRYPHON, E., PETIT, J., VAN DER WERF, H. M. G., KAUSHIK, J. S. & KANYARUSHOKI, C. (2005): Nutrient-Balance Modeling as a Tool for Environmental Management in Aquaculture: The Case of Trout Farming in France. Environmental Management 35, 161 - 174.
- PFEIFER, M. (1987): Möglichkeiten der Verlustsenkung bei der K₂-Produktion durch Optimierung der Umweltbedingungen am Beispiel der Rundbeckenanlage mit Sauerstoffbegasung in der WWA Hirschfelde. Abschlussarbeit zum postgradualen Studium Fachingenieur für Fischgesundheitsdienst, Humboldt-Universität Berlin, 1987, 35 S.
- PLUTA, H.-J. (2002): Ermittlung des Standes der Technik für Abwässer aus der Fischintensivhaltung unter Einbeziehung wirtschaftlich durchführbarer, fortschrittlicher Verfahren für Kreislaufanlagen in der Fischhaltung. Bericht zum Eigenforschungsprojekt des Umweltbundesamtes, 284 S.
- PREDEL, G. (1983): Stand und Perspektiven der Fischproduktion in Netzkäfigen. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 30, 255 - 263.
- RENNERT, B. (1993): Untersuchungen zur Gewässerbelastung durch Fischzuchtanlagen. In: STEFFENS, W. et al. (1993): Fortschritte der Fischereiwissenschaft 11, 83 - 90.
- ROQUE D'ORBCASTEL, E, BLANCHETON, J.-P., BOUJARD, T., AUBIN, J., MOUTOUNET, Y. PRZYBYLA, C. & BELAUD, A. (2008): Comparison of two methods for evaluating waste of a flow through trout farm. Aquaculture 274, 72 - 79.
- RÖSCH, R., HAMERS, R. & BRINKER, A. (2003): Ablaufwasser aus Forellenzuchtanlagen. Grundlagen und Techniken. Berichte zur Fischereiforschung Baden-Württemberg, 36 S.
- RÜMMLER, F. (2003): Verfahrensgestaltung der Warmwasserfischproduktion im offenen Kreislauf. Fischer & Teichwirt 54, 208 - 211.
- RÜMMLER, F., BÜRGER, E., KUNKEL, D. & DONATH, W. (2007): Stand der Entwicklung eines intensiven Teich-in-Teich-Systems. Fischer & Teichwirt 58, 369 - 372.
- RÜMMLER, F. (2010): Emissionsproblematik von Durchflussanlagen der Fischzucht - Teil 1. Fischer & Teichwirt 61, 453 - 455.
- RÜMMLER, F. (2011): Emissionsproblematik von Durchflussanlagen der Fischzucht - Teil 2. Fischer & Teichwirt 62, 10 - 13.
- RÜMMLER, F. & PFEIFER, M. (1987): Erste Versuche zur K₂-Produktion in einer Anlage mit Sauerstoffbegasung und Rundbecken. Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR 34, 179 - 185.
- RÜMMLER, F. & PFEIFER, M. (1991): Entwicklung eines Verfahrens zur Satzfishproduktion in Warmwasseranlagen mit Rundbecken und Sauerstoffbegasung. Fischer & Teichwirt 42, 266.
- RÜMMLER, F. & SCHIEWE, S. (2006a): Anlagentechnische Erarbeitung einer Aufgabenstellung zur Errichtung der Warmwasseranlage am Standort Schwarze Pumpe. Auftrag Büro für Architektur und Bauingenieurwesen Würtz/Kreba-Fisch GmbH, 28 S.
- RÜMMLER, F. & SCHIEWE, S. (2006b): Anlagentechnische Spezifikation zur Aufgabenstellung der Warmwasseranlage Schwarze Pumpe. Auftrag Büro für Architektur und Bauingenieurwesen Würtz/Kreba-Fisch GmbH, 21 S.
- RÜMMLER, F., BÜRGER, E., KUNKEL, D. & DONATH, W. (2010a): Teich-in-Teich: Aktueller Entwicklungsstand des Verfahrens Teil 1. Fischer & Teichwirt Heft 61, 203 - 206.
- RÜMMLER, F., BÜRGER, E., KUNKEL, D. & DONATH, W. (2010b): Teich-in-Teich: Aktueller Entwicklungsstand des Verfahrens Teil 2. Fischer & Teichwirt 61, 245 - 249.

- RÜMMLER, F., PFEIFER, M. & HEIDRICH, S. (2006): Kombinierte Satzkarpfen - Edelfischaufzucht in geschlossenen Kreislaufanlagen. In: Berichte aus der Fischerei. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 13/2006, 1-56.
- SANDU, S., Brazil, B. & Hallerman, E. (2008): Efficiency of a pilot-scale wastewater treatment plant upon a commercial aquacultural effluent. I. Solids and carbonaceous compounds. *Aquacult.Eng.* 39: 78 – 90.
- SÄUBERLICH, E. (1972): Vorteile der Kombination industriemäßiger Produktion von 2sömmrigen Satzkarpfen in Warmwasseranlagen und der Produktion von Speisekarpfen in der Teichwirtschaft. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 19, 307 - 315.
- SCHRECKENBACH, K. (2000): Auswirkungen von Kormoranen auf den Gesundheitszustand, die Erträge und die Verluste bei Satzkarpfen in Teichen der JOFRA Fisch GmbH. Stellungnahme des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam Sacrow, 3 S.
- SCHRECKENBACH, K. (2002): Einfluss von Umwelt und Ernährung bei der Aufzucht und beim Besatz von Fischen. In: Keiz, G.: Fischerei & Naturschutz.: Nachhaltige Fischereiausübung, VDSF-Schriftenreihe H. 4, 55 - 73
- SCHRECKENBACH, K. et al.(2005): Verdaulichkeitsuntersuchungen von Futtermitteln bei Goldfischen (*Carassius auratus*). Projektbericht des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sarcrow, 13 S.
- SCHRECKENBACH, K. et al. (1998): Einfluss von Kormoranen auf Satzkarpfen in ungeschützten und überspannten Teichen. *Fischer & Teichwirt* 49, 186 - 192.
- SCHRECKENBACH, K. et al. (1987): Technologien, Normen und Richtlinien der Fischproduktion. Institut für Binnenfischerei Berlin-Friedrichshagen, 180 S.
- SCHRECKENBACH, K., KNÖSCHE, R. & EBERT, K. (2001): Nutrient and energy content of freshwater fishes. *J. Appl. Ichthyol.* 17, 142 - 144.
- SINDILARIU, P.-D., BRINKER, A. & REITER, R. (2009): Waste and particle management in a commercial, partially recirculating trout farm. *Aquacultural Engineering* 41, 127 - 135.
- SOBOTA, D. (1984): Stand und Entwicklung der industriemäßigen Satzkarpfenproduktion in der Warmwasseranlage Hirschfelde. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 31, 75 - 77.
- STEFFENS, W. (1981): Warmwasserernutzung für die industriemäßige Produktion von Satzkarpfen (*Cyprinus carpio*) in der Deutschen Demokratischen Republik. *Zeitschrift für die Binnenfischerei der DDR* 28m, 233 - 236.
- SUMMERFELD, S. T. (1999): Waste-handling systems. In: WHEATON, F.: CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. II, Part II, American Society of Agricultural Engineers, 309 - 350.
- SVOBODOVA, Z., LLOYD, R., MACHOVA, J. & VYKUSOVA, B. (1993): Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper 54, 59 S.
- TERPSTRA, A. H. M., BIJL, R. A. J. & RUTJES, G. (2009): Die Zusammensetzung und Produktion von Fischfutter. Teil 1. *Fischer & Teichwirt* 60, 463 - 465.
- TIMMONS, M.B., EBELING, J.M., WHEATON, F.W., SUMMERFELT, S.T. & VINCI, B.J. (2002): Recirculating aquaculture systems, 2nd Edition Cayuga Aqua Ventures, Northeastern Regional Aquaculture Center Publication 01-002.
- WEDEKIND, H. & GÖTHLING, U. (2000): Behandlung des Ablaufwassers aus durchflossenen Aquakulturanlagen mit Siebtrommelfiltern. *Fischer & Teichwirt* 51, 180 - 183.
- WEDEMEYER, G. A. (1996): Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman and Hall, New York, 232 S.
- ZAHN, S. (1991): Die Bedeutung des Kohlendioxids in der Fischwirtschaft, Möglichkeiten der analytischen Erfassung und verfahrenstechnische Entfernung aus dem Wasser. Diplomarbeit Humboldt-Universität Berlin, 53 S.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Dr. Frank Rümmler, Ralf Jährling, Hendrik Rank, Frank Weichler, Susan Schiewe
Institut für Binnenfischerei e.V.
Im Königswald 2, 14469 Potsdam
Telefon: +49 33201 406-0
Telefax: +49 33201 40640
E-Mail: info@ifb-potsdam.de

Matthias Pfeifer

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Tierische Erzeugung/Referat Fischerei
Gutsstr. 1, 02699 Königswartha
Telefon: + 49 35931 296-41
Telefax: + 49 35931 296-11
E-Mail: matthias.pfeifer@smul.sachsen.de

Redaktion:

Matthias Pfeifer

Fotos:

Frank Rümmler, Stefan Sieg

Redaktionsschluss:

31.01.2011

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung. Die PDF-Datei ist im Internet unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> verfügbar.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.