

## Skript

Impulse für eine nachhaltige anglerische Hege von Binnengewässern:  
Fischbesatz und seine Alternativen



**Prof. Dr. Robert Arlinghaus & Dr. Tobias Rapp**

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abteilung für Biologie und  
Ökologie der Fische

Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet für Integratives Fischereimanagement

im September, 2016



## Inhalt

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Inhalt.....                                                                                                                  | 2   |
| Vorwort .....                                                                                                                | 4   |
| 10 Kernbotschaften für eine nachhaltige anglerische Hege.....                                                                | 6   |
| 1    Fischereibiologische Grundlagen der Ertragsbildung .....                                                                | 9   |
| 1.1    Grundlagen der Fischpopulationsdynamik .....                                                                          | 9   |
| 1.2    Die fischereiliche Ertragsbildung .....                                                                               | 21  |
| 1.3    Konsequenzen der Dichteabhängigkeit für das Besatzmanagement .....                                                    | 27  |
| 2    Lernfähige Hege und Pflege - das Grundprinzip einer nachhaltigen<br>anglerischen Bewirtschaftung .....                  | 31  |
| 2.1    Allgemeines Vorgehen .....                                                                                            | 31  |
| 2.2    Der Einheitsfang als praxisnahes Hilfsmittel zur Erfolgskontrolle .....                                               | 36  |
| 3    Identifikation grundsätzlich geeigneter Hegeansätze: Fischbesatz<br>Entnahmebestimmungen oder Lebensraummanagement..... | 49  |
| 3.1    Allgemeine Einführung .....                                                                                           | 49  |
| 3.2    Fischbesatzformen .....                                                                                               | 54  |
| 3.3    Entscheidungsbaum.....                                                                                                | 63  |
| 4    Planung und Einsatz von Schonbestimmungen.....                                                                          | 75  |
| 4.1    Einführung zur Sinnhaftigkeit .....                                                                                   | 75  |
| 4.2    Entscheidungsbaum.....                                                                                                | 80  |
| 5    Planung und Einsatz von Fischbesatz .....                                                                               | 96  |
| 5.1    Ökologische Faktoren erfolgreicher Besatzmaßnahmen.....                                                               | 96  |
| 5.2    Fischbesatzplanung .....                                                                                              | 105 |
| 6    Einführung in die Besatzfisch-Hegeplansoftware.....                                                                     | 114 |
| 6.1    Allgemeine Einführung .....                                                                                           | 114 |
| 6.2    Anwendbarkeit des Modells in der Hegeplanung .....                                                                    | 119 |
| 6.3    Vorstellung der Benutzeroberfläche .....                                                                              | 121 |
| 6.3.1    Standardmodus .....                                                                                                 | 121 |
| 6.3.2    Expertenmodus.....                                                                                                  | 133 |
| 6.4    Anwendungsbeispiele .....                                                                                             | 145 |
| 6.4.1    Standardmodus .....                                                                                                 | 146 |
| 6.4.2    Expertenmodus.....                                                                                                  | 165 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Danksagung .....           | 174 |
| Literaturverzeichnis ..... | 175 |

# Vorwort

Das vorliegende Skript fasst wesentliche Grundlagen der anglerischen Hegeplanung vor dem Hintergrund aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse zusammen; es verschriftlicht die Besatzfisch-Informationsseminare, die im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung 2016 geförderten Projekts Besatzfisch 2.0 (Förderkennzeichen 01UU1501) im Jahre 2016 an sechs Standorten in Deutschland durchgeführt worden sind. Es ist Versuch unternommen worden, die wesentlichen Erkenntnisse und Empfehlungen in Bezug auf die Hege von Angelgewässern so populärwissenschaftlich wie möglich auf Basis des aktuellen Wissensstands darzustellen. Entsprechend wird aus Gründen der Lesbarkeit auf das ausführliche Zitieren der Primärliteratur verzichtet (diese findet sich z. B. in Arlinghaus et al. 2015). Lediglich besonders wichtige oder kontroverse Statements werden mit Literaturbelegen versehen. Das Skript ersetzt auch nicht die Notwendigkeit der Lektüre der hegerischen Fachliteratur (z. B. Baer et al. 2007, Arlinghaus et al. 2015) und der Primärliteratur zur Wirksamkeit bestimmter Hegemaßnahmen wie Besatzmaßnahmen (Hühn et al. 2014) oder Entnahmefenster (Gwinn et al. 2015).

Die vorliegende Dokumentation ist in sechs Kapitel gegliedert. Nach der Zusammenfassung der wesentlichen Aussagen in zehn Kernbotschaften, legt Kapitel 1 die Grundlagen der Fischpopulationsdynamik. Dieses Verständnis ist wichtig für die Planung der Hege über Schonmaßnahmen und Fischbesatz, die im Detail in Kapitel 4 und 5 dargestellt werden. Kapitel 2 präsentiert das wesentliche Konzept der lernfähigen Hege und Pflege (adaptives Management) und führt einfache Möglichkeiten des Fischpopulationsmonitorings über Fangstatistiken ein. Kapitel 3 erlaubt dem Anwender, prinzipiell geeignete Hegevorgehen zu bestimmen, deren Ausprägung in Kapitel 4 zu Schonbestimmungen und Kapitel 5 zur Planung und Durchführung von Besatz im Detail gewürdigt werden. Das 6. und letzte Kapitel widmet sich der Vorstellung einer Hegeplansoftware, die die Wirkungsweise von Schonbestimmungen und Fischbesatz modelliert. Insofern kann die kostenlos im Internet verfügbare Software ([www.besatz-fisch.de](http://www.besatz-fisch.de)) benutzt werden, um die in Kapitel 4 und 5 getätigten Aussagen in einem Modell zur Planung einer lernfähigen Hege und Pflege nachzuvollziehen. Um die Nutzung der Software zu verstehen, dient Kapitel 6, das unbedingt vor der Anwendung der Software zu lesen ist.

Die vorliegende Dokumentation geht im Detail auf Schonmaßnahmen und Fischbesatz ein. Gleichsam wird wiederholt auf die wesentliche Bedeutung des Lebensraumsmanagements eingegangen. Die Wirksamkeit der Aufwertung von Lebensräumen (Habitaten) ist gerade in Fließgewässern gut untersucht, aber es findet sich noch relativ wenig Literatur zur Effektivität praxisnaher Möglichkeiten der Lebensraumaufwertung in Standgewässern. Auch hat Besatzfisch zu dem Thema nicht im Detail geforscht. In einem seit Juni 2016 laufenden Folgeprojekt namens Baggersee wird ein Teil der Autoren entsprechende Grundlagen im Detail untersuchen, so dass zu einem späteren Zeitpunkt auch ein Kapitel zu konkreten Aussagen zum Lebensraummanagement erwartet werden kann. In vorliegender Dokumentation das Thema Habitatmanagement hingegen nur am Rande gestreift, auch weil der Bewirtschafter selten in der Lage sein wird, großflächige Verbesserungen der Lebensräume in Eigenregie anzugehen. Entsprechend fokussiert das Skript auf Schonmaßnahmen und Besatz.

Viel Spaß mit der Lektüre des Skripts und viel Geschick bei der künftigen Hege und Pflege der Angelgewässer! Rückmeldungen zur Verständlichkeit oder Verbesserungsvorschläge sind sehr willkommen (Kontakt über [www.besatz-fisch.de](http://www.besatz-fisch.de) oder [www.ifishman.de](http://www.ifishman.de)).

# **10 Kernbotschaften für eine nachhaltige anglerische Hege**

## **1. Angeln und Naturschutz sind vereinbar**

In Vereinen und Verbänden organisierte Angler sind Deutschlands wichtigste Heger und Pfleger (Manager) der Fischbestände. Eine fachgerechte Hege und eine nachhaltige fischereiliche Gewässernutzung sind im Einklang mit dem Natur- und Fischartenschutz.

## **2. Fischbesatz ist kein Allheilmittel**

Fischbesatz ist in vielen Fällen fischereilich wirkungslos und gleichzeitig mit Risiken für den Erhalt der biologischen Vielfalt verbunden. Nur wenn die natürliche Reproduktion stark eingeschränkt ist oder sogar fehlt, ist Fischbesatz die Hegemethode der Wahl. Bei ausgestorbenen Fischarten gibt es kaum Alternativen zu Besatz, insbesondere wenn die natürliche Wiederbesiedlung unmöglich ist.

## **3. Schützt die großen Fische**

Große Fische haben eine große ökologische und soziale Bedeutung: Sie verfügen über eine hohe Fruchtbarkeit und wirken bestandsstabilisierend. Zudem sind sie Zielobjekte vieler Angler. Besonders die großen Laichfische sind durch geeignete Maßnahmen (z. B. durch Entnahmefenster oder eine insgesamt moderate Fischereisterblichkeit) in befischten Beständen so gut wie möglich zu erhalten.

## **4. Lebensraumverbesserungen und Regulierung der Befischung vor Fischbesatz**

Aufwertungen der Lebensräume und die Regulierung der Befischung sind zur Erhöhung der Fischbestände häufig langfristig erfolgversprechender als Fischbesatz. Denn Fischbesatz bekämpft in der Regel nur die Symptome der Fischbestandsrückgänge, nicht die Ursachen.

## **5. Satzfische sollten möglichst aus dem gleichen Einzugsgebiet stammen**

Satzfische sollten dem Gewässer ökologisch und genetisch nahe stehen und idealerweise aus diesem gewonnen werden. Ansonsten kann es durch die Vermischung von an unterschiedliche Gewässer angepassten Populationen regional zum Verlust genetischer Vielfalt und sogar zur Abnahme der Produktivität des besatzgestützten Bestands kommen.

## **6. Satzfische sollten so groß wie nötig und so klein wie möglich sein**

Besatz von Fischbrut oder Jungfischen ist nicht zwangsläufig die beste Fischbesatzform. Gerade wenn Überlebensengpässe im Brut- oder Jungfischstadium existieren, ist der Besatz mit natürlich aufgezogenen, gesunden, größeren Fischen fischereilich angeraten. Allerdings gilt: Je länger Fische in Fischzuchten gehalten werden, desto geringer ist die Überlebenswahrscheinlichkeit in der Natur und desto rascher ist der Wiederfang durch Angler. Darum: Besetze so groß wie nötig und so klein wie möglich.

## **7. Eine aussagekräftige Fangstatistik erhebt Fänge und Fangaufwand**

Ein sehr gutes Maß zur Einschätzung der Fischbestandsentwicklung ist die Erfassung des sogenannten Einheitsfangs. Im Gegensatz zu traditionellen Entnahmestatistiken werden hierbei die Fänge pro Fangaufwand (d. h. der gefischten Zeit) erhoben und nicht nur die Gesamtzahl entnommener, maßiger Fische. Dies ermöglicht aussagekräftige Rückschlüsse auf die Größe der Fischbestände und Fischbestandsentwicklungen. Natürlich müssen auch untermaßige Fische erfasst werden, um Informationen über die natürliche Reproduktion oder das Überleben von Jungfischbesatz zu erhalten.

## **8. Behalte das Anglerwohl und gleichzeitig die Fischbestandsentwicklung im Blick**

Jede angelfischereiliche Hegemaßnahme führt in der Anglerschaft zu Reaktionen (z. B. ein erhöhter Angelaufwand nach Besatz). Auch sind die Interessen und Ziele unterschiedlicher Anglertypen häufig sehr verschieden. Eine vorausschauende Bewirtschaftungsplanung berücksichtigt die Interessen und Reaktionen

verschiedener Anglertypen, um Wege zu finden, Anglerwohl und Fischbestandserhalt in Einklang zu bringen.

### **9. Hege nach dem Prinzip: Versuch macht klug**

Für die anglerische Gewässerbewirtschaftung und speziell das Fischbesatzmanagement empfiehlt sich das Grundprinzip der lernfähigen Hege. Dabei wird der Erfolg jeder Hegemaßnahme in verschiedenen Schritten überprüft. Dazu gehört, das natürliche Aufkommen der Zielfischarten regelmäßig zu erfassen und daraus auf die Besatznotwendigkeit zu schließen.

### **10. Wage Vielfalt statt Einheit**

Die Eigenschaften von Gewässern sowie die Erwartungen und Ziele verschiedener Anglertypen sind sehr unterschiedlich. Einzelne Hegemaßnahmen, die über ganze Regionen in allen Gewässern gelten, führen daher meist zu suboptimalen Ergebnissen. Stattdessen sind fischereiliche Hegemaßnahmen an unterschiedliche ökologische Gegebenheiten und soziale Bedingungen variabel anzupassen und regelmäßig auf den Prüfstand zu stellen. Auch die biologische Vielfalt und die Alters- und Größenklassenvielfalt von Beständen ist unbedingt zu erhalten.



# **1 Fischereibiologische Grundlagen der Ertragsbildung**

## **1.1 Grundlagen der Fischpopulationsdynamik**

Jede Fischpopulation natürlicher Gewässer setzt sich aus verschiedenen Altersklassen (Kohorten bzw. Jahrgängen) zusammen, die zusammengenommen den Fischbestand (in Stückzahl bzw. Biomasse) bilden. Aus jedem sich natürlich reproduzierenden Fischbestand kann über die Angelfischerei ein bestimmter Biomasse- oder Stückzählertrag jährlich entnommen werden (die sogenannte Überschussproduktion), ohne dass die genutzte Population zusammenbricht (Barthelmes 1981). Um zu verstehen, wie die fischereiliche Ertragsbildung bzw. die Überschussproduktion, die über den Ertrag abgeschöpft werden kann, funktioniert und wie der Fischbestand in der Lage ist, die fischereiliche Sterblichkeit zu kompensieren, ist es sinnvoll, sich die drei wesentlichen Prozesse anzuschauen, die die Populationserneuerung und den Zuwachs von Biomasse auf der Ebene der Population bestimmen. Diese drei Prozesse sind:

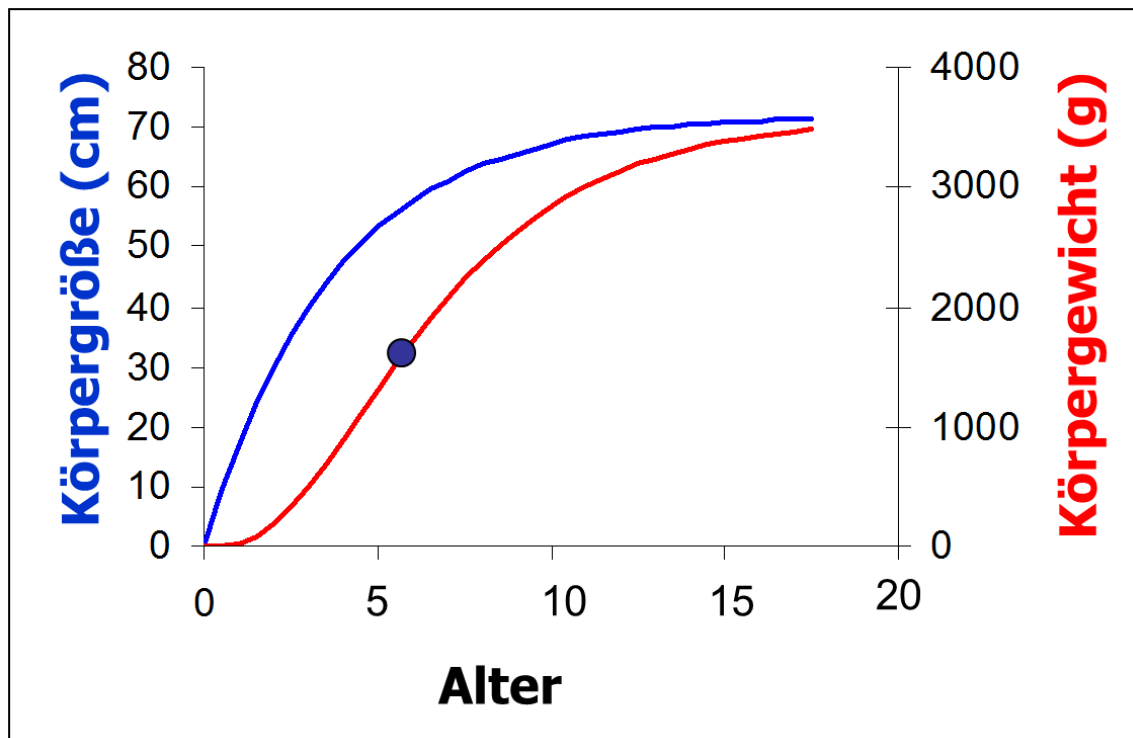
- Individuelles Wachstum
- Rekrutierung
- Natürliche und fischereiliche Sterblichkeit

Will man Effekte bestimmter Hegemaßnahmen, der Befischung oder von Änderungen der Lebensräume auf Fischbestände verstehen, müssen stets die Veränderung der Wachstums-, Reproduktions- und Sterblichkeitsraten zusammengenommen angeschaut werden. Der Schlüssel zum Verständnis der Populationsdynamik von Fischen ist die Dichteabhängigkeit aller drei Prozesse, das heißt die Menge an Fischen in einem gewissen Jahr bestimmt die entsprechenden Raten (Wachstum, Rekrutierung, Sterblichkeit) in einer dynamischen (d. h. über die Jahre variablen) Weise. Die Dichteabhängigkeit ist der Schlüssel zum Verständnis sowohl der Kompensationsfähigkeit von Fischpopulation (z. B. Reaktion auf Entnahme und damit verbundene Ausdünnung des Bestands) als auch der Reaktion von Beständen auf vom Menschen ausgelöste Dichteänderungen wie bei intensiven Besatz der Fall.

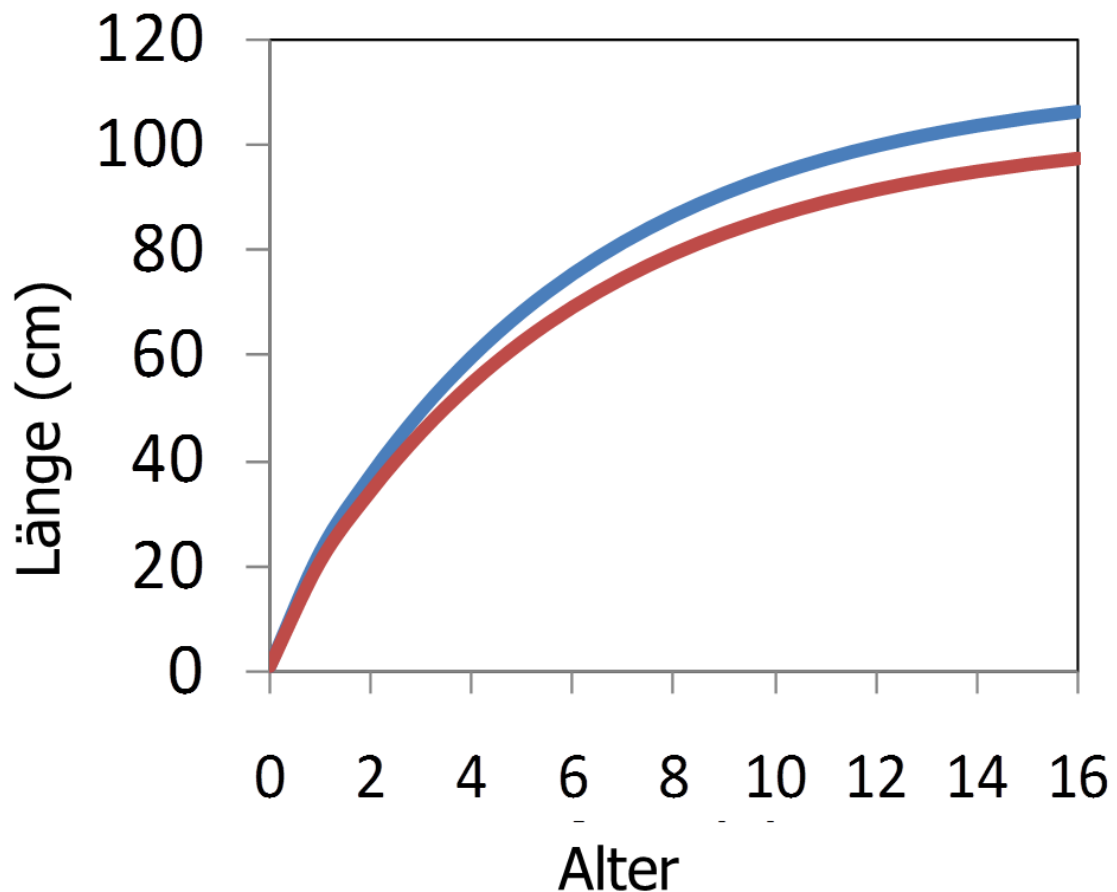
*Wachstumsrate*: Fische wachsen im Juvenilstadium mehr oder weniger linear mit dem Alter, weil die gesamte Überschussenergie in das Körperwachstum investiert wird (Abbildung 1). Die individuelle Wachstumsrate nimmt nach dem Eintritt in die Geschlechtsreife ab, weil der Fisch dann Energie in die Reproduktion investiert, die nicht mehr für das Körperlängenwachstum zur Verfügung steht. Allerdings wachsen die meisten Fische im Unterschied zum Menschen ihr Leben lang auch in die Länge, der Längenzuwachs bei alten Fischen ist aber meist sehr gering und kann bei Futterknappheit auch stagnieren (Abbildung 1). Mit der Länge nimmt die Masse eines Fisches exponentiell zu (Länge ist bei den meisten Arten proportional zur Masse<sup>3</sup>). Stellt man nun das Wachstum von Fischen nicht als Beziehung von Alter und Länge, sondern als Beziehung von Alter und Körpermasse dar, sieht man, dass mittelalte Fische den höchsten Körpermassezuwachs pro Jahr haben (Abbildung 1). Daraus darf aber nicht schlussfolgert werden, dass alte Fische unproduktiv sind. Im Gegenteil: die Gesamtproduktion (Biomasseproduktion pro Zeit) schließt auch die Produktion von Eiern und Milch mit ein, die in Abbildung 1 nicht separat dargestellt ist. Wenn man diesen Teil der Gewebeproduktion ebenfalls berücksichtigt, sinkt die Produktivität von Fischen nicht mit der Länge bzw. dem Alter, sondern sie steigt an (und zwar proportional nach der Beziehung  $\text{Masse}^{0.66}$ , Lester et al. 2004). Alte Fische sind also insgesamt produktiver als junge Fische, wohingegen der Körpermassezuwachs pro Jahr – also die Produktion von „abschöpfbaren Fischfilets“ - bei mittelalten bzw. mittelalten Fischen am größten ist. Froese et al. (2016) geben als Faustzahl für die maximale Ertragsfähigkeit im Sinne der abschöpfbaren Biomasse (Fischfilet) eine Länge von ca. 2/3 der Maximallänge an. Die Maximierung der Ertragsfähigkeit ist vor allem unter berufsfischereilichen Bedingungen ein wichtiges Hegeziel, während in der Angelfischerei auch andere Hegeziele von Bedeutung sind, wie z. B. der Erhalt möglichst großer Fische (Hilborn 2007, Arlinghaus et al. 2014). Entsprechend ist eine Ausrichtung der Hege ausschließlich auf die Förderung der besonders schnell wachsenden mittelalten Kohorten nicht zwangsläufig optimal (s. dazu später mehr).

Eine Besonderheit des Wachstums von Fischen ist ihre Abhängigkeit von der Futterverfügbarkeit (sogenanntes dichteabhängiges Wachstum). Nimmt die Menge an Konkurrenten der eigenen Art zu, verringert sich die Verfügbarkeit von Nahrung für jedes Tier und damit sinkt auch die individuelle Zuwachsrate (Abbildung 2). Das dichteabhängige Wachstum ist für die Einschätzung von Fischbesatzeffekten bzw. für

die Erklärung, wie Fischbestände die Ausdünnung durch die Fischerei kompensieren, von besonders großer Bedeutung (s. dazu weiter unten und Kapitel 5). Werden beispielsweise zu viele Fische ausgesetzt, reduziert sich das Längenwachstum und die Kondition, so dass die Fruchtbarkeit sinkt und die Sterblichkeit ansteigt.



**Abbildung 1** Allgemeine Beziehung zwischen Alter und Körperlänge (linke Y-Achse) bzw. -masse (rechte Y-Achse) bei Fischen. Bei mittelalten Fischen ist der Biomassezuwachs am größten (blauer Punkt).



**Abbildung 2** Stilisiertes Längenwachstum von Hechten bei hoher (rot) und geringer (blau) Konkurrenz um Nahrung. Die Dichteabhängigkeit des Wachstums kann zu noch größeren Unterschieden im Längenwachstum führen als in der Abbildung dargestellt wird.

*Rekrutierung:* In der Fischereibiologie ist ein Rekrut ein Fisch, der in den Fang hereinwächst. Beispielsweise werden Hechte erst mit 30 oder 40 cm Totallänge im Fang auftauchen unabhängig von den herrschenden Mindestmaßen. Entsprechend wäre ein Rekrut beim Hecht ein Fisch mit etwa 30 – 40 cm Totallänge. Die Rekrutierung von Fischen wird wesentlich im ersten Lebensjahr bzw. im Jungfischstadium bestimmt. Die Höhe des Jungfischaufkommens hängt von einem komplexen Gefüge abiotischer und biotischer Faktoren ab. Die Höhe der Rekrutierung ist daher meist sehr schwer vorherzusagen, weil viele Zufallsprozesse (z. B. Temperatureinbrüche im Frühjahr oder Abflussgeschehen) eine wesentliche Rolle beim der Rekrutierung spielen, unabhängig davon, wie viele Eier der Laichfischbestand abgegeben hat und auch unabhängig davon, wie viele Laichfische

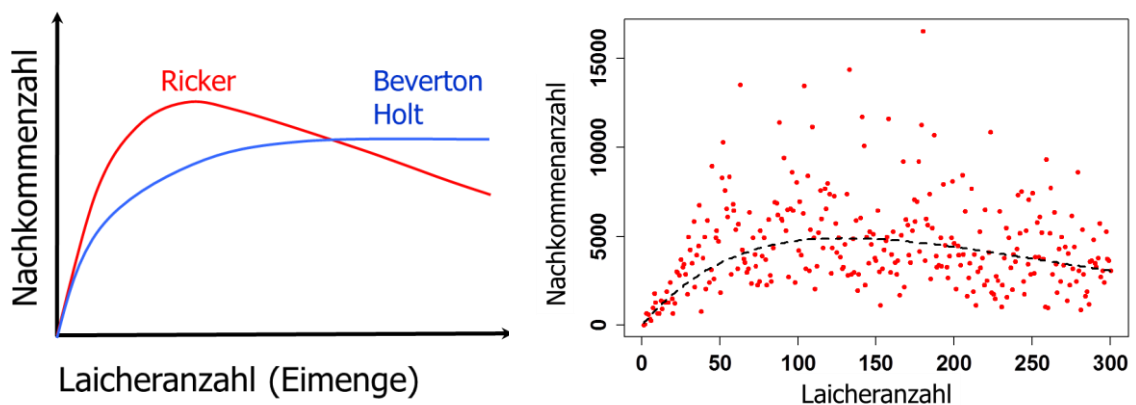
am Laichgeschehen beteiligt waren. Zusätzlich hängt die Höhe der Rekrutierung aber bei vielen Arten auch von der Gesamtzahl abgegebener Eier, d. h. von der Größe des Laicherbestands und seiner altermäßigen Zusammensetzung, ab (Abbildung 3). Der Zusammenhang zwischen dem Laicherbestand und den sich aus den abgegebenen Eiern entwickelnden Jungfischen – die sogenannte Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung - ist insbesondere bei geringen Laicherbiomassen (und damit verbundenen geringen absolut über den Gesamtbestand abgegebenen Eizahlen) vergleichsweise eng ausgeprägt (Abbildung 3 rechts). Der Zusammenhang zwischen Laicherbestandshöhe und Rekrutierung an Jungfischen schwächt sich mit steigenden Laicherbiomassen ab, so dass man rasch den Anschein erhalten kann, dass das Jungfischauftreten ausschließlich von Zufallsprozessen, nicht aber von der Höhe des Laichfischbestands abhängig ist. In diesem Zusammenhang wichtig zu bemerken ist, dass bei hohen Laicherbiomassen über einen breiten Laicherbestandsbereich die Rekrutierung im Mittel ähnlich hoch ist, d. h. zufällig um die maximale Rekrutierungshöhe schwankt (Abbildung 3). Weil aber große Laichfischbestände auch eine höhere Eiabgabe realisieren, bedeutet dieser Zusammenhang, dass bei abnehmenden Laicherbeständen die Sterblichkeit der Jungfische zurückgehen muss. Dies ist ein klarer Beleg der für Fische typischen Dichteabhängigkeit der juvenilen Sterblichkeit (Walters & Martell 2004): je dichter ein Bestand, desto höher ist die Sterblichkeit im Larven- und Jungfischstadium durch Konkurrenz- und Prädationseffekte.

Wie viele Jungfische in einem Gewässer aufkommen und in den Fang hineinwachsen, hängt eng mit der Anzahl und Qualität der Jungfischlebensräume und auch mit dem Futterangebot zusammen. Selbstverständlich ist auch die Anzahl und Qualität der Laichlebensräume wichtig, bei vielen Arten ist der wesentliche Engpass aber im Jugendfischstadium zu suchen, nicht im Laichhabitat (Minns et al. 1996, Ausnahmen finden sich vor allem bei kieslaichenden Fischen in stark verbauten Gewässern). In der Regel regulieren sich alle Fischbestände spätestens im Jungfischstadium auf eine dem Gewässer entsprechende Fischmenge (die Tragekapazität) herunter; das ist ein Resultat der bereits angesprochenen stark dichteabhängigen Sterblichkeit im Juvenilstadium. Wäre dies nicht so, wären alle Gewässer angesichts der besonders hohen Fruchtbarkeit vieler Fischarten überfüllt. Die entsprechende Beziehung zwischen Laicherbestand und Rekrutenanzahl folgt beim Vorliegen eines Maximums an Rekruten der sogenannten Beverton-Holt-

Beziehung (Abbildung 3 links). Die meisten Fische, z. B. Cypriniden, folgen diesem Zusammenhang. Bei kannibalistischen Raubfischarten und bei einigen Salmoniden (wegen der Zerstörung von Laichbetten, wenn viele Laicher auf die begrenzten Laichplätze wandern) sinkt die Zahl der Nachkommen unabhängig vom Zustand der Lebensräume bei sehr hohen Laicherabundanzen wieder (Abbildung 3 links). Man spricht von der sogenannten Ricker-Beziehung, die z. B. bei Zandern, Lachsen und Hechten nachgewiesen worden ist. Beide genannten Zusammenhänge zwischen Laicherbestand–und– Rekrutierung folgen dichteabhängigen Prozessen – ändert sich die Menge an Laichfischen, ändert sich auch die Rekrutierung durch die Veränderung des Überlebens im ersten Lebensjahr. Bei geringen Laicherbiomassen und entsprechend geringen Eizahlen, ist die Überlebensrate der schlüpfenden Brut in der Regel hoch, werden viele Eier abgelegt, ist die Überlebensrate gering. Überdies wirken auf Eier eine Vielzahl dichteunabhängiger Einflüsse wie z. B. das von Zufallsprozessen gesteuerte Zusammentreffen von Schlupfzeitpunkt und Futterangebot an Zooplankton. Entsprechend gering ist die Überlebensrate der meisten Larven, meist überleben weniger als 0,01% aller abgelegten Eier, unabhängig von der Zahl der Eier (bzw. der Laicher). Anders ausgedrückt –selbst wenn die Fruchtbarkeit der meisten Fische sehr hoch ist, kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass nur die wenigsten Nachkommen selbst geschlechtsreif werden, (fast) egal, wie viele Eier ein Bestand abgegeben hat. Wichtig ist dann die Erkenntnis, dass obwohl nur wenige Laicher theoretisch ausreichen, ein ganzes Gewässer mit Jungfischen zu füllen, schlussendlich ein Bündel von dichteunabhängigen Einflussfaktoren auf das Überleben der Eier und Larven einwirkt. Dies trägt dazu bei, dass (meistens) nur relativ wenige Tiere durchkommen und in den Fang einwachsen. Daher ist es trotz aller Unsicherheit zur Existenz einer Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung (die nur mit sehr langen Zeitreihen überhaupt nachweisbar ist, Walters & Martell 2004) sinnvoll, stets genügend Laichfische im Bestand zu erhalten, um eine stabile Reproduktion zu gewährleisten, die zufällige Umweltereignisse abpuffern kann (im Fachchinesisch spricht man von der Umgehung der demographischen Stochastizität). Wenn man mindestens 35 % der Laicherbiomasse eines unbefischten Bestands im genutzten Bestand erhält, wird die sogenannte Rekrutierungsüberfischung effektiv verhindert (Allen et al. 2013).

Neue Studien zeigen, dass es für die Stabilität der Rekrutierung wichtig ist, dass der Laicherbestand nicht nur hoch ist, sondern dass er auch aus möglichst vielen

Längen- und Altersklassen und nicht nur aus jungen Erstlaichern kleiner als das Mindestmaß zusammengesetzt ist (z. B. Hsieh et al. 2010, Botsford et al. 2014). Beispielweise ist die Zahl der Rekruten beim Zander 3-fach höher, wenn die gleiche Eimenge von einem breiten Altersklassenbestand abgegeben wird im Vergleich zur Situation, wenn die gleiche Eimenge nur von jungen Erstlaichern abgelacht wird (Arlinghaus et al. 2008). Über die zugrundeliegenden Mechanismen besteht in der Literatur noch Uneinigkeit (Anderson et al. 2008, Botsford et al. 2014), aber es ist inzwischen unstrittig, dass stark verjüngte, produktive Bestände destabilisieren. Diese Ergebnisse betonen die wichtige und meist unterschätzte ökologische Bedeutung großer Laichtiere (Arlinghaus 2006), weswegen zu diesem Komplex etwas weiter ausgeholt wird.



**Abbildung 3** Stylisierte Zusammenhänge zwischen der Laicheranzahl und der Nachkommenzahl (Zahl der Rekruten) (links) und stochastische Realität der Rekrutierung in den meisten Gewässern (rechts). Die Zufallsereignisse bei der Rekrutierung führen dazu, dass bei mittleren und hohen Laicheranzahlen der Zusammenhang mit der Nachkommenzahl nicht mehr augenscheinlich wird. Sinkt die Laicheranzahl aber auf sehr geringe Werte, zieht das in der Regel auch Einbußen für die Nachkommenzahl nach sich, die fischereibiologisch nicht gewünscht sind. Rekrutierungsüberfischung verhindert man effektiv dadurch, dass mindestens 35 % der Laicherbiomasse eines unbefischten Bestands im genutzten Bestand verbleiben.

„Am großen Hecht erkennt man den schlechten Fischer“ (Schäperclaus 1960). Mit dieser griffigen Aussage soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die großen Fische im Sinne der abschöpfbaren Biomasseproduktion weniger ertragreich sind als kleinere Fische (Abbildung 1) und daher Bestände mit vielen großen Fischen als „unterfischt“ bzw. „schlecht befischt“ zu charakterisieren sind. Dies gilt allerdings nur für Fische mit Reproduktionsüberschuss (Schäperclaus 1960) und auch nur dann, wenn das Hegeziel die Abschöpfung maximaler Fischbiomassen umfasst, ohne

weitergehende Beachtung der ökologischen Rolle verschiedener Arten im Nahrungsnetz oder sozio-ökonomischer Erwägungen (z. B. Erwartungen von Anglern an die Präsenz bestimmter Fischlängen in Beständen). Diese Bedingungen treffen insbesondere auf teichwirtschaftliche Produktionsbedingungen zu, wo die Reproduktion über das Aussetzen von Satzfishen unbegrenzt ist, Effekte der Zielart auf andere Glieder im Nahrungsnetz irrelevant sind und populationsdynamisch lediglich Wachstum und Sterblichkeit die Ertragsbildung bestimmen, die maximiert werden soll. Unter diesen Bedingungen maximiert tatsächlich die Bewirtschaftung mit mittelalten Fischen die Erträge. All das trifft aber nur begrenzt oder gar nicht auf natürliche Bedingungen in Seen und Flüssen und auf die Angelfischerei zu. In der Natur ist es z. B. keinesfalls sicher, dass die Fischbestände in jedem Jahr einen Reproduktionsüberschuss realisieren, weil es wie bereits ausgeführt hohe dichteunabhängige Sterblichkeiten im Ei- oder Junghechtstadium gibt, z. B. als Folge unvorhergesehener Wetterbedingungen. Und wenn zusätzlich, wie in der Angelfischerei üblich, die Hegeziele auf die Maximierung des numerischen Ertrags (Zahl der Fische) und den Erhalt der Fangaussicht großer, kapitaler Tiere ausgelegt sind (Arlinghaus et al. 2010), verliert der Schäperclausche Lehrsatz weiter an Bedeutung, und die Bedeutung des Schutzes der großen, besonders fruchtbaren Tiere gewinnt aus ökologischen und anglerischen Gründen an Relevanz (Gwinn et al. 2015). Entsprechend wird an dieser Stelle eine Modifikation des Schäperclauschen Lehrsatzes für die Angelfischerei vorgeschlagen: **„Unter natürlichen Bedingungen erkennt man am großen Hecht die gute angelfischereiliche Hege“**.

Große Fische investieren ihre Überschussenergie wie bereits bemerkt tatsächlich nicht in Wachstum, sondern in die Produktion von Eiern. Sie sind daher keinesfalls unproduktiv, sie investieren nur anders in künftige Generationen. Für die Erneuerung der Bestände kann diese Eiinvestition sehr wichtig sein und als Puffer gegen Bestandsschwankungen wirken (Le Bris et al. 2015). Bei den meisten Fischen gibt es einen linear positiven Zusammenhang zwischen der Masse und der Eizahl, entsprechend überproportional steigt die Eizahl mit der Fischlänge an, weil die Masse mit dem Exponent von ca. 3 mit der Länge ansteigt. Auch die Laichqualität großer Fische geht unter natürlichen Bedingungen nicht wie häufig behauptet zurück, sondern bleibt auch bei Fischen im letzten Drittel ihres Lebens unverändert hoch (Arlinghaus et al. 2010, Frauenstein 2012, Kotakorpi et al. 2013). Gleichzeitig ist die



Sterberate der größeren Fische deutlich geringer als die der kleineren (s. unten), so dass Laichfische, die eine bestimmte „sichere“ Länge erreicht haben, mehrere Jahre als Garant für die Gewährleistung der Eiablage dienen. Diverse aktuelle Studien belegen, dass vor allem Erstlaicher bei Fischen eine geringere Laichqualität aufweisen als die älteren Mehrfachlaicher (zusammengefasst in Arlinghaus 2006). Studien in Teichen zeigten, dass die Überlebensrate der Nachkommen großer Hechte und Zander deutlich höher war als die der Larven von Erstlaichern (Venturelli et al. 2010, Frauenstein 2012). Häufig kolportierte Aussagen von Fischzüchtern (und einigen Behördenvertretern), dass die Eiqualität großer Fische (unter künstlichen Aufzuchtbedingungen) geringer ist als die von mittelalten Laichfischen, haben für die Situationen unter befischten natürlichen Bedingungen nur eine geringe bzw. gar keine Relevanz, da in der Natur völlig andere Selektionsbedingungen herrschen als in der Fischzucht. Unter Zuchtbedingungen in Zugergläsern oder Brutrinnen überleben tatsächlich vor allem die kleinen Eier (z. B. Heath et al. 2003), entsprechend höher erscheint die Eiqualität der kleinen und mittleren Laicher in künstlichen Erbrütungsversuchen, weil bei den meisten Fischen mit der Größe auch die Eigröße ansteigt (Frauenstein 2012, Arlinghaus et al. 2010). In der Natur hingegen steigt mit der Fischlänge nicht nur die Eigröße, sondern nimmt auch der gonadosomatische Index zu (Edeline et al. 2007). Alle verfügbaren Studien zur relativen Reproduktionsleistung unterschiedlich langer Tiere unter naturnäheren oder sogar natürlichen Bedingungen belegen entsprechend eine höhere oder mindestens gleich hohe Nachkommensproduktion großer Fische gegenüber kleineren Fischen und eine höhere Reproduktionsleistung gegenüber Erstlaichern (Pagel 2009, Arlinghaus 2006, Frauenstein 2012). Es sind aber insbesondere die Erstlaicher, die in scharf befischten Beständen mit Mindestmaßen den Laicherbestand bilden. Bestände mit einer breiten Altersstruktur sind entsprechend nachgewiesenermaßen produktiver als ein stark verjüngter Laichfischbestand. Übrigens hätte die Natur Langlebigkeit und damit verbunden den Aufbau einer breiten Altersstruktur evolutionsbiologisch nicht hervorgebracht, wenn es nicht positive Wirkungen auf die individuelle Fitness und zusammengefasst positive Wirkungen auf den Populationserhalt hätte. Bereits Schäperclaus (1960) räumte ein, dass der Indikatorwert des „großen Hechts“ als Anzeiger für schlecht befischte Bestände bei rekrutierungslimitierten Beständen nur eingeschränkt zutrifft – eine Einschätzung, die durch die neue Studienlage gestützt wird. Es ist daher problematisch, wenn ein

aktuelles Praxisbuch für den Gewässerwart diese neuen (und zugleich auch alten) Erkenntnisse zur reproduktiven Bedeutung großer Laichfische negiert und stattdessen wiederholt die für natürliche Gewässer überholte Faustformel „großer Hecht = schlechter Fischer“ präsentiert (Mattern 2015). Stattdessen sollte eine nachhaltige anglerische Hege dadurch gekennzeichnet sein, dass die Verjüngung von Beständen möglichst moderat erfolgt und ein möglichst naturnaher Altersklassenaufbau, der u. a. durch die Präsenz großer Tiere charakterisiert ist, erhalten bleibt.

*Überleben:* In der Fischbiologie ist wie bereits bemerkt die Überlebensrate von Fischen vor allem im Jungfischstadium von der Dichte abhängig. Gibt es große Konkurrenz, sterben auch viele Fische, sinkt die Konkurrenz überleben mehr. Darüber hinaus sind alle Fischbestände größenstrukturiert. Nach dem Motto – groß frisst klein – ist die Sterberate größenabhängig; die Sterblichkeitsrate nimmt mit der Fischlänge exponentiell ab (Abbildung 4). Entsprechend wirkt sich eine veränderte Dichte vor allem auf die Überlebensrate der Jungfische aus – erstens, weil Jungfische kleiner sind und daher grundsätzlich stärkerem Raubdruck unterliegen und zweitens, weil das dichteabhängige Wachstum bei erhöhter Dichte dazu führt, dass die Fische (noch) kleiner bleiben und entsprechend länger der größenabhängigen Sterblichkeit unterliegen (Abbildung 4). Ein Resultat der größen- bzw. altersabhängig unterschiedlichen Sterblichkeit ist, dass es in allen natürlichen Fischbeständen vergleichsweise viele Jungfische, aber nur wenige Adultfische gibt (was zur berühmten Alterspyramide führt), und dass die Abundanz (Fischmenge) exponentiell mit dem Alter bzw. der damit korrelierten Länge abnimmt (Abbildung 5). Die natürliche Sterblichkeit wird in der Fischereibiologie mit  $M$  abgekürzt und repräsentiert den Koeffizienten der exponentiellen Sterblichkeitsfunktion (Abbildung 5, Achtung, das ist kein prozentualer Wert). Der äquivalente Begriff für die fischereiliche Sterblichkeit ist  $F$ , so dass die Gesamtsterblichkeit  $Z = M + F$  ist. Bei den meisten Fischen ist die fischereiliche Sterblichkeit additiv (entnimmt man mehr Fische, erfolgt diese Entnahme zusätzlich zur natürlichen Sterblichkeit „oben drauf“), während bei Jungfischen die fischereiliche Sterblichkeit kompensatorisch wirkt (sterben mehr Fische, sinkt die natürliche Sterblichkeit) (Allen et al. 1998). Die in vielen fischereilichen Modellen typische Annahme additiver Sterblichkeit ist

konservativ, weil es einen Teil des Kompensationspotenzials von Fischen „unterschlägt“.

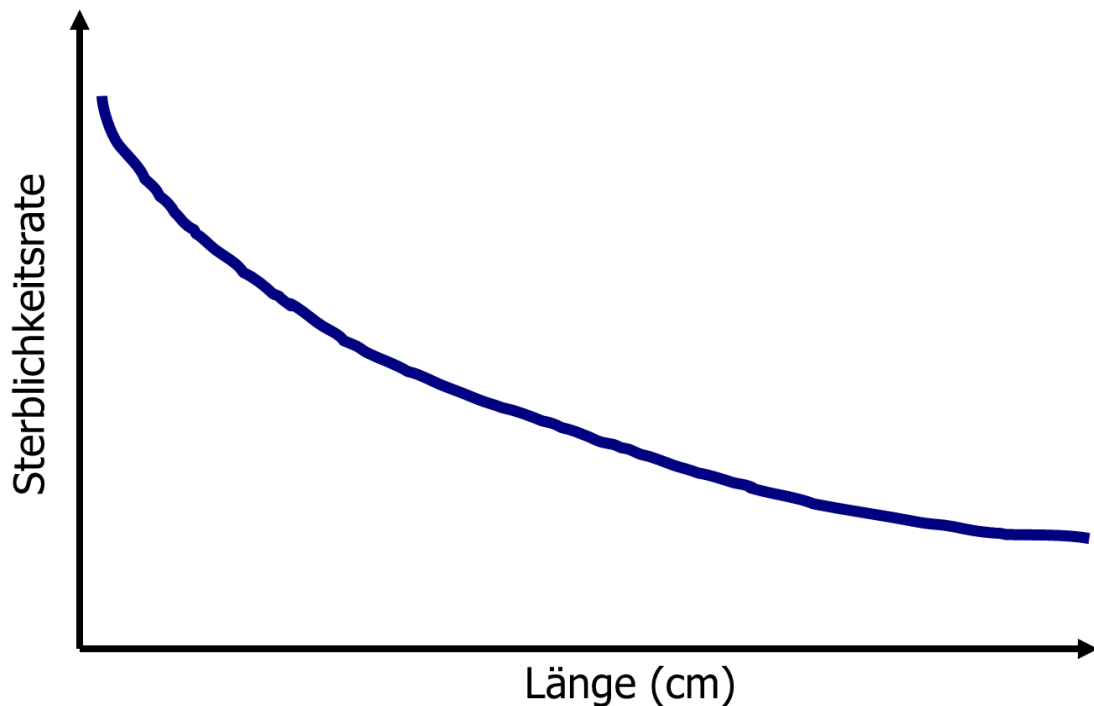


Abbildung 4 Typische längenabhängige Sterblichkeitsrate bei Fischen.

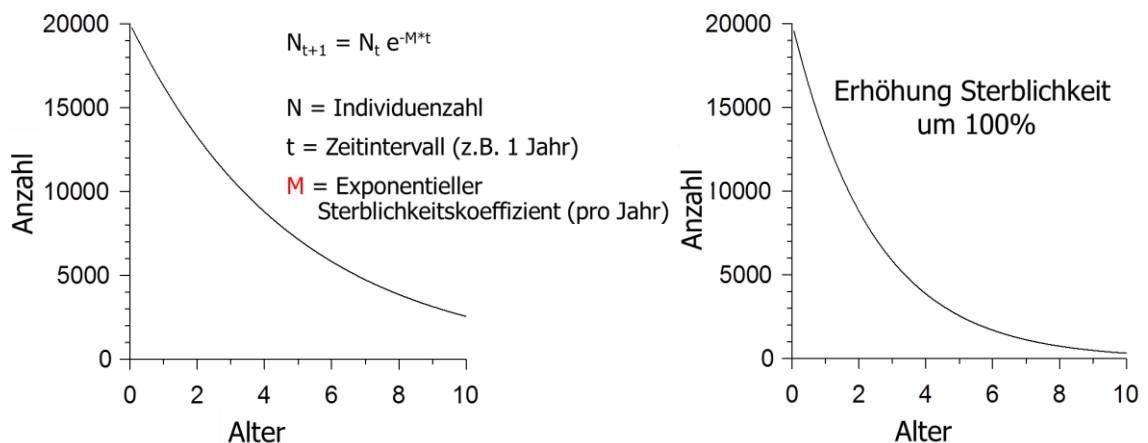
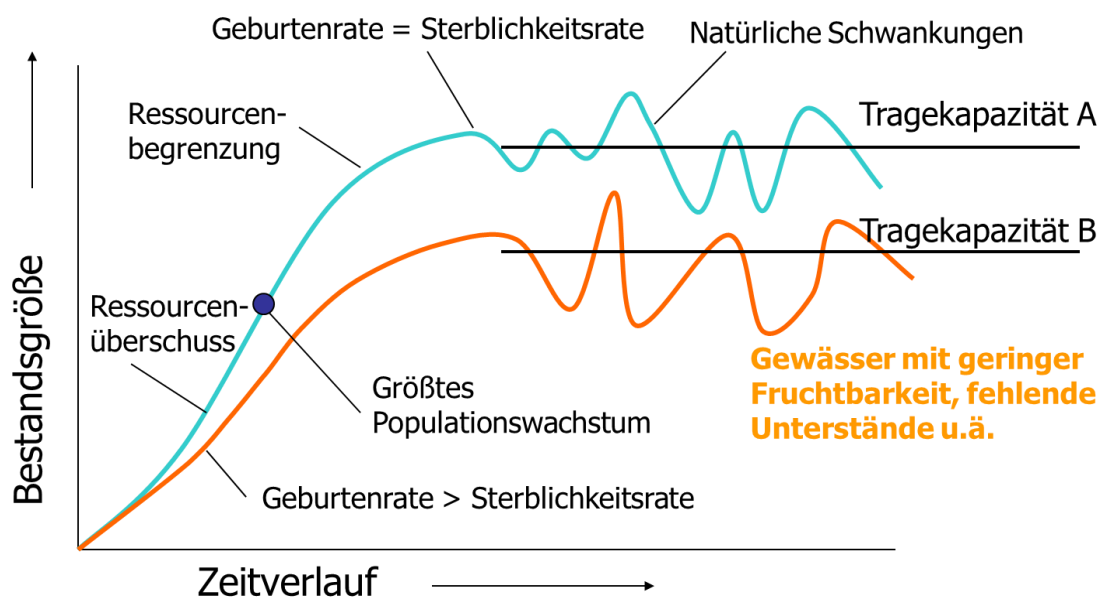


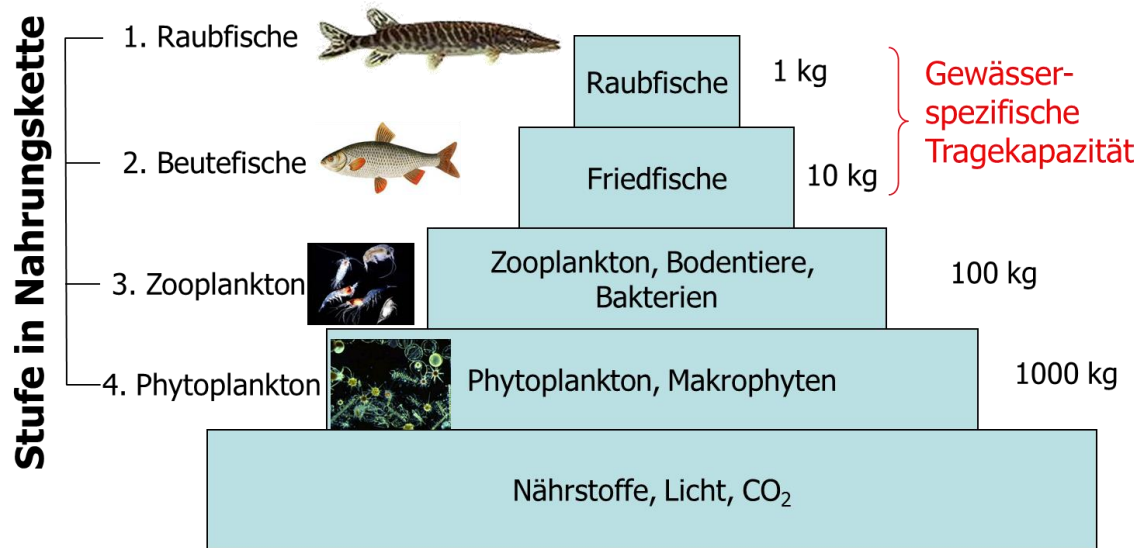
Abbildung 5 Abnahme der Fischhäufigkeit mit dem Alter in Abhängigkeit einer bestimmten, konstant angenommenen natürlichen Sterblichkeitsrate  $M$ . Rechts die Situation nach einer Erhöhung der Sterblichkeit um 100 %, z. B. durch Befischung. Die Anzahl an Fischen wird in der Fischereibiologie häufig mit  $N$  abgekürzt.

*Populationsdynamik:* Die Entwicklung der Gesamtpopulation über die Zeit und in Reaktion auf Einflussfaktoren wie Fischerei wird nun zentral von dem

Zusammenspiel der drei vorgestellten Prozessraten (Wachstum, Reproduktion, Sterblichkeit) gesteuert. Im Normalfall wird ein See nach einer gewissen Zeit einen Fischbestand ausbilden, der der verfügbaren Nahrung, den Unterständen und dem Raubdruck entspricht. Man spricht von dem Erreichen der gewässerspezifischen Tragekapazität in einem (dynamischen) Gleichgewicht (Abbildung 6). Weil die in einem Gewässer verfügbare Energie (über die Primärproduktion und damit über limitierende Nährstoffe wie Phosphor begrenzt) großen Verlusten (90 %) von einer Nahrungskettenstufe zu einer anderen unterlegen ist, ist es auch normal, dass es in einem Gewässer stets weniger Raubfische- als Friedfische gibt (Abbildung 7).



**Abbildung 6** Darstellung der Entwicklung eines Fischbestands nach der Initialbesiedelung eines Gewässers oder in Reaktion auf Bestandsausdünnung (was dem Wegbewegen von der Tragekapazität entlang der Kurve entspricht). Zunächst wächst der Bestand exponentiell, weil ein Ressourcenüberschuß vorfindlich ist. Nach dem Umkehrpunkt des größten Populationswachstums entsteht Ressourcenmangel. Am Ende pendelt sich die Population auf einem bestimmten Level ein – die sogenannte Tragekapazität. Jedes Gewässer hat je nach verfügbarer Nahrung usw. eine eigene Tragekapazität, die der Fischbestand in der Regel auch jährlich erreicht, wenn er nicht befischt wird. Natürliche Schwankungen um die Tragekapazität entstehen durch Zufallsprozesse wie Wettergeschehen. Man spricht vom Erreichen eines Gleichgewichts, das aber ein Stück weit dynamisch ist.



**Abbildung 7** Typische Biomassepyramide in Gewässern. Die Energie wird von einer Stufe zur nächsten nur mit einer Effizienz von rund 10 % übertragen.

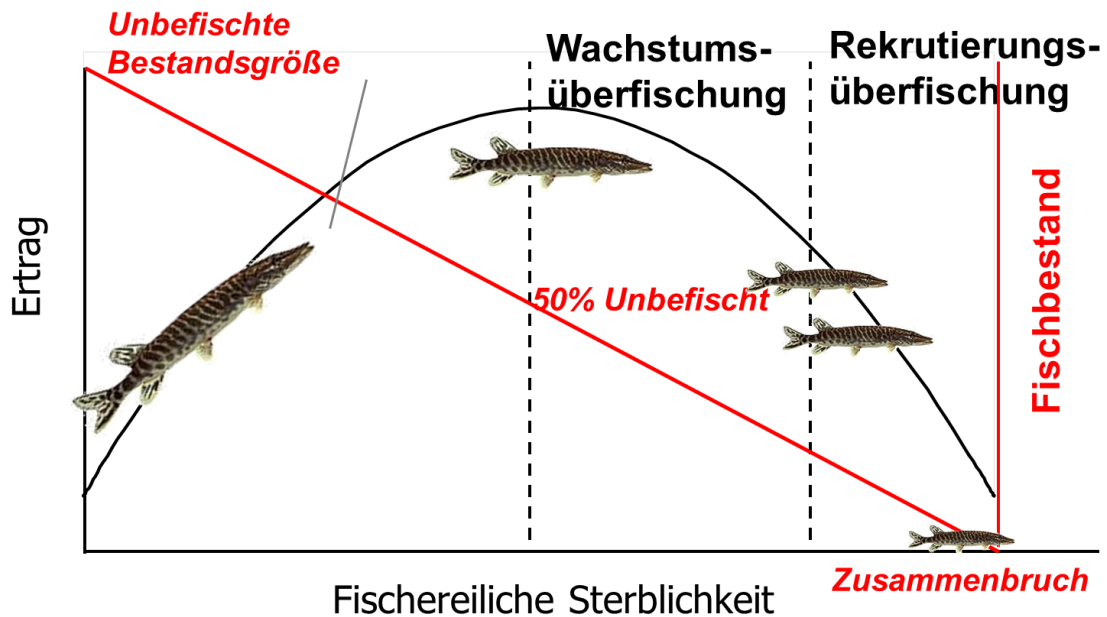
## 1.2 Die fischereiliche Ertragsbildung

Wie reagieren Fische auf die Entnahme, d. h. die Bestandsausdünnung oder anders gefragt, wie funktioniert die fischereiliche Ertragsbildung über die Kompensationspotenziale von Fischen? Hierzu ist es wichtig, sich zunächst zu vergegenwärtigen, dass Fische – wie oben ausgeführt – verschiedene Kompensationsmechanismen haben, um „Störungen“ (wie z. B. die Entnahme von Biomasse über die Fischerei) auszugleichen. Der wesentliche Begriff ist die Fähigkeit zur Dichtabhängigkeit von Wachstum, Rekrutierung und Sterblichkeit. Ein Fischbestand wird auf die Ausdünnung in der Regel mit folgenden kompensatorischen Anpassungen reagieren.

- Erhöhtes Wachstum der überlebenden Fische durch die verbesserte Nahrungsgrundlage und früherer Eintritt in die Geschlechtsreife;
- Erhöhtes Überleben durch das bessere Wachstum und die reduzierte Konkurrenz, vor allem stark erhöhtes Überleben der Jungfische (Rekrutierungseffekt);
- Gleichbleibendes oder sogar (bei kannibalistischen Arten) erhöhte Rekrutierung.

All diese Prozesse begünstigen die Biomasseneubildung nach der Entnahme (was dem „Wegschieben“ der Population von der Tragekapazität nach links entlang der Kurve in Abbildung 6 entspricht, die zu einem „Zurückfallen“ entlang der Kurve im nächsten Jahr führt = Biomasseneubildung), die über den Ertrag zum Teil wieder abgeschöpft wird. Lastet auf einem Gewässer über mehrere Jahre ein bestimmter Fischereidruck, wird sich der Fischbestand sich in einem neuen befischten Gleichgewicht unterhalb der Tragekapazität einpendeln (irgendwo entlang der Kurve in Abbildung 6). Die Folge der dann jedes Jahr greifenden Kompensationsmechanismen zur Wiederauffüllung bis zur maximal möglichen Tragekapazität (d. h. der Fischbestand strebt wieder rechts die Kurve in Abbildung 6 hoch) ist, dass der Fischbestand – in gewissen Grenzen – seinen eigenen Überschuss an Biomasse produziert, der jedes Jahr als Ertrag abgeschöpft werden kann (Barthelmes 1981). Anders ausgedrückt: der Fischbestand strebt jährlich danach, die vorhandenen Ressourcen (Futter etc.) optimal auszunutzen und sich nach der Ausdünnung wieder „aufzufüllen“ (z. B. über reduzierte juvenile Sterblichkeit und rasches Wachstum die Biomasseneubildung und Wanderung wieder die Kurve in Abbildung 6 hinaus). Wenn ein (genutzter) Fischbestand ausgedünnt ist, wird er also danach streben, die verloren gegangene Biomasse (und Abundanz) über die Aufnahme der freigewordenen Energie aufzufüllen, die in einer befischten Situation aber erneut abgeschöpft wird, so dass der Fischbestand zwar Biomasse gebildet hat, aber am Ende der Befischungsperiode wieder genauso groß ist wie vorher (der Bestand strebt nach oben entlang der Kurve in Abbildung 6, aber die Biomasseneubildung wird sofort wieder über den Ertrag entnommen). Die Folge ist, dass mit steigender Befischungsintensität (steigender Grad der Bestandsausdünnung) der Fischertrag zunächst ansteigt, um im (befischten) Gleichgewicht bei mittleren Bestandsgrößen ein Maximum zu erreichen (dieser Punkt entspricht dem blauen Punkt in Abbildung 6), der im (befischten) Gleichgewicht (also nachdem mehrere Jahre der gleiche Befischungsdruck auf der Population gelastet hat) als maximaler Dauerertrag (Maximum Sustainable Yield, MSY) bekannt ist (Abbildung 8). Fischt man über diesen Punkt hinaus mit höherer Intensität (rechts vom Maximum in Abbildung 8), setzt zunächst die Wachstumsüberfischung (Fische werden zu jung gefischt) und dann die Rekrutierungsüberfischung (Rückgang der Population durch Mangel an Laichfischen) an – der Ertrag sinkt, die Bestandsgröße sinkt weiter und der Bestand bricht am Ende zusammen (Abbildung 8).

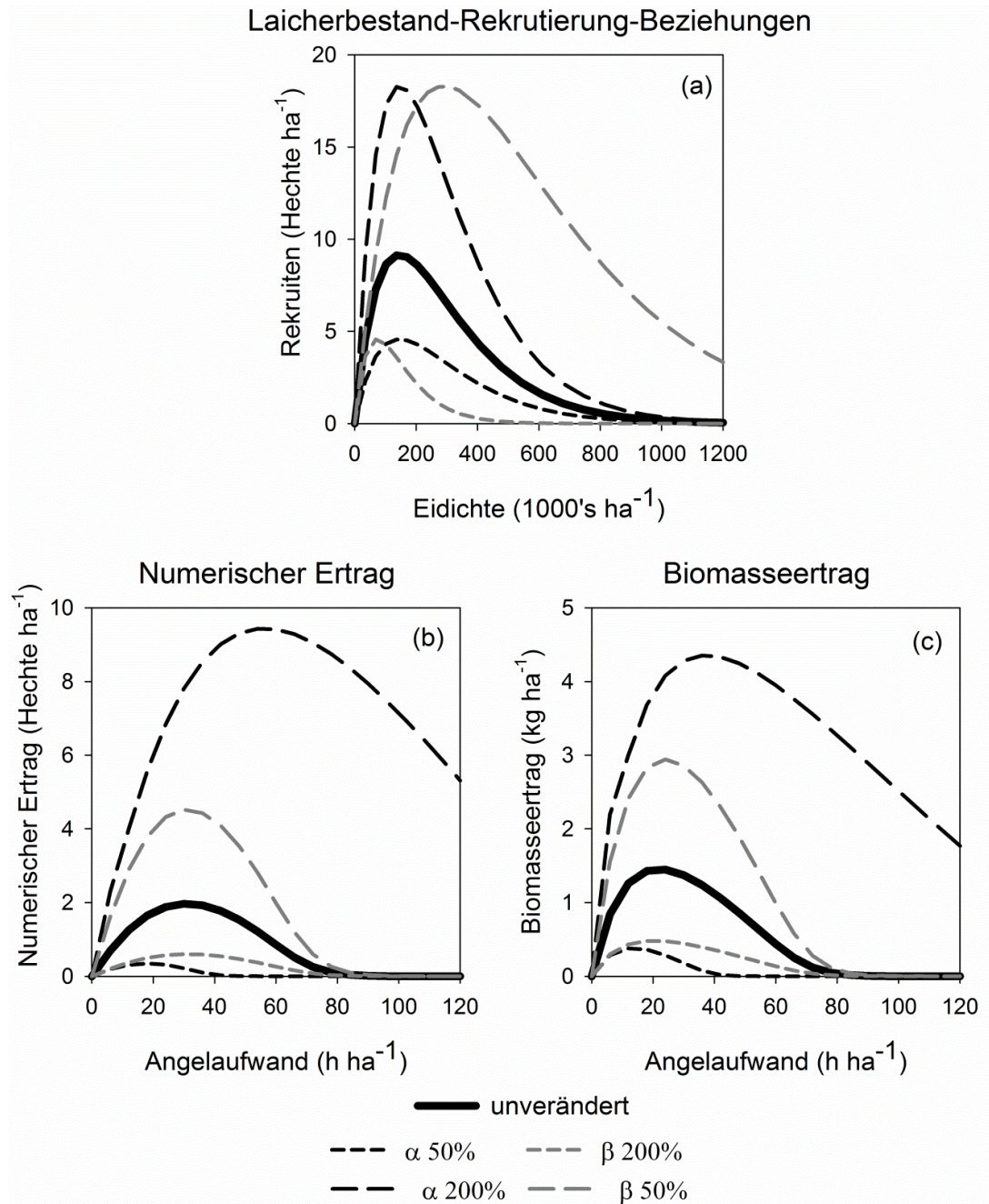
Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Erkenntnis, dass ein befischter Bestand nach einigen Jahren Fischereidruck stets einen neuen Gleichgewichtszustand erreichen wird, der dem Befischungsdruck entspricht und durch eine im Vergleich zum unbefischten Bestand reduzierte befischte Bestandsbiomasse gekennzeichnet ist. Eine unvermeidbare Konsequenz der Befischung ist also, dass der genutzte Bestand geringer sein wird als der unbefischte Zustand (Abbildung 8). Gleichsam werden die verbleibenden Fische im genutzten Zustand jünger und kleiner sein (Abbildung 8), weil die erhöhte fischereiliche Sterblichkeit dazu führt, dass die Tiere nicht mehr die Chance haben, sehr alt zu werden (die Alterspyramide aus Abbildung 5 rechts verschiebt sich hin zu jungen Tieren). Entsprechend ergibt sich folgende Beziehung: Der maximale Dauerertrag wird in der Regel bei Bestandsbiomassen erreicht, die im Gleichgewicht in etwa halb so groß sind wie der unbefischte Zustand. Da die Fänge von Anglern pro Zeit (der sogenannte Einheitsfang, Kapitel 2) – meist - direkt proportional zur Menge an Fische im Gewässer ist (Arlinghaus et al. 2016a), sinken die Einheitsfänge bzw. Fangraten mit dem Anstieg der Befischung und dem Rückgang der Bestände proportional und monoton (Abbildung 8). Daraus folgt: wer maximale Fangraten im Gewässer produzieren will, darf keine Fische entnehmen. Wer maximale Biomassen abschöpfen will, muss mit stark verjüngten Fischbeständen, geringen stehenden Biomassen und reduzierten Fangraten leben (Abbildung 8). Ein ausgedünnter Bestand ist maximal produktiv im Sinne der Ernte von Biomasse, ein unbefischter Bestand offeriert hingegen die höchsten Fangraten je Zeit. In der Regel werden die meisten Vereine hier einen Kompromiss anstreben wollen zwischen einer moderaten Entnahme und einer guten Angelqualität mit hohen „Fischkontakten“. Entsprechend ist die ideale Fischereisterblichkeit in der Angelei meist geringer als die, die die Erträge maximiert (Arlinghaus 2006, Hilborn 2007, Arlinghaus et al. im Druck).



**Abbildung 8** Schematische Darstellung der Reaktion von natürlich reproduzierenden Fischbeständen auf zunehmende Befischung. Der maximal nachhaltige Dauerertrag (maximum sustainable yield, MSY) wird meist bei mittleren Fischereiintensitäten und mittleren Bestandsbiomassen erreicht (entspricht dem Umkehrpunkt maximalen Populationswachstums in Abbildung 6). Die Wachstumsüberfischung setzt bereits direkt am Umkehrpunkt rechts vom MSY ein. An diesem Punkt sind die Fische im Durchschnitt weniger häufig, kleiner und jünger als im unbefischten Zustand. Da die Fangraten direkt proportional zur Bestandsgröße sind, sind Einheitsfänge (Fänge pro Zeit) im unbefischten Zustand maximal und sinken mit zunehmender fischereilicher Sterblichkeit und abnehmenden Bestandsgrößen.

Einzelne Fischbestände variieren nun je nach Gewässerbedingungen (Futter, Zahl der Einstände, Temperatur) in ihrer Produktivität und damit in der Ertragsfähigkeit (Abbildung 6). Konzeptionell bedeutet dies, dass die Steigung und die maximale Rekrutierungsmenge der Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung zwischen Gewässern variieren kann. In Abbildung 9 ist eine solche Variation der Produktivität von Fischbeständen dargestellt. Von besonderer Bedeutung für die Ertragsbildung ist die Variation in der Steigung der Kurve nahe des Ursprungs, die zu unterschiedlichen Mengen an Rekruten, die ein ausgedünnter Bestand produziert, führt und auch die Schnelligkeit der Wiedererholung nach einer Ausdünnung bestimmt.

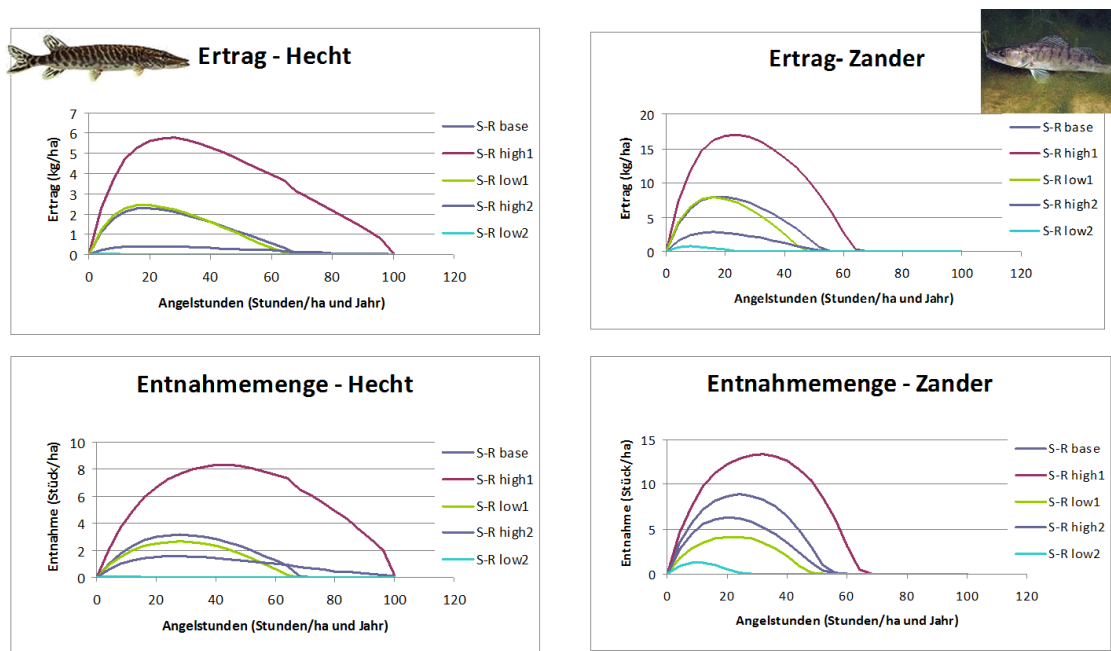




**Abbildung 9**

Ertragskurven und numerischer Ertrag von Hechten in Abhängigkeit verschiedener Produktivitäten (dargestellt über Variationen in der Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung) und in Abhängigkeit unterschiedlicher Angelaufwände auf Hecht in dem Modell von Johnston et al. (2013). Die Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung folgt Ricker (1954) und hat die Form  $R = \alpha S e^{\beta S}$ , wobei  $\alpha$  die maximale Überlebensrate nach der Geburt bis zur Rekrutierung  $R$  (hier Altersklasse 1) bei geringer Laicherabundanz  $S$  ist,  $\beta$  ist die inverse Laicherdichte, die die Rekrutierung maximiert; dieser Parameter beschreibt die Stärke der Dichteregulation, die das Überleben der Nachkommen bestimmt. Eine alternative Beschreibung von  $\beta$  ist die Rate des Rückgangs der Rekruten/Laicher mit der Zunahme der Laicherdichte, was für kannibalistische Arten wie den Hecht typisch ist. Die Erhöhung von  $\alpha$  und die Reduktion von  $\beta$  erhöhen die Rekrutierung. Die Erhöhung von  $\alpha$  führt dazu, dass die maximale Rekrutierung schneller erfolgt (über eine Veränderung der Steigung nahe des Ursprungs), während die Reduktion von  $\beta$  keine Effekte auf die Steigung hat.

Aus dieser Variation der Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung erwachsen unterschiedliche Ertragsmöglichkeiten, wie in Abbildung 10 am Beispiel von Hecht und Zander dargestellt ist (S-R steht für Stock-Recruitment = Laicher-Rekrutierungsbeziehung, high = hoch, low = gering). Typischerweise bei heimischen Fischen erwartbare Erträge (in Biomassen oder Stückzahl je ha) sind auch in Tabelle 1 zusammenfasst. Man sieht, dass bei den Raubfischen Erträge von nur einigen wenigen Tieren je ha und Jahr maximal und nachhaltig möglich sind, die auch durch Besatz nicht weiter gesteigert werden können. Ebenfalls ersichtlich ist, dass in der Regel Maximalerträge bei vergleichsweise geringen Angeldrücken von 20 bis 40 Jahresanglerstunden je Hektar (ausgedrückt in über alle Angler summierten Angelstunden pro Hektar und Jahr) entstehen (Abbildung 10). Höhere Erträge als bei den Raubfischen sind bei Karpfen, Schleie und Aal zu erwarten (Tabelle 1), wenn es keine Selbstregulation durch Konkurrenz mit natürlich aufgekommenen Konkurrenten gibt, und die Bestände stark besetzt werden.



**Abbildung 10** Darstellungen unterschiedlicher Erträge (kg/ha) und Entnahmen (Stück/ha) in Abhängigkeit des Angelaufwandes bei verschiedenen Laicher-Rekrutierungsbeziehungen bei Hecht und Zander. S-R = Stock-Recruitment. Low = gering und high = groß repräsentieren unterschiedliche Rekrutierungshöhen (vgl. Abbildung 9).

**Tabelle 1** Ertragspotenziale wichtiger Angelfischarten nach Praxiserfahrungen und Computermodellen.

| Art     | Realistisch                   | Max.        | Prognose und Rolle von Besatz                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------|-------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aal     | 3-6 kg/ha                     | 50 kg/ha    | Hohe Erträge unwahrscheinlich, da nur durch starken Besatz in stehenden Gewässern mit ausreichender Benthosbiomasse, Aal rückläufig und Besatz teuer                                                                                                           |
| Hecht   | 2-4 kg/ha<br>(1-8 Fische/ha)  | 10 kg/ha    | Kaum langfristig durch Besatz steigerbar, Tragkapazität wird von Unterstandsverfügbarkeit begrenzt                                                                                                                                                             |
| Zander  | 4-5 kg/ha<br>(1-14 Fische/ha) | 10-15 kg/ha | Wird nur in nahrungsreichen, trüben großen (> 100 ha) Gewässern mit viel Pelagial erreicht, Besatz in Gewässern unter 50 ha meist ohne Erfolg, nach einer ersten Etablierung, natürlicherweise große Bestandsschwankungen („Zandermüdigkeit“) von Jahr zu Jahr |
| Karpfen | 5 - 10 kg/ha                  | > 100 kg/ha | Ertrag hängt von Besatz ab, Bestandsbiomassen < 50 - 200 kg/ha unproblematisch für Wasserqualität                                                                                                                                                              |
| Schleie | 2 – 2,5 kg/ha                 | 60 kg/ha    | Hohe Erträge nur in verkrauteten Gewässern möglich , wird im Ertrag negativ von Karpfen beeinflusst                                                                                                                                                            |

### 1.3 Konsequenzen der Dichteabhängigkeit für das Besatzmanagement

Aus den bisherigen Ausführungen kann abgeleitet werden, dass die typische Hegemaßnahme Besatz charakteristische Wirkungen in natürlich rekrutierenden Fischpopulationen auslösen wird, die der Hegetreibende kennen muss, um die Besatzmenge und vor allem die Besatzgröße optimal zu planen. Fischbesatz ist nichts anderes als der Versuch, die natürliche Rekrutierung zu steigern. Entweder

versucht man, die Anzahl der Jungfische zu steigern, um die Zahl der Rekruten, die in den Fang hineinwachsen, zu erhöhen oder man ändert beim Besatz großer, entnahmefähiger Fische die Rekrutierung direkt. Die obigen Prozesse – Wachstum, Rekrutierung und längenabhängige Sterblichkeit – werden alle von Besatz beeinflusst, weil das Besetzen zur Änderung der Dichte führt (Lorenzen 2005). Es lohnt sich daher, sich einmal ganz genau bestimmte populationskundliche Aspekte vor Augen zu führen, die beim Besatz natürlich reproduzierender Bestände relevant werden und seinen Erfolg maßgeblich steuern.

- Da die Überlebensrate von Fischen größenabhängig ist, ist die Überlebensrate großer Fische stets höher als die Überlebensrate kleiner Fische.
- Überbesatz steigert die Konkurrenz und reduziert das Wachstum, was wiederum die Sterblichkeit steigert.
- Da jedes Gewässer eine Obergrenze an natürlichen Rekruten hat und diese Grenze vor allem im Juvenilstadium bestimmt wird, kann eine Steigerung der natürlichen Rekrutenzahl in der Regel nur mit dem Besatz von Rekruten, nicht aber mit dem Besatz von Jungfischen, erreicht werden.
- Fischbesatz steigert vor allem kurzfristig die Konkurrenz um Futter und Einstände. Entsprechend sollten – ein erfolgreicher Besatz überlebensfähiger Fische vorausgesetzt – die natürlichen Bestände durch Einbußen des Wachstums reagieren. Glücklicherweise wird meist in einen befischten Bestand unterhalb der Tragekapazität besetzt, so dass vor allem für eingesetzte Jungfische häufig genügend Nahrung vorhanden ist. Falls aber große Mengen an Rekruten (große Fischen) besetzt werden, sollten sich bei Überbesatz Wachstumsdepressionen manifestieren, die mit guter Fängigkeit einher gehen (Fische sind hungrig, Lorenzen 2005). Der Grund ist, dass adulte Tiere im Unterschied zu Jungfischen keiner starken dichteabhängigen Sterblichkeitsregulation mehr unterliegen (Lorenzen 2005), entsprechen wirkt zu großer Fischbesatz adulter Tiere vor allem auf das Wachstum und nicht die Sterblichkeit. Überbesatz von Jungfischen hingegen „verpufft“ in stabil natürlich reproduzierenden Beständen in der Regel in der dichteabhängigen Sterblichkeitsregulation, indem die juvenile Sterblichkeit erhöht wird, ohne am Ende die Zahl der Rekruten nennenswert zu steigern (Abbildung 11). Der wesentliche Regulationsmechanismus bei Jungfischen ist nämlich die

dichteabhängige Sterblichkeit, das dichteabhängige Wachstum ist hingegen im Vergleich zum Adultfischstadium hier weniger relevant (Lorenzen 2005). Man darf sich dann natürlich die Frage der Sinnhaftigkeit der Jungfischbesatzmaßnahme stellen.

- Anders ist die Situation bei einem „Überbesatz“ von Jungfischen. Obwohl theoretisch auch das Wachstum reduziert werden könnte, wenn zu viele Jungfische besetzt werden, müssen alle Jungfische durch einen frühen Überlebensengpass (Abbildung 11). Da das Überleben stark größen- und dichteabhängig ist, wird Jungfischbesatz in natürlich reproduzierenden Beständen nur in den seltensten Fällen zu einer Steigerung der Rekrutierung beitragen (Lorenzen 2005). Stattdessen werden Jungsatzfische in Konkurrenz zu natürlich aufgewachsenen Fische und in die dichteabhängige Sterblichkeitsregulation getrieben. Werden zu viele Fische besetzt, steigt die Sterblichkeit und am Ende des „Tunnels“ wachsen trotzdem nicht mehr Fische in den Bestand als ohne Besatz der Falle wäre (Abbildung 11). Das Gesagte gilt natürlich nur für natürlich rekrutierende Bestände. Findet gar keine Rekrutierung statt, weil es unveränderliche Engpässe im Laichhabitat oder frühen Larven- oder Juvenilstadium gibt, ist Jungfischbesatz sehr erfolgreich gestaltbar und führt zum Aufbau eines Bestands, der ansonsten nicht existieren würde (Hühn et al. 2014). Es muss jedoch stets mit Größen oder Stadien besetzt werden, die größer sind als die, die natürlicherweise im Aufkommen begrenzt sind, und der Besatz von Jungfischen ist immer auf Situationen von habitatbedingten Rekrutierungsdefiziten zu beschränken, weil er ansonsten im Sinne der Bestandssteigerung wirkungslos ist (Baer et al. 2007).

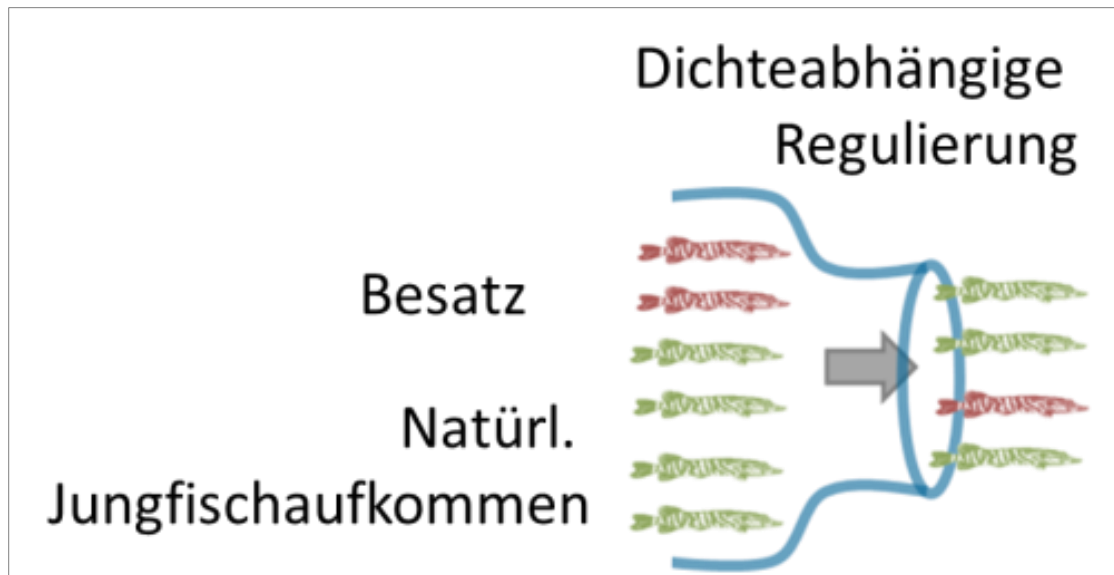


Abbildung 11

Dichteabhängige Bestandsregulierung nach Besatz. Nach anfänglicher künstlicher Steigerung der Bestandsdichte durch Besatz wird die Bestandsgröße in Gewässern mit natürlichem Jungfischauftkommen auf eine gewässer- und lebensraumspezifische Bestandsgröße herunterreguliert. Alle Fische, ob Satz- oder Wildfisch, müssen durch die habitat- oder ernährungsbedingten Engpässe. Es ist jedoch möglich, dass einige besetzte Fische im Bestand verbleiben, was zur nächsten Laichzeit zu einer Einkreuzung der Satzfischgene in den lokalen Bestand führen kann.

## **2 Lernfähige Hege und Pflege - das Grundprinzip einer nachhaltigen anglerischen Bewirtschaftung**

### **2.1 Allgemeines Vorgehen**

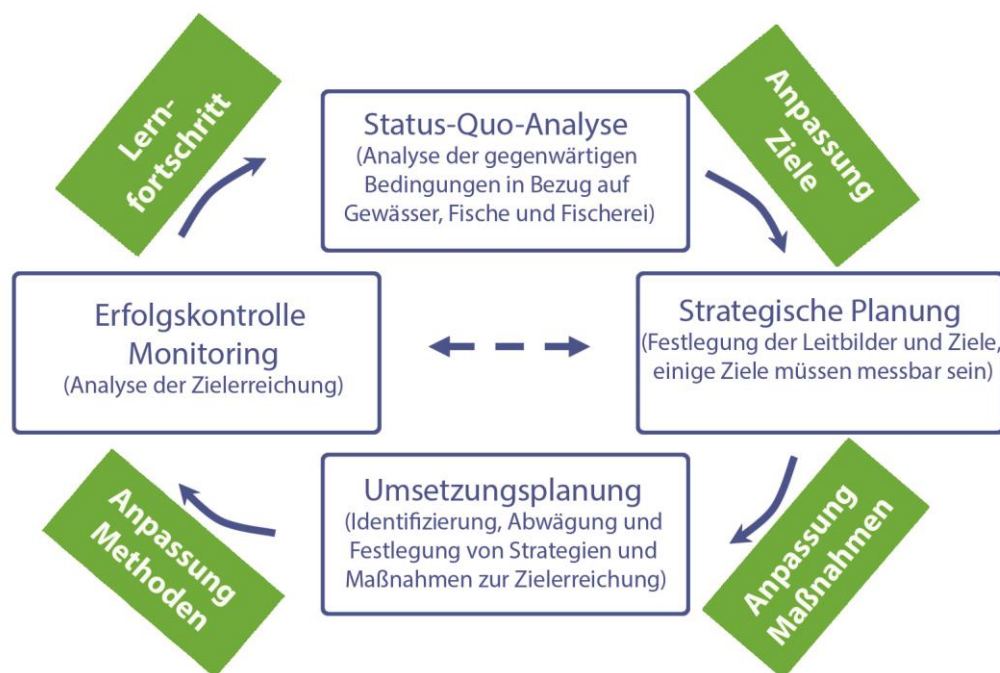
Angesichts der Komplexität und Unvorhersehbarkeit bestandsbildender Prozesse sowie der unterschiedlichen sozialen und ökonomischen Konstellationen, die verschiedene Angelvereine prägen, gibt es keine allgemeingültige Richtlinie für erfolgreiches Fischereimanagement. Die Komplexität natürlicher Prozesse, zahlreiche vereinsspezifische Varianten in Bezug auf Ziele und soziale wie ökologische Bedingungen in unterschiedlichen Gewässern sowie eine stete Veränderung externer ökologischer Faktoren (z. B. des Klimas) machen es unmöglich, für jeden Anwendungsfall konkrete Hegeempfehlungen vorzusehen. Dementsprechend ist auch das Fischereigesetz der Länder strukturiert – die wesentlichen Entscheidungen verbleiben beim Fischereiberechtigten vor Ort, weil es unmöglich ist, vom Bürotisch aus optimale Hegemaßnahmen für jede lokale Situation zu definieren. Auch wenn sich viele Gewässerwarte sehr konkrete Handlungsempfehlungen wünschen, bleibt Fischereimanagement eine Kunst, die vom Geschick und vom Wissen des lokal Agierenden abhängt. Fischereimanagement kann daher nur gelingen, wenn der Bewirtschafter stetig Neues ausprobiert und nachvollziehbar auf den Erfolg hin überprüft, so dass sich über „Selektion“ bzw. „Versuch und Irrtum“ die an die lokalen Gegebenheiten optimal angepassten Ergebnisse und Maßnahmen herausbilden. Selbstverständlich müssen die zu überprüfenden Hegemaßnahmen prinzipiell mit übergeordneten gesetzlichen Grundlagen (z. B. Vorgaben aus dem Fischerei- und Tierschutzrecht) im Einklang stehen.

Das Grundprinzip eines nachhaltigen Managements von Angelgewässern, das im Besatzfischprojekt erprobt und im Rahmen der Fortbildung an die beteiligten Angelvereine vermittelt wurde, ist vor diesem Hintergrund auf Flexibilität, Anpassung und Lernen ausgerichtet. Der entsprechende Fachbegriff lautet „**adaptives Management**“ (Walters 1986, FAO 2012), im nachfolgenden auch als **lernfähige Hege und Pflege** bezeichnet. Darunter wird ein abgestufter, stets auf das Prinzip



„Versuch macht klug“ ausgerichteter Planungs- und Managementprozess verstanden, der sich in vier grobe Schritte unterteilen lässt (Abbildung 12):

- *Status-quo-Analyse*: Analyse der gegenwärtigen Bedingungen in Bezug auf die Gewässer, Fischbestände, Anglerwünsche und -zufriedenheiten, rechtlichen Grundlagen und Ansprüche sonstiger Interessengruppen
- *Strategische Planung*: Entwicklung von Leitbildern und überprüfbaren Zielen, Identifikation von möglichen Maßnahmen, Risikoabwägung und Ableitung eines besonders erfolgversprechenden Hegevorgehens
- *Umsetzungsplanung*: Festlegung der Maßnahme(n) und ihre Umsetzung
- *Erfolgskontrolle*: Durchführung eines Monitorings, das den Erfolg der Hegemaßnahme mit den eingangs gesteckten Zielen (strategische Planung) vergleicht.



**Abbildung 12** Grobdarstellung der vier wesentlichen Phasen der lernfähigen Hege und Pflege. Grün zeigt die möglichen Anpassungen im zweiten Schritt nach Durchlaufen des ersten Zyklus (blau).



Diese vier Phasen lassen sich, wie in Abbildung 13 dargestellt, noch feiner aufgliedern. Unterschieden wird die strukturierte, wohlüberlegte Entscheidungsfindung sowie eine Phase der Überprüfung und des Lernens, was dann zu einer künftigen Anpassung von Status quo, Zielen, Maßnahmen usw. führen kann (Abbildung 12 und Abbildung 13). Obwohl viele Vereine intuitiv ein identisches oder vergleichbares Vorgehen für ihre Hege gewählt haben, könnten diejenigen, die das zyklische, strukturierte Verfahren bisher noch nicht einsetzen, in Zukunft darauf zurückgreifen.



**Abbildung 13** Feindarstellung der einzelnen Schritte der lernfähigen Hege und Pflege. Grün zeigt die strukturierte Entscheidungsfindung, während weiß die Erfolgskontrolle (hat meine Maßnahme geklappt?) und die Lern- und Anpassungsmöglichkeiten (was kann ich künftig besser/anders machen?) andeuten.

Entscheidende Aspekte des Prinzips der lernfähigen Hege und Pflege ist eine Zustandsanalyse der gegenwärtigen Gewässer- und Angelbedingungen sowie darauf aufbauend eine Zielformulierung mit möglichst quantifizierbaren Indikatoren für die Zielerreichung (z. B. Steigerung des Einheitsfangs von einem halben auf einen Fisch pro Tag im Durchschnitt über alle Angler in den nächsten fünf Jahren. Erläuterungen zum Einheitsfang siehe unter 2.2). Die Zustandsanalyse ist nicht immer auf „harte“ Daten angewiesen. Auch Erfahrungswissen, Gespräche mit Anglern usw.

können in die Zustandsanalyse einfließen. Wichtig ist, dass sowohl die Gewässer als auch die anglerischen Bedingungen sorgsam geprüft werden, um darauf aufbauend allgemeine Ziele (z. B. Nachhaltigkeit) und spezifische Ziele (quantifizier- bzw. prinzipiell evaluierbar) zu setzen. Die Zielformulierung ist extrem wichtig und sollte unter Einbindung mindestens des erweiterten Vorstandskreises, besser noch der übrigen Vereinsmitglieder, und wenn möglich auch unter Beteiligung Externer (unter anderem auch von Konfliktparteien) erfolgen. Denn die Ziele bestimmen entscheidend, welche Maßnahmen zu ihrer Erreichung überhaupt in Frage kommen und nach welchen Kriterien der Erfolg gemessen wird.

An diese ersten beiden Phasen – Zustandsanalyse und Zielformulierung (Abbildung 12 und Abbildung 13). – schließen sich eine möglichst detaillierte Analyse sowie die Abwägung aller möglichen Managementmaßnahmen (Besatz, Fangbestimmungen, Schonbestimmungen, Veränderung des Lebensraums), die der Zielerreichung dienen können, an. Auch diese Abwägung muss nicht unbedingt quantitativen Maßzahlen oder gar Modellen (z. B. Hegeplansoftware von Besatzfisch) folgen, sondern kann durchaus qualitatives Erfahrungswissen des Angelvereins einschließen. Man sollte sich klar darüber werden, was die Bewertungskriterien des Maßnahmen Erfolgs sein könnten bzw. sollen (Fänge der Angler, Etablierung einer Art und Nachweis in Fängen, Sichttiefe des Wassers, Zufriedenheit der Angler), und man sollte „vor dem geistigen Auge“ die möglichen Vor- und Nachteile sowie die Erfolgsprognosen für die verschiedenen zur Verfügung stehenden Managementmaßnahmen durchspielen. Hier können frühere Erfahrungen und natürlich auch Computermodelle (siehe auch Hegeplansoftware Kapitel 6) ins Spiel kommen. In jedem Falle sollte das Nachdenken über die möglichen Szenarien sowie ihre Vor- und Nachteile auf einer breiten Basis ruhen, indem verschiedene Meinungen und Personen einbezogen werden, die alle ihre Erfahrungen in den Diskurs einbringen können. Beispielsweise könnten zur Erreichung des Ziels, die Fänge der Angler zu steigern, Besatz oder die Erhöhung der Schonmaßnahmen als Optionen zur Auswahl stehen. Besatz kostet Geld, birgt ökologische Risiken, Schonmaßnahmen, wie eine Erhöhung der Mindestmaße, sind meist nicht sehr beliebt bei Anglern, können aber bestimmte Größenklassen von Fischen sehr effektiv schonen. Es ist vielleicht gar nicht so einfach zu beantworten, mit welcher Maßnahme die Fänge am ehesten und ökologisch risikoarm (oder sogar -frei) zu erhöhen sind. Vielleicht sollte man beide Optionen einfach einmal ausprobieren,

sofern man mehrere Gewässer im Verein bewirtschaftet. In der Abwägungsphase der Risiken, Nutzen und Schäden ist in jedem Falle final zu entscheiden, welche Hegemaßnahmen zur Zielerreichung eingesetzt werden sollen, um sie dann umzusetzen und ihre Erfolge über Monitoring gegenüber den Ausgangszielen zu evaluieren (z. B. über Angelbücher unter Erhebung von Fängen und Angelzeit = Einheitsfangmaße, Abbildung 13). Die Erfolgskontrolle dient der Überprüfung des Maßnahmenenerfolgs (haben sich meine Fänge tatsächlich erhöht?), das Ergebnis führt erkenntnis- bzw. lernbasiert zur Anpassung künftiger Ziele, Maßnahmen und Evaluationsmethoden (daher der Begriff der lernfähigen Hege und Pflege).

In diesem Zusammenhang ist auf eine wichtige wissenschaftliche Feinheit hinzuweisen. Um aus der lernfähigen Hege und Pflege zu lernen, müssen die Hegemaßnahmen clever auf verschiedene Gewässer verteilt werden und müssen stets Vorher-Nachher Daten oder Erfahrungen gesammelt werden. Der sauberste Fall ist, dass in einigen Gewässern Maßnahmen, deren Erfolg der Verein überprüfen will umgesetzt, während gleichzeitig in ökologisch vergleichbaren Gewässern die entsprechenden Maßnahmen nicht umgesetzt werden. So erhält man Maßnahmen- sowie Kontroll- bzw. Vergleichsgewässer. Die Erfolgskontrolle basiert dann auf Daten und Fakten, die vor und nach der Maßnahmenumsetzung in Maßnahmengewässer und Kontrollgewässern erhoben werden. Der Einbezug von Kontrollgewässern dient der Kontrolle saisonal und zwischen den Jahren unterschiedlicher Fischbestandsentwicklungen. Stehen Kontrollgewässer nicht zur Verfügung, ist alternativ ein Vorher-Nachher-Ansatz in den Maßnahmengewässern nötig. Das Problem dieses Ansatzes ist, dass sich die Wetterbedingungen zwischen den Jahren deutlich unterscheiden können, so dass hegebedingte Änderungen von Fängen usw. in Folgejahren nach einer Maßnahmenumsetzung sowohl auf die Maßnahme selbst als auch auf saisonale Effekte zurückgehen können. Es ist logisch, dass die Maßnahmenbewertung teilweise mehrere Jahre verzögert erst möglich sein wird, weil Jungfische erst in den Fang hineinwachsen müssen und weil nach einer Veränderung der Fangbestimmungen erst der Gesamtbestand auf die neue Situation reagieren und einen neuen Gleichgewichtszustand erreichen muss. Im letztgenannten Fall sind Zeiträume von 5-15 Jahren nicht ungewöhnlich.

## **Schlussfolgerungen für die Praxis**

- Komplexe Gewässerökosysteme erlauben keine kochrezeptartigen Empfehlungen zur Hege und Pflege. Zu unterschiedlich sind Gewässer und Vereine, als dass es sinnvoll wäre, optimale Hegemaßnahmen auf dem Papier festzuhalten.
- Als geeignetes Prinzip dient im Fischereimanagement der Grundsatz der lernfähigen Hege und Pflege (adaptives Management). Das Vorgehen basiert auf dem Ansatz „Versuch macht klug“, der dazu ermuntert, prinzipiell als zielführend identifizierte Hegemaßnahmen auch tatsächlich in der Praxis auszuprobieren, Erfolge zu evaluieren und aus den Ergebnissen in einem zyklischen Prozess für die Zukunft zu lernen.
- Hegemaßnahmen sind nie als statisch anzusehen, stattdessen sollen sie ständig an die variablen sozialen und ökologischen Grundbedingungen angepasst werden.
- Hegemaßnahmen sollten immer ökologische risikoarm gestaltet werden und keine irreparablen ökologischen Veränderungen (zum Beispiel Verlust des lokalen Genpools) produzieren.

### **2.2 Der Einheitsfang als praxisnahes Hilfsmittel zur Erfolgskontrolle**

Eine zentrale Stellung zur Einschätzung von Hegeentscheidungen (z. B. Fischbesatz oder künftige Entnahmebeschränkungen) nimmt die Entwicklung der Fischbestände und Fänge ein. Diese Kriterien werden in der Regel auch zur Erfolgskontrolle bei der lernfähigen Hege und Pflege eingesetzt (Abbildung 12 und Abbildung 13). Zur Evaluierung der Fischbestandsentwicklung bzw. der Fänge sind entnahmebasierte Fangstatistiken in vielen Angervereinen die Standardmethode. Jedoch leidet die Zuverlässigkeit dieser Statistiken unter anderem darunter, dass nur entnommene Fische eingetragen werden und während der Schonzeit gefangene Fische, untermaßige Fische, die die natürliche Vermehrung anzeigen, oder aus anderen Gründen zurückgesetzte Fische nicht erfasst werden. Darüber hinaus werden Fangkarten selten vollständig von allen Anglern abgegeben. Auch ist bekannt, dass

nur bestimmte Anglertypen, die nicht repräsentativ für alle Angler im Verein stehen, ihre Entnahmen über die Fangstatistik melden (Dorow & Arlinghaus 2011). Schließlich werden in traditionellen Fangstatistiken wichtige Maßzahlen des Fischereiaufwandes, wie die gefischte Zeit in Tagen oder Stunden oder die Anzahl der gezielt auf eine Fischart eingesetzten Ruten, nicht erhoben. Das ist insofern problematisch, da der Fangaufwand neben dem Fang ein wichtiges Maß zur Abschätzung der Fischbestandsentwicklung über sogenannte Einheitsfänge (Fänge pro Fischereiaufwand) darstellt.

Ohne Berücksichtigung des für den Fang verantwortlichen Fischereiaufwandes können abnehmende Gesamtentnahmemengen (Erträge) durch abnehmende Fischereiintensitäten (geringerer Befischungsdruck), verändertes Anglerverhalten (z. B. steigende Zurücksetzraten entnahmefähiger Fische), durch eine Überfischung (d. h. zu hoher Angeldruck und zu hohe fischereiliche Sterblichkeit, Abbildung 8 und Abbildung 14) oder aber durch eine reduzierte Rückgabe an Fangkarten begründet sein. Die eigentliche Ursache der sich ändernden Erträge ist auf Basis von absoluten Entnahmen (oder Fängen) also nicht eindeutig zu klären, so dass aus Rückgängen in den Gesamterträgen (oder Gesamtfängen) nicht zwangsläufig auf zurückgehende Fischbestandsgrößen geschlossen werden kann. Durch die zusätzliche Erfassung des Fangaufwandes lässt sich die Aussagekraft von Fangstatistiken zur Fischbestandsentwicklung allerdings mit einfachen Mitteln deutlich verbessern. Ein Beispiel für eine solche Fangstatistik findet sich in Abbildung 15. Auch andere Umsetzungen, die nicht auf Tagebücher angewiesen sind, sind denkbar, z. B. die Aufnahme der insgesamt an einem Gewässer gefischten Tage mitsamt der Fänge und der Entnahme (sowie die Fischgröße) an den Gewässern. Ein solches Verfahren ist z. B. im sächsischen Anglerverband implementiert.

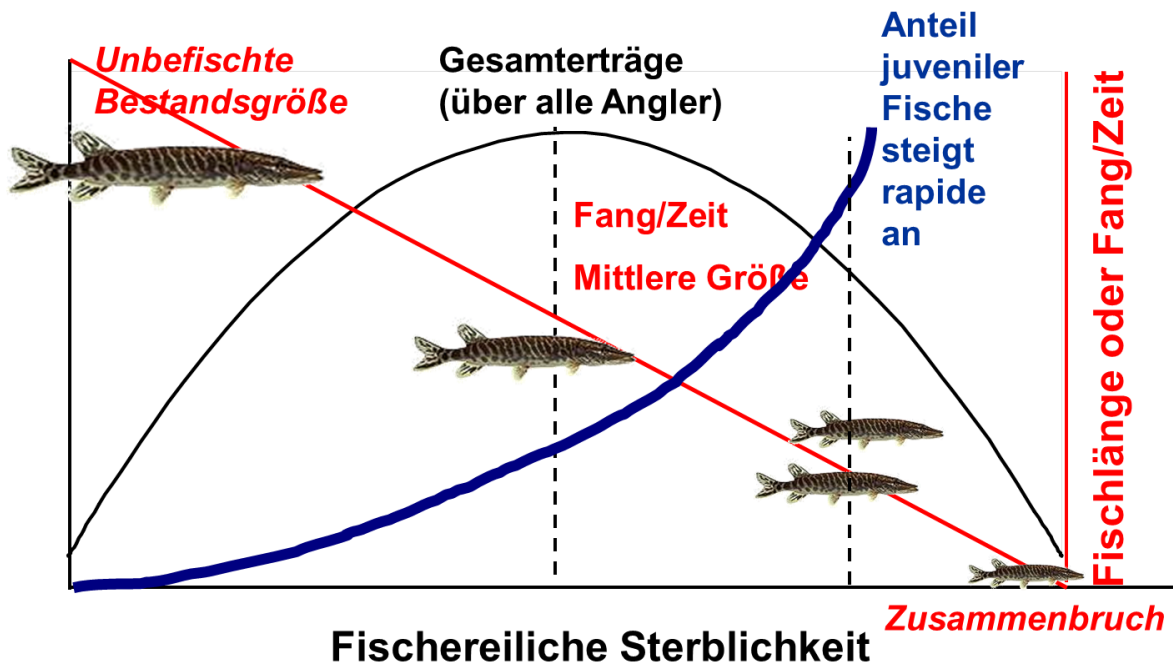


Abbildung 14

Schematische Darstellung der Reaktion von natürlich reproduzierenden Fischbeständen auf zunehmende Befischung (die mit einem zunehmenden Angelaufwand zusammenhängt). Der maximal nachhaltige Dauerertrag (maximal sustainable yield, MSY) wird meist bei mittleren Fischereiintensitäten und mittleren Bestandsbiomassen erreicht. Von besonderer Bedeutung ist die unterschiedliche Reaktion der Gesamterträge (die ein Maximum kennzeichnet) und der Einheitsfänge. Rückgehende Bestände bei zunehmender fischereilicher Sterblichkeit werden durch rückgehende Einheitsfänge angezeigt. Allerdings ist der Einheitsfang ungeeignet, um einen Überfischungsschwellenpunkt wie z. B. die Wachstumsüberfischung rechts vom maximalen Ertrag anzuzeigen. Mit zunehmender Befischung sinken die Bestandsgrößen im befischten Gleichgewicht, die mittleren Längen in Bestand und Fang sowie die Fangraten, während der Anteil unreifer Jungfische in den Fängen mit der Befischungsintensität stark ansteigt.

**Bitte für jeden Ausflug ein separates Datenblatt benutzen!**

| Gewässername, Datum und Ausflugsdauer |               |             |
|---------------------------------------|---------------|-------------|
| 1. Gewässername                       | Hausee        |             |
| 2. Nächster Ort                       | Musterhausen  |             |
| 3. Datum (TTMMJJ)                     | 12.06.11      |             |
| 4. Uhrzeit                            | Beginn: 15:30 | Ende: 21:45 |

| Zielarten und Ruten                                                                                                                                                                                                                          |                   |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| 5. Wie viele Stunden haben Sie bei diesem Angelausflug insgesamt auf eine der aufgeführten Fischarten gezielt geangelt? Bitte geben Sie auch an, mit wie vielen Ruten Sie auf jede dieser Fischarten in der angegebenen Zeit geangelt haben. |                   |                  |
| Fischart                                                                                                                                                                                                                                     | Geangelte Stunden | Anzahl der Ruten |
| Aal                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                  |
| Bachforelle                                                                                                                                                                                                                                  |                   |                  |
| Barsch                                                                                                                                                                                                                                       | 2 Std.            | 2                |
| Hecht                                                                                                                                                                                                                                        | 4 Std. 15 Min     | 2                |
| Karpfen                                                                                                                                                                                                                                      |                   |                  |
| Regenbogenforelle                                                                                                                                                                                                                            |                   |                  |
| Schleie                                                                                                                                                                                                                                      |                   |                  |
| Weißfische                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                  |
| Wels                                                                                                                                                                                                                                         |                   |                  |
| Zander                                                                                                                                                                                                                                       |                   |                  |

| Fangergebnis                                                    |                               |                                 |                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 6. Wie viele Fische haben Sie bei diesem Angelausflug gefangen? |                               |                                 |                                                                      |
| Fischart<br>(z.B. Hecht)                                        | Totallänge<br>(Angaben in cm) | Markierung<br>(Nummer notieren) | Entnommen<br>(Bitte ankreuzen)                                       |
| Hecht                                                           | 66,5 cm                       | W 0348                          | <input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| Barsch                                                          | 32 cm                         |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
|                                                                 |                               |                                 | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein            |
| Massenfische<br>(Kleiner 30 cm)                                 | Anzahl Fische<br>(Gefangen)   | Anzahl Fische<br>(Entnommen)    | Geschätzte<br>Länge                                                  |
| Weißfische                                                      |                               |                                 |                                                                      |
| Barschartige                                                    | 11                            | 0                               | 13 cm                                                                |

| Zufriedenheit                                             |                  |
|-----------------------------------------------------------|------------------|
| 7. Wie zufrieden waren Sie mit dem heutigen Fangergebnis? |                  |
| 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10                                      |                  |
| (sehr unzufrieden)                                        | (sehr zufrieden) |

**Abbildung 15** Beispiel einer Fangstatistik zur Erhebung des fischartenspezifischen Angelaufwandes sowie der Gesamtfänge und der Entnahme.

Durch Kenntnis von Fang und Fangaufwand lässt sich der Einheitsfang berechnen, der unter Wissenschaftlern ein akzeptiertes Maß der relativen Abundanz bei Fischen ist (Arlinghaus et al. 2016a). Der Einheitsfang ist die Anzahl der gefangenen Fische pro Fangaufwand (z. B. Anzahl gefangener Fische pro Aufwandseinheit, z. B. pro Rutenstunde oder Angeltag, siehe Berechnung in Box 1). Der Einheitsfang ist im Gegensatz zur absoluten Entnahme, die die Summe der im Jahr gefangenen Fische in Stückzahl oder Biomasse darstellt, keine absolute Größe. Das wiederum heißt, Einheitsfänge sind auch dann aussagekräftig, wenn nur ein Teil der Angler die Fangkarten zurückgegeben hat, unter der Bedingung, dass zwischen den Jahren immer die gleichen (erfolgreichen oder nicht so erfolgreichen) Angler an der Fangstatistik teilnehmen. Im Unterschied dazu ist die Bewertung des absoluten Fanges bzw. des Ertrags auf die Rückmeldung der Angelkarten durch möglichst alle Angler des Vereins angewiesen. Das kann in den seltensten Fällen garantiert werden, so dass Gewässerwarte auf Hochrechnungen oder Schätzungen angewiesen sind. Allerdings schwanken die Fangraten zwischen einzelnen Anglern je nach Intensität des Angelns und anglerischem Können enorm (Herrmann et al.

2013), so dass ein aus der Fangstatistik ermittelter mittlerer absoluter Fang je Angler nicht zwangsläufig ein geeigneter Mittelwert zur Hochrechnung der Fänge aller Angler im Verein darstellt (Dorow & Arlinghaus 2011). Dagegen ist die Bewertung der zeitlichen Entwicklung der Einheitsfänge vergleichsweise robust gegenüber Veränderungen der Fischereiintensitäten zwischen verschiedenen Jahren, weil die Einheitsfänge in einem Gewässer als Mittelwerte über die jeweiligen Einheitsfänge einzelner Angler berechnet werden und die Mittelwerte daher vom absoluten Angelaufwand einzelner Angler unabhängig sind. Wichtig ist aber, dass jedes Jahr die gleichen (möglicherweise auch nichtrepräsentativen) Anglertypen an der Fangstatistik teilnehmen, so dass die Analyse der zeitlichen Entwicklung der Einheitsfänge tatsächlich steigende oder fallende Bestandsgrößen anzeigt. Unter dieser Bedingung stellt der Einheitsfang eine zuverlässigere Maßzahl zur Abschätzung der Bestandshöhe dar als die Gesamtentnahme oder der Gesamtfang. Hierbei gilt: steigen die Bestände, so steigt der Einheitsfang; sinken die Bestände, so sinkt auch der Einheitsfang (Abbildung 14), eine mathematische Begründung findet sich in Box 1).

Ein Beispiel möge die Überlegenheit des Einheitsfangs gegenüber der Ausfangstatistik als Indikator für die Bestandshöhe verdeutlichen. Im Rahmen des Besatzfischprojekts wurden über Angeltagebücher entsprechende Daten in niedersächsischen Angelvereinen gesammelt (Arlinghaus et al. 2015), die hier und an anderer Stelle (Arlinghaus et al. 2016a) zusammengefasst werden. Die Güte des Zusammenhangs zwischen den Maßzahlen Gesamtfang, Gesamtentnahme und Einheitsfänge und tatsächlichen Bestandsdichten bzw. Abundanzen finden sich nachfolgend exemplarisch für Hecht (Abbildung 16) und Karpfen (Abbildung 17) dargestellt. Als Indikator für die Güte des Zusammenhangs zwischen Bestandsdichte bzw. Abundanz und Maßzahl wurde das Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) einer linearen Regressionsfunktion ohne Achsenabschnitt herangezogen, das einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann. Grundsätzlich gilt: je größer der Wert, desto stärker der Zusammenhang bzw. desto besser korrespondierte das erhobene anglerische Maß mit der Fischbestandsgröße in den Gewässern. Bei den Regressionen wurde auf den Achsenabschnitt verzichtet, da eine Bestandsgröße von 0 Fischen mit einem Fang von 0 Fischen korrespondieren sollte.



**Box 1:**

In der Fischerei gilt die klassische Fangformel:

Fang (C) = Fängigkeitskoeffizient (q) × Fangaufwand (E) × Fischhäufigkeit (N).

Daraus folgt:

Fang/Fangaufwand (CPUE) = Einheitsfang = Fängigkeitskoeffizient (q) × Fischhäufigkeit (N).

Die Abkürzungen folgen englischen Standardtermini: Fang = Catch = C, CPUE = Catch per Unit Effort = Einheitsfang.

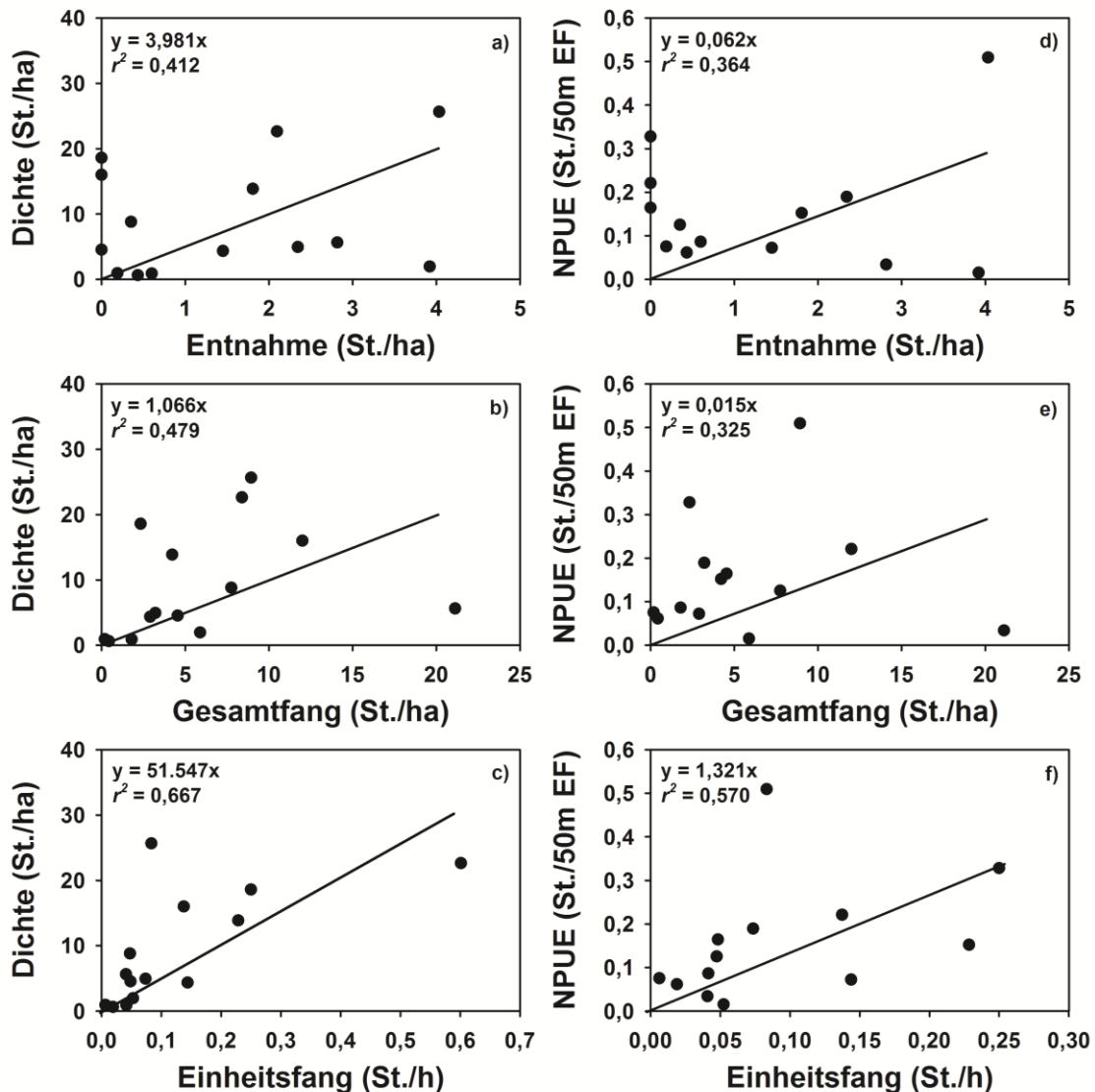
Der Fängigkeitskoeffizient q ist der je Hektar gefangene Anteil der Fischpopulation pro Aufwandseinheit, zum Beispiel pro Rutenstunde oder Angeltag. Die Grundannahme ist, dass die Fängigkeit einer Art mit einem bestimmten Fanggerät zwar zwischen einzelnen Tagen variiert, aber zwischen unterschiedlichen Jahren im Mittel stabil ist. q sollte daher in der Regel eine vom Fanggerät abhängige Konstante darstellen. Unter dieser Annahme (zu Ausnahmen, siehe Haupttext), folgt, dass der Einheitsfang direkt proportional zur Fischmenge ist (CPUE ~ N): sinken die Bestandsgrößen N, sinkt der Einheitsfang. Im Unterschied dazu ist der Gesamtfang C (bzw. die Gesamtentnahme) sowohl von q, also auch vom Aufwand E und von der Bestandsgröße N abhängig. Sinkende Fänge C können auf sinkende Bestände N oder auf sinkende Fischereiintensitäten E zurückgehen.

**Hecht**

Die ausschließliche Berücksichtigung der absolut entnommenen Hechte (Hechterträge in Stückzahl) war zwar statistisch gesehen signifikant, spiegelte aber nur mit großer Unsicherheit die tatsächliche Bestandsgröße wieder ( $r^2 = 0,401$ , Abbildung 16a). Das heißt - nur 40% der Schwankung in der Bestandsgröße zwischen einzelnen Seen korrespondierte mit den Unterschieden der Hechterträge. Die Gesamtentnahme kann daher als alleiniges Maß für die Einschätzung der Bestandsgröße beim Hecht sehr schnell zu Fehlinterpretationen führen. Etwas stärker und ebenso signifikant war der Zusammenhang, wenn man alle von den Anglern laut Fangbuch gefangenen Hechte berücksichtigte, also auch die Hechte, die von den Mitgliedern wieder zurückgesetzt wurden (Gesamtfang, Abbildung 16b,  $r^2 = 0,479$ ). Der Zusammenhang zwischen Fang und tatsächlicher Bestandsgröße verstärkte sich unter Berücksichtigung der gefischten Zeit (Einheitsfang, im Mittel über alle Angler gefangenen Hechte je Rutenstunde) deutlich ( $r^2 = 0,667$ , Abbildung 16c, Regression signifikant). Der Einheitsangelfang war also von allen Maßen am

besten geeignet, eine Einschätzung der Bestandsgröße von Hechten in einzelnen Seen zu ermöglichen. Fast zwei Drittel der Schwankungen der tatsächlichen Bestandsdichte zwischen unterschiedlichen Gewässern wurde durch Schwankungen der mittleren Einheitsfänge über alle gezielt auf Hecht angelnden Angler zwischen den Seen erklärt.

Als zweites Maß für die Einschätzung der relativen Abundanz der Hechtbestände wurden Einheitsfänge mittels Elektrofischerei als NPUE (Anzahl der Hechte pro befischter Uferlänge von 50 m) entlang des Ufers herangezogen (Abbildung 16d-f). Auch hier zeigte sich der oben beschriebene Zusammenhang: mittlere Einheitsfänge von Anglern (Abbildung 16) korrelierten stärker mit der durch Elektrofischerei ermittelten Hechthäufigkeit je 50 m Uferlänge als absolute Daten zu Gesamthechtfängen und -erträgen. Mit anderen Worten: aus mittleren Angeleinheitsfängen kann man relativ gut ablesen, wie viele Hechte sich aktuell im Litoral befinden. In kleinen Seen kann man daher auf die Elektrofischerei als Monitoringinstrument verzichten, sofern es gute Einheitsfangdaten von Anglern gibt. Hat der Verein nun eine Zeitreihe von Einheitsfängen für ein oder mehrere Gewässer zur Verfügung, kann daraus abgelesen werden, ob die Bestandsgrößen mit der Zeit zu- oder abnehmen und ob in See A mehr Hechte auftreten als in See B. Abnehmende Trends im Einheitsfang deuten auf abnehmende Hechtbestände hin.



**Abbildung 16** Dichte (bzw. Abundanz) von Hechten in Abhängigkeit von Gesamtentnahme, Gesamtfang und Einheitsfang der Angler. Die Hechtdichten (links) wurden mit der Fang-Wiederfang-Methode ermittelt. Die Hechtabundanz (rechts) wurde mittels einer standardisierten Elektrofischerei im flachen Uferbereich der Gewässer erhoben (NPUE = Anzahl pro befischter Uferlänge von 50 m). Alle Angaben beziehen sich auf Hechte mit einer Totallänge größer als 45 cm. In der Abbildung f fehlt der in der Abbildung c dargestellte sehr hohe Einheitsanglerfang von ca. 0,6 Hechten pro Rutenstunde, weil in diesem Gewässer aufgrund der hohen Leitfähigkeit kein Maß der Hechtabundanz mittels Elektrofischerei möglich war, die aber in f auf Basis von Fang-Wiederfang-Daten dargestellt ist. Entsprechend konnte der hohe Einheitsfangwert in f nicht dargestellt werden.

## Karpfen

Beim Karpfen wurde die Güte der Anpassung von Gesamtentnahme, Gesamtfang und Einheitsfang als Maßzahlen mit bekannten Besatzdichten von K3 ermittelt. Es wurden nur Fänge dreijähriger Karpfen ausgewertet, weil die Abundanz der Gewässer für ältere Karpfen unbekannt war. Es zeigte sich, dass es beim Karpfen

sowohl zwischen der Besatzdichte und der Gesamtentnahme als auch zwischen der Besatzdichte und dem Gesamtfang sehr enge Zusammenhänge gab ( $r^2 > 0,71$ , Abbildung 17a,b). Der Zusammenhang wurde aber weiter verstärkt, wenn man die gefischte Zeit berücksichtigte und den mittleren Karpfeneinheitsfang der Angler berechnete ( $r^2 > 0,84$ , Abbildung 17c). Das heißt: auch beim Karpfen war der mittlere Einheitsfang der Angler der beste Anzeiger für die Karpfenbestandshöhe, aber im Unterschied zum Hecht (bzw. den anderen Arten, siehe unten) korrelierten auch die absoluten Ausfangmaße sowie der absolute Ertrag eng mit der Besatzdichte.

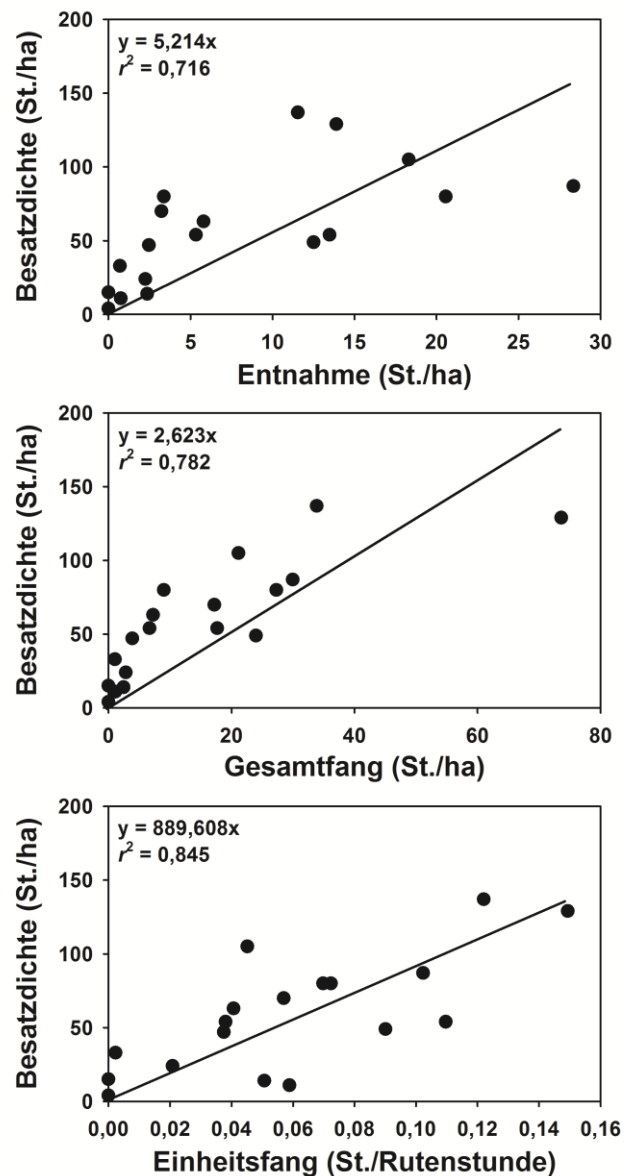
Weitere Artbeispiele (Aal, Weissfische), die vorliegende Aussagen zu Hechte und Karpfen stützten, finden sich in einer weiterführenden Publikation (Arlinghaus et al. 2016a)

Fangstatistiken ohne gefischte Zeit sind mit Ausnahme des Karpfens und anderer ausschließlich auf Besatz basierende Fischarten (z. B. Aal in stehenden Gewässern, Arlinghaus et al. 2016a) als Monitoringinstrument in der Angelfischerei weniger nutzbringend, da aus den Daten nicht fehlerfrei auf die Fischbestandsentwicklung und -größe geschlussfolgert werden kann. Es wurde insbesondere festgestellt, dass sowohl die je Hektar normierten Gesamtentnahmen als auch die Gesamtfangdaten nur mittelmäßig (Hechte) oder schwach (Weißfische, vgl. Arlinghaus et al. 2016a) aussagekräftig für die zugrunde liegenden Fischhäufigkeiten im Gewässer waren. Einheitsfänge waren hingegen sehr gut geeignet, unterschiedlich hohe Bestände von Hechten, Karpfen Aalen und Weißfischen anzuzeigen (Arlinghaus et al. 2016a). Allerdings konnte beim Karpfen (und mit Einschränkungen auch beim Aal) eine gute Aussagekraft der absoluten Maßzahlen nachgewiesen werden. Für beide Arten gilt, dass sie in den meisten geschlossenen Standgewässern nicht nennenswert natürlich aufkommen und daher die Rekrutierung auf Besatz zurückgeht. Das gilt entsprechend für Regenbogenforellen in Standgewässern oder andere Arten, die ausschließlich besatzgestützt sind. Aus dem höheren Indikatorwert der Gesamtfänge beim Karpfen (und mit Abstrichen auch beim Aal) kann eine wichtige Schlussfolgerung für das Management des Fischbesatzes in der Angelfischerei gezogen werden: bei nicht reproduzierenden Arten, deren Rekrutierung ausschließlich oder überwiegend besatzgestützt ist (z. B. Karpfen oder Aal in geschlossenen Seen), kann aus absoluten Ausfängen abgelesen werden, ob ein Besatz in den Fängen auftaucht und ob ggf. ein Nachbesatz nötig ist (der nach

hohen Ausfangmengen künftig nötig sein kann). Diese Anwendbarkeit absoluter Entnahmen als Bestandsanzeiger gilt allerdings ausschließlich für nicht natürlich reproduzierende Arten.

An dieser Stelle ist auf ein in der Praxis häufig anzutreffendes Phänomen bei der hegerischen Bewertung von Ausfängen gemäß Fangstatistik hinzuweisen, dass es richtigzustellen gilt. Viele Angelvereine besetzen Fische nach, für die ein hoher Ausfang (bzw. Ertrag) gemäß Fangstatistik dokumentiert wurde (vgl. Beispiel oben zu Karpfen). Dieser „buchhalterische“ Ansatz der Besatznotwendigkeit ist aber wie bereits angedeutet ausschließlich auf nicht natürlich reproduzierende Arten anwendbar, weil in diesen Fällen hohe Ausfänge tatsächlich auf zurückgehende Bestände in Folgejahren schließen lassen. Bei reproduzierenden Arten deuten hohe Ausfänge hingegen auf produktive Bestände hin, da die Ertragsbildung über die Prozesse Wachstum, natürliche Reproduktion und natürliche Sterblichkeit und nicht ausschließlich über Besatz reguliert wird (Kapitel 1). Jeder reproduzierende Bestand wird die interne Bestandsdynamik und die daraus hervorgehende Ertragsbildung an den Fischereidruck anpassen. Lastet der Fischereidruck über mehrere Jahre an, entwickelt sich ein sogenanntes befischtes Gleichgewicht (Kapitel 1). Entsprechend wird sich die Ertragsbildung in langfristig stabilen Ertragszahlen manifestieren, die dem herrschenden Fischereidruck entsprechen, so dass hohe Erträge (hohe Ausfänge) bei reproduzierenden Beständen (z. B. Hechte oder Weißfische) für stabil hohe Bestände sprechen, in die gerade nicht besetzt werden sollten. Der „buchhalterische“ Ansatz der Planung von Besatz nach den absoluten Ausfängen ist daher unbedingt auf nichtreproduzierende Arten wie den Karpfen oder Aale und Regenbogenforelle in geschlossenen Seen zu beschränken.

An dieser Stelle ist eine Nebenbemerkung angebracht: aus Einheitsfängen sind auch Einsichten über die relative Fängigkeit unterschiedlicher Fischarten abzuleiten. Wenn man beispielsweise die Karpfeinheitsfänge (Abbildung 17) mit dem Hechtbeispiel (Abbildung 16) vergleicht, wird deutlich, wie schlecht der Karpfen im Vergleich zum Hecht mit der Angel fangbar ist. Fängt man beispielsweise bei einer Bestandsgröße von 10 Hechten pro Hektar im Durchschnitt alle fünf gezielte Hechtangelstunden einen mäßigen Hecht, benötigt es zehn Karpfenstunden für einen K3-Karpfen – bei einer Bestandshöhe von fast 90 Fischen pro Hektar.



**Abbildung 17** Zusammenhang zwischen der in den Angeltagebüchern berichteten Gesamtentnahme sowie dem Gesamtfang und Einheitsfang der Angler und der Besatzdichte dreijähriger Karpfen. Zur Auswertung wurden nur Angaben nach den experimentellen Besatzmaßnahmen berücksichtigt (Herbst 2011 bis Ende 2012) unter Annahme keiner natürlichen Sterblichkeit nach Besatz. Des Weiteren wurden nur Erstfänge in die Analyse einbezogen (einige Karpfen wurden mehrfach gefangen, weil sie nach dem Fang zurückgesetzt wurden).

## Schlussfolgerungen und abschließende Hinweise

- Modifizierte Fangbücher, die Aussagen über Einheitsangelfänge erlauben, sind sehr gut geeignet, als Monitoringinstrument zur Maßnahmenerfolgskontrolle bei der lernfähigen Hege und Pflege eingesetzt zu werden. Fast alle Angelvereine haben ein Fangmeldesystem bereits etabliert, das jedoch derzeit überwiegend auf die Erhebung der absoluten Ausfänge ausgerichtet ist. Durch eine geringfügige Modifikation der traditionellen, weitverbreiteten Fangstatistik, die neben Fängen und Entnahmen auch die gefischte Zeit bzw. der Fischereiaufwand je Gewässer erhebt, könnten die immensen Vorteile der Einheitsfänge als Maßzahl der Fischbestandsentwicklung ohne größeren Aufwand genutzt werden. Die entsprechenden Fangbücher können im Detailgrad variieren zwischen echten Angeltagebücher und Systemen, wo der Nutzer je Gewässer auch die Zahl der Ausflüge und die ungefähre mittlere Angeldauer notiert. In jedem Fall sind nicht nur entnommene Fische, sondern Fänge insgesamt zu notieren.
- Fänge je gefischter Zeit sind sehr gute Anzeiger für die Fischbestandsgrößen zwischen unterschiedlichen Gewässern. Entsprechend können aus Zeitreihenanalysen von Einheitsangelfängen innerhalb und zwischen einzelnen Gewässern Veränderungen der Fischbestände über die Zeit abgelesen werden (langfristige Perspektive). Ein weiteres kurzfristigeres Anwendungsfeld der Einheitsfänge ist der Vergleich der Fischbestandsentwicklung vor und nach der Einführung einer neuen Hegemaßnahme (z. B. Durchführung von Besatz). Da sich zwischen einzelnen Jahren auch die Umweltbedingungen ändern, sind diese Vorher-Nachher-Einheitsfangvergleiche idealerweise mit der Beobachtung von Einheitsfängen in unbeeinflussten Kontrollgewässern, in denen die Hegemaßnahmen nicht verändert werden, zu vergleichen.
- Wie die gezeigten Beispiele verdeutlichen, sind Fangstatistiken ohne gefischte Zeit abgeschwächt nur bei Fischarten, die sich im Gewässer nicht stabil natürlich vermehren (Beispiel Karpfen), als Monitoringinstrument geeignet. Wahrscheinlich gilt entsprechendes für Regenbogenforellen in Standgewässern oder andere Arten, die ausschließlich besatzgestützt sind.

Bei reproduzierenden Arten wie dem Hecht gilt das nicht. Hier sind unbedingt Einheitsfänge einzusetzen, weil absolute Entnahmen die Bestandshöhen nur sehr unsicher abbilden.

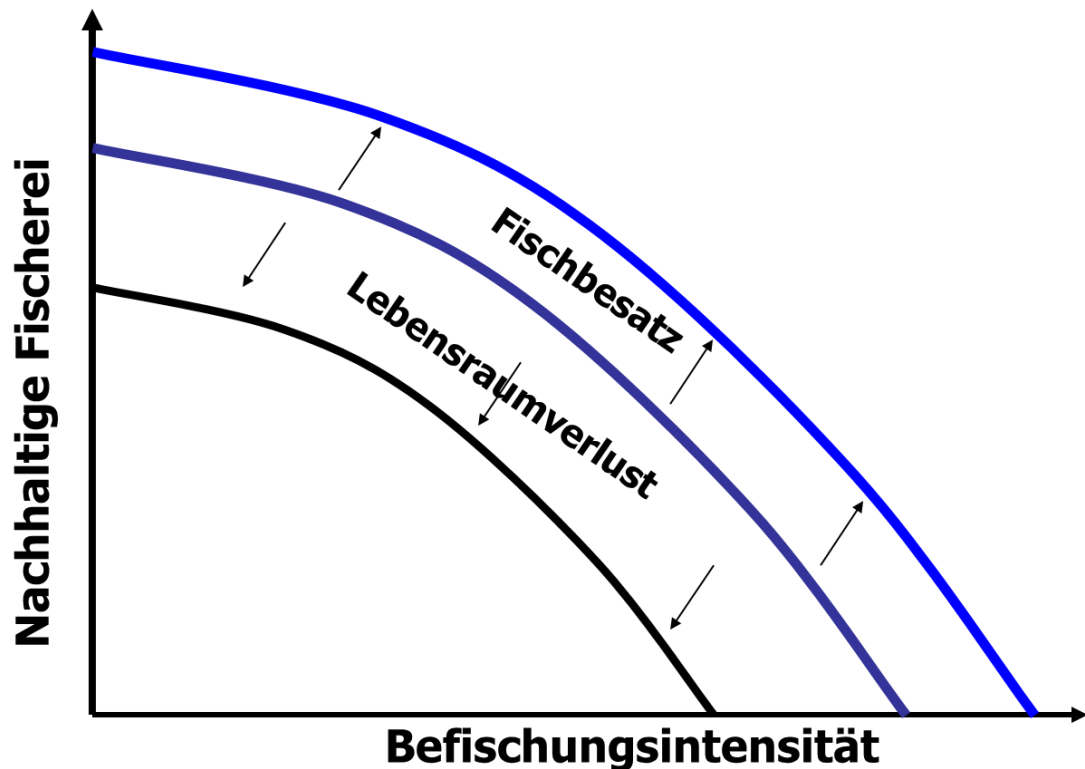
- Ein abschließender Hinweis: Einheitsangelfänge sind Indikatoren der Bestandstrends. Bewirtschafter, die zusätzlich auch an den Erträgen interessiert sind, könnten die mittleren Einheitsfänge mit dem Gesamtangelaufwand oder der Gesamtanglerzahl hochrechnen, um ein Maß für den Gesamtfang zu haben (entsprechendes gilt für die Gesamtentnahme). Die Gesamtentnahme ist vor allem bei nichtrekrutierenden Arten ein geeignetes Maß der zu erwartenden Bestandshöhe, wenn man vom Besatz die Entnahmen (sowie einen Anteil natürlich sterbender Fische) abzieht. Hohe Entnahmen sind also bei nichtrekrutierenden Arten auch gleichbedeutend mit einer hohen fischereilichen Sterblichkeit. Selbiges gilt aber nicht für reproduzierende Arten. Hier deutet eine hohe absolute Entnahme auf einen produktiven Bestand hin (Abbildung 14), der sich von selbst trägt. Der klassische „buchhalterische“ Ansatz in der anglerischen Bewirtschaftung (man setzt viel nach, wenn auch die Entnahme hoch ist), gilt ausschließlich für nichtreproduzierende Arten, nicht aber für reproduzierende. Welche Art in einem Gewässer reproduziert, und welche nicht, lässt sich wieder aus der Fangstatistik ableiten, wenn man nicht nur Entnahmen, sondern auch alle Fänge (inkl. Nullfangtage und vor allem untermaßige Fische) erhebt.



### **3 Identifikation grundsätzlich geeigneter Hegeansätze: Fischbesatz      Entnahmebestimmungen      oder Lebensraummanagement**

#### **3.1 Allgemeine Einführung**

Der Gewässerwart kann zur Erreichung seiner Hegeziele, wie beispielsweise das Ziel des Erhalts einer bedrohten Art (naturschutzfachliches Ziel) oder das Ziel der Erhöhung der anglerischen Qualität der Gewässer durch Steigerung von Fangraten oder Fischgrößen (fischereiliches Ziel), zwischen drei grundsätzlichen Hegemaßnahmenkomplexen unterscheiden, die natürlich auch in Kombination eingesetzt werden können (Abbildung 18): Fischbesatz, Regulierung der Befischungsintensität (z. B. über Entnahmebestimmungen) sowie Lebensraummanagement (auch als Habitatmanagement bezeichnet, damit sind Maßnahmen zur Aufwertung der Lebensräume oder Renaturierungsmaßnahmen gemeint) (Arlinghaus et al. 2016b). Alle drei Maßnahmenbündel können die Nachhaltigkeit der Fischerei erhöhen und auch helfen, naturschutzfachliche Ziele zu erreichen. In von Menschen stark überformten Gewässern sind das Habitatmanagement sowie die Regulierung der Befischung im Sinne der Nachhaltigkeit meist erfolgversprechender als der Fischbesatz (Abbildung 18). Ausnahmen stellen der Wiederansiedlungsbesatz von ausgestorbenen/verschollenen Arten sowie der meist fischereilich motivierte Erhaltungsbesatz mit nicht reproduzierenden Fischarten dar, denn ohne Besatz wären die Existenz der Art und somit die Fischerei auf die Art gefährdet. Allerdings muss Wiederansiedlungsbesatz mittelfristig von Habitatmanagementmaßnahmen flankiert werden (z. B. Durchgängigkeit schaffen bei Wiederansiedlung von Lachs und Stör), da in gestörten Systemen nur so langfristig auf Besatz nach einer Etablierung eines sich selbst haltenden Bestands verzichtet werden kann (zu Details verschiedener Besatzformen, siehe Kapitel 3.2).



**Abbildung 18** Darstellung von drei Managementstrategien und ihren theoretischen Einflüssen auf die Nachhaltigkeit der Fische und der Fischerei. Das Management der Befischungsintensität sowie die Verbesserung der Lebensräume steigern die Nachhaltigkeit meist mehr als unterschiedliche Besatzstrategien. Natürlich gibt es auch Ausnahmen (z. B. Besatz einer nicht reproduzierenden Fischart in Baggerseen, die ohne Besatz fischereilich nicht nutzbar wäre, oder Wiederansiedlungsbesatz einer ausgestorbenen Art).

Abbildung 19 zeigt entscheidende Aspekte, die sich der Gewässerwart vor Augen führen kann, um eine erste grundsätzliche Entscheidung zu fällen, welche Hegemaßnahme – unabhängig von ihrer konkreten Ausformung – zu wählen ist (FAO 2012). Eine Grundfrage, die beispielsweise geklärt werden muss, lautet: Was ist grundsätzlich geeigneter, um unter bestimmten Bedingungen meine Ziele als Gewässerwart zu erreichen; Besatz, eine Schonmaßnahme oder Habitatmanagement? Eine dem Entscheidungsbaum in Abbildung 19 zugrunde liegende Annahme geht davon aus, dass übliche Hegeziele eine Erhöhung der Bestandsgröße bzw. der Durchschnittsgröße der Fische im Bestand sind, die innerhalb der ökologischen Tragkapazität des Gewässers und ohne Beeinträchtigung von Nichtzielarten zu erreichen sind. Die vorgeschlagenen grundsätzlichen Herangehensweisen sollten stets als prinzipiell geeignete Optionen zur Hegezielerreichung verstanden werden, wobei deren konkreter Zuschnitt erst an

den Gewässern vor Ort über das Prinzip von „Versuch und Irrtum“ entwickelt werden kann (siehe Kapitel 2: Lernfähige Hege und Pflege).

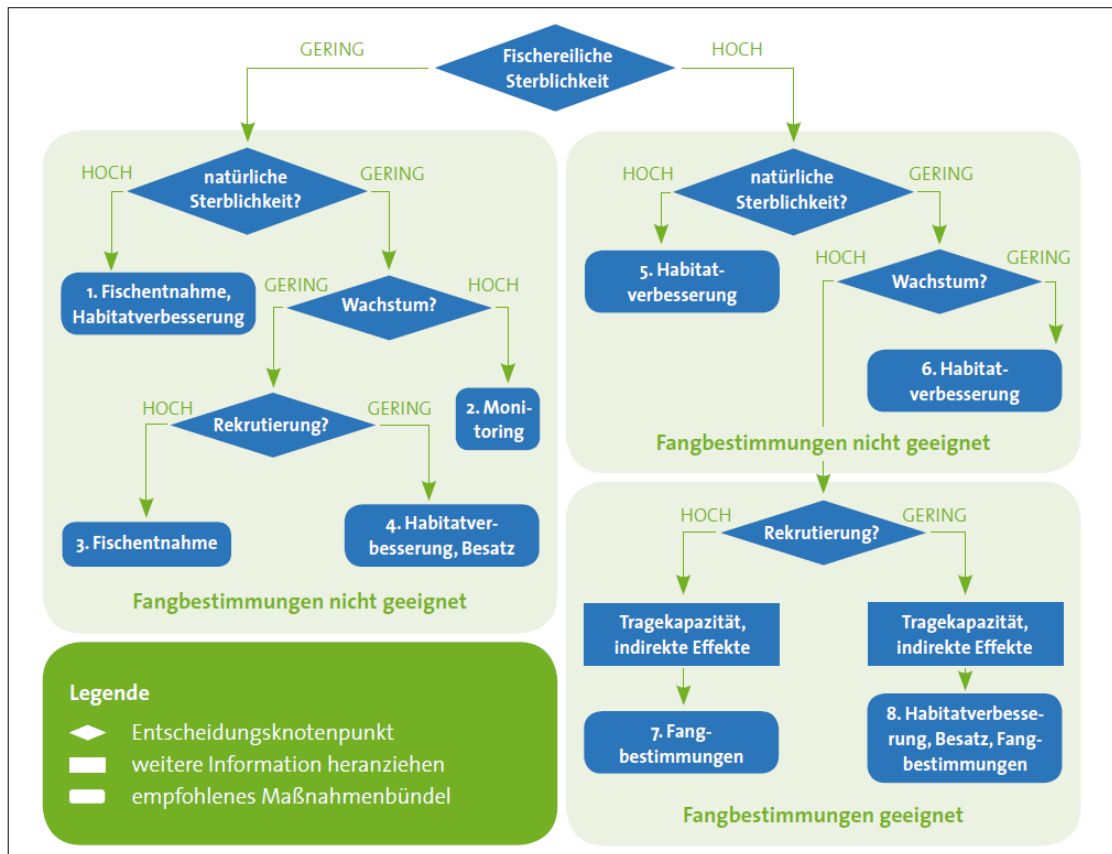
Welche Maßnahmen sind nun unter welchen Voraussetzungen konkret geeignet, positiv zur Erreichung der Hegeziele beizutragen? Der Entscheidungsbaum zeigt auf, dass Entnahmebestimmungen wie Mindestmaße oder tägliche Entnahmebeschränkungen meist nicht nötig sind, wenn die fischereiliche Sterblichkeit bzw. der Fischereidruck gering ist (Abbildung 19, Nummern 1 bis 4). Unter Umständen ist sogar eine Steigerung der fischereilichen Entnahme angeraten, um den Bestand auszudünnen und dichteabhängige Einflüsse auf das Wachstum (im Extremfall sogar „Verbuttung“) sowie die natürliche Sterblichkeit einzudämmen. Das ist vor allem dann der Fall, wenn gleichzeitig das natürliche Aufkommen (Rekrutierung) sehr hoch ist und die Jungfische ohne die Entnahme in starke Nahrungskonkurrenz geraten würden (Abbildung 19, Nummern 1 und 3). Beispiele für diese Situationen finden sich in manchen Gewässern bei Barschen oder Weißfischen.

Wenn die Fischereisterblichkeit und die natürliche Sterblichkeit allerdings hoch sind (Abbildung 19, Nummer 5), aber das Wachstums der Fische gering (Abbildung 19, Nummer 6), stellen Verbesserungen der Lebensraumqualität wahrscheinlich geeignetere Maßnahmen dar als die Hege über Fangbestimmungen, weil die Schonung von bestimmten Größenklassen über Fangbestimmungen die Wachstumsdepressionen und die hohe natürliche Sterblichkeit nur verstärken würde. Stattdessen scheint es erfolgversprechender, durch die Schaffung bestimmter Habitate und Refugien das Wachstum anzuregen und die natürliche wie fischereiliche Sterblichkeit zu reduzieren (z. B. mit künstlich oder neu eingebrachten Unterständen, in die sich die Fische zurückziehen können). Wenn allerdings die Fischereisterblichkeit und das Wachstum hoch sind und die natürliche Sterblichkeit gleichzeitig gering, so sind Entnahmebestimmungen wahrscheinlich das Hegemittel erster Wahl (Abbildung 19, Nummern 7 und 8). Unter diesen Bedingungen sollte aus der Reduktion der Fischereisterblichkeit eine Steigerung der Durchschnittsgröße und der Bestandshöhe resultieren. Als mögliche Fangbestimmungen stehen tägliche, wöchentliche oder jährliche Entnahmebegrenzungen, Mindestmaße, Entnahmefenster, Maximalmaße, Kauf von Entnahmemarken, Schonzeiten und Ähnliches zur Verfügung (Kapitel 4). Auch Begrenzungen der Befischungsintensität durch eine Beschränkung der Angelkarten oder des Angelaufwands allgemein (z. B.

über die Unterschutzstellung von bestimmten Gewässergebieten oder die Eingrenzung der Befischungszeiträume) gehören zum Repertoire der Fangbestimmungen, das im Sinne der lernfähigen Hege und Pflege ausprobiert werden sollte (Detaillausführungen in Kapitel 4). Natürlich dürfen die gesetzlichen Mindeststandards, zum Beispiel bei den Mindestmaßen bei ausgewählten Arten, nicht unterlaufen werden, aber jeder Verein kann diese Mindeststandards immer dann legal verschärfen, wenn sie gemäß Landesfischereigesetz dem Hegeziel in dem Gewässer dienen (in der Regel Erhalt und Förderung eines natürlichen Fischbestands in naturnaher Artenvielfalt). In diesem Sinne kann jeder Hegetreibende übrigens auch völlig legal Entnahmefenster festlegen, die neben den unreifen kleinen Tieren auch die großen Laichfische mittels eines zusätzlich zum Mindestmaß festzulegenden Maximalmaßes schonen (z. B. beim Hecht 45 - 75 cm oder 80 cm, Kapitel 4).

Wie die bisherigen Ausführungen zeigten, sind in vielen Fällen Entnahmebestimmungen oder Maßnahmen zur Lebensraumaufwertung für die Hege erfolgversprechender als Fischbesatz. Besatz sollte vor allem dann in Erwägung gezogen werden, wenn die natürliche Rekrutierung gering ist oder sogar fehlt und die Rekrutierungsengpässe auch nicht kurzfristig durch Renaturierung behoben werden können (Abbildung 19, Nummern 4 und 8). Es ist wichtig zu bemerken, dass Besatz in natürlich reproduzierenden Beständen auch bei geringer Rekrutierung nur eine von mehreren möglichen Hegestrategien ist (Abbildung 19, Nummern 4 und 8). Manchmal ist Besatz auch bei eingeschränktem natürlichem Aufkommen der Zielart nicht die Methode der Wahl. So könnten die Populationen der Zielfischarten beispielsweise besser durch eine Aufwertung des Lebensraums und die damit verbundene Förderung der natürlichen Rekrutierung oder – bei hohem fischereilichen Druck – durch eine verstärkte Schonung der Laichtiere über restriktive Fangbestimmungen wie Entnahmefenster (Arlinghaus et al. 2010, Gwinn et al. 2015) angeregt werden. Auch kann es sein, dass die zu besetzende Art als Satzfish nicht zur Verfügung steht oder eine schlechte Satzfishqualität besteht (Kapitel 5). Besatz ist vor allem dann das beste Mittel, wenn die entsprechende Fischart in dem betreffenden Gewässer heimisch ist, aber aufgrund von kurz- und mittelfristig unveränderlichen Engpässen bei den zur Verfügung stehenden Laichplätzen bzw. Jungfischlebensräumen nicht oder nur ungenügend reproduziert und demzufolge auf natürlichem Wege keine ausreichenden Fischzahlen aufkommen, um eine gezielte

Beangelung im Gewässer oder Gewässerabschnitt zu gewährleisten. Natürlich ist Besatz auch immer die Methode der Wahl, wenn eine ausgestorbene Fischart wieder angesiedelt werden soll (naturschutzfachliches Ziel) oder es wiederholt zu Fischsterben ohne Möglichkeit der raschen Wiederbesiedelung kommt (zu Details, siehe Kapitel 5).



**Abbildung 19** Allgemeiner Entscheidungsbaum zur Identifikation des grundsätzlichen Managementvorgehens in der anglerischen Hege: Fangbestimmungen, Habitatverbesserung oder verschiedene Formen von Besatz (modifiziert aus FAO 2012 und Arlinghaus et al. 2015)

## Schlussfolgerungen für die Praxis

- Dem Hegenden stehen grundsätzlich drei verschiedene Managementstrategien zur Verfügung: Habitatmanagement, Management der Befischungsintensität und Fischbesatz.
- In vielen Fällen, gerade in anthropogen überformten Gewässern, ist das Zurückgreifen auf Habitatmanagement erfolgversprechender als Besatz.

- Unter den Bedingungen scharfer Befischung sind Fangbestimmungen meist geeigneter als Hegemaßnahmen als Habitatmanagement und Besatz.
- Besatz ist vor allem dann angeraten, wenn die natürliche Rekrutierung gering ist und nicht durch eine Aufwertung des Habitats oder durch einen verringerten Befischungsdruck angeregt werden kann.

## 3.2 Fischbesatzformen

Besatz ist nicht gleich Besatz. In der Diskussion um das Für und Wider von Besatz ist es wichtig, Klarheit über die zur Debatte stehenden Besatzformen zu gewinnen, da die naturschutzfachlichen Konfliktpotenziale hier variieren können. Es lassen sich sechs grundlegende Besatzformen benennen, die sich in Hinblick auf Anwendungsgebiet, Zielstellung (fischereilich oder naturschutzfachlich) und gesellschaftliche sowie naturschutzfachliche Konfliktpotenziale hinsichtlich des Erhalts der Biodiversität unterscheiden (Tabelle 2). Diese lassen sich weiter unterteilen in Besatzmaßnahmen mit natürlich nicht rekrutierenden Arten und Besatz mit Arten, die im Besatzgewässer natürlicherweise vorkommen:

### Nicht natürlich rekrutierende Fischarten

- **Erhaltungsbesatz:** Besatz heimischer Fischarten in Gewässer, in denen sie nicht oder nicht mehr erfolgreich rekrutieren und ohne Besatz verschwinden würden. Erhaltungsbesatz ist typisch für Karpfen, Aal und Regenbogenforelle in geschlossenen Seen. Fischereiliche Ziele stehen im Vordergrund. Erhaltungsbesatz birgt geringe bis mittlere naturschutzfachliche Konfliktpotenziale, die vor allem dann zu Tage treten, wenn zu hohe Besatzdichten entstehen (z. B. beim Karpfen) oder bedrohte Wanderfischarten (z. B. Aal) bzw. gebietsfremde Arten (z. B. Regenbogenforelle) ausgesetzt werden. Häufig können kleine Satzische oder sogar Brut eingesetzt werden, die entstehende Fischerei hat den Charakter einer „Put-Grow-and-Take“-Angelei ohne Anspruch an eine natürliche Vermehrung.
- **Einbürgerungsbesatz:** Einbürgerung einer heimischen Fischart in ein bisher nicht besiedeltes Gewässer (z. B. Zander in neu geschaffenen Baggersee)

oder nach einem Fischsterben mit dem Ziel, den Besatz nach erfolgter Etablierung einzustellen. Sofern gebietsfremde Arten besetzt werden sollen, sind vielerorts Genehmigungen durch die Fischereibehörden einzuholen. In der Regel werden Einbürgerungsbesatzmaßnahmen aus fischereilicher Sicht durchgeführt. Je nach Auswahl der Besatzart hat diese Maßnahme ein mittleres bis hohes naturschutzfachliches Konfliktpotenzial und sollte idealerweise in enger Abstimmung mit Fachexperten und Fischereibehörden erfolgen. Es sollten dem Gebiet möglichst genetisch und ökologisch nahestehende Fische besetzt werden. Je nach Art, Verfügbarkeit und Überlebenswahrscheinlichkeit kann auf Jungfische oder Laichfische zurückgegriffen werden.

- **Wiederansiedelungsbesatz:** Wiedereinbürgerung ausgestorbener heimischer Fischarten (z. B. Lachs, Stör). Diese Art von Besatz hat vornehmlich naturschutzfachliche Ziele und ist durch geringe Konfliktpotenziale zwischen Naturschutz- und Fischereiinteressen gekennzeichnet. Es ist das Ziel des Wiederansiedelungsbesatzes, durch begleitende Verbesserung der Lebensräume den Besatz mittelfristig obsolet werden zu lassen, sobald sich der Bestand über Reproduktion selbst trägt. In der Regel werden möglichst junge Fische besetzt, die sich über natürliche Selektion an das Besatzgewässer anpassen sollen. Bei einigen Salmoniden kann bei geeigneten Kiesbänken auch der Einsatz von Eibrutboxen erfolgen, um die natürliche Selektion möglichst früh ansetzen zu lassen.

## Natürlich rekrutierende Fischarten

- **Steigerungsbesatz:** Besatz von Fischen heimischer Arten in gesunde, reproduzierende Bestände, um die natürliche Produktion über das derzeit vorfindliche Maß hinaus zu steigern (z. B. Meerforellen- oder Aalbesatz in Flüssen). Diese Besatzform kennzeichnet eine stark ausgeprägte fischereiliche Motivation und in der Regel – je nach Zielart und Auswahl des Besatzmaterials – ein mittleres naturschutzfachliches Konfliktpotenzial, weil die künstliche Erhöhung der Bestände einer Art immer auch zu Lasten einer anderen Art oder Organismengruppe geht. Zur Bewertung des

naturschutzfachlichen Konfliktpotenzials ist es daher wichtig einzuschätzen, inwieweit durch den Steigerungsbesatz Futterkonkurrenz und Fraßdruck auf andere Organismengruppen ausgelöst werden kann. Außerdem ist zu klären, ob durch den Besatz auch die Befischung der Wildpopulation ansteigt. In den USA werden Satzfische (z. B. Pazifische Lachse) häufig markiert, so dass sie und nicht etwa die Wildfische selektiv entnommen werden können. Steigerungsbesatz gelingt nur bei Besatz mit Fischgrößen und Lebensstadien, die die natürlichen Engpässe umgangen haben und die konkurrenzstark gegenüber den Wildfischen und anderen Arten sind (beispielsweise mit Smolts bei Wandersalmoniden, wenn es im Fluss bzw. Bach einen Mangel an Jungfischeinständen gibt, in marinen Gebieten aber noch freie Futterressourcen verfügbar sind). Sollen die Satzfische nach Besatz lange in den besetzten Gewässersystem überleben (zum Beispiel anadrome Wandersalmoniden), so müssen sie natürlich aufgezogen und genetisch möglichst identisch mit der Wildpopulation sein, um realistische Überlebenschancen über längere Zeiträume zu haben. Der Steigerungsbesatz gut angepasster, kleiner Satzfische kann nur dann gelingen, wenn die natürlichen Rekrutierungsengpässe im Larven- oder frühen Jungfischstadium liegen. Bei großen Satzfischen könnte Steigerungsbesatz unter Umständen auch mit domestizierten oder wo erlaubt mit sterilen Satzfischen durchgeführt werden, sofern diese Tiere grundsätzliche Überlebensstrategien erlernt haben und sofern ein vergleichsweise rascher Rückfang angestrebt wird; andernfalls fallen große, domestizierte Satzfische sehr schnell natürlichen Prädatoren zum Opfer, so dass die Fänge nicht notwendigerweise gesteigert werden. Eine hohe natürliche Reproduktion von züchterisch stark domestizierten Satzfischen ist kaum zu erwarten (z. B. Araki et al. 2007), kann aber trotzdem bei hohen Besatzzahlen die Wildfischbestände über Hybridisierung während der Laichzeit beeinträchtigen. Ein Rückgriff auf gewässereigene Nachkommen ist daher in den meisten Fällen naturschutzfachlich angeraten.

- **Kompensations- bzw. Ausgleichsbesatz:** Besatz von fischereilich oder naturschutzfachlich relevanten Arten (z. B. Bachforelle) in natürlicherweise auf geringem Niveau reproduzierende Bestände zum Ausgleich von Rekrutierungsdefiziten, die zum Beispiel aufgrund von anthropogenen Gewässerveränderungen entstanden sind und kurz- und mittelfristig nicht



behooben werden können. Diese Art von Besatz ist in der hiesigen Angelfischerei vielleicht am häufigsten anzutreffen (von Siemens et al. 2008) und ist gleichzeitig die, deren Erfolg am schwierigsten abzusichern ist. Der Übergang vom Kompensations- zum Steigerungsbesatz ist fließend, weil in beiden Fällen die existierenden Bestände erhöht werden sollen. Entsprechend unterscheiden Lorenzen et al. (2012) und Arlinghaus et al. (2016a) den Steigerungs- und den Kompensationsbesatz nicht, sofern jeweils fischereiliche Ziele leitend sind. Um Ausgleichsbesatzmaßnahmen vom Steigerungsbesatz abzugrenzen, ist auch der Zustand der Wildpopulation relevant, den beim Ausgleichsbesatz stets eine eingeschränkte natürliche Rekrutierung kennzeichnet. Bei der Begründung des Ausgleichs- bzw. Kompensationsbesatzes spielen meist naturschutzfachliche und fischereiliche Interessen gleichermaßen eine Rolle, so dass man es in der Regel mit einer schwer zu greifenden Mischbesatzform zu tun hat. Je nach Auswahl des Besatzmaterials und der Intensität des Besatzes existiert ein mittleres bis hohes naturschutzfachliches Konfliktpotenzial, das aber manchmal nicht als solches erkannt wird, weil es das Ziel des Kompensationsbesatzes ist, eine zurückgehende natürliche Population zu stützen. Es kann aber einerseits zur Hybridisierung von Satz- und Wildfischen kommen (Lorenzen et al. 2012). Andererseits kann es wegen der von den numerisch dominanten Satzfishen manchmal ausgelösten Futter- und Einstandskonkurrenz auch zu Verdrängungs- und Fraßeffekten auf die bereits geschwächte natürliche Population kommen. Angesichts der Rekrutierungs- und Habitatengpässe im Besatzgewässer ist eine Bestandssteigerung über eine Anregung der Verlaichung und Reproduktion gegenüber dem unbesetzten Zustand trotz praktisch vielfach geäußerter Begründungen für den Besatz häufig nicht zu garantieren, weil die Nachkommen aller erfolgreich aus dem Besatz herangewachsenen Laichtiere in der Folgegeneration durch die gleichen Engpässe getrieben werden, die zum Rekrutierungsdefizit geführt haben. Es ist zur Erhöhung der fischereilichen Erfolgswahrscheinlichkeit daher bei Kompensationsbesatz meist angeraten, relativ große Satzfishen zu verwenden, die die im Larven- oder Jungfischstadium bestehenden Engpässe bereits überwunden haben. Diese Empfehlung widerspricht vielen Besatzpraxisratgebern und überrascht daher vielleicht den einen oder

anderen. Andererseits liegen die Engpässe häufig im Jungfischlebensraum, so dass eine Bestandssteigerung nur durch den Besatz größerer Tiere, die die in der Regel längenabhängigen Engpässe umgangen haben, wahrscheinlich ist. Satzfische für Kompensationsmaßnahmen sollten idealerweise natürlich aufgezogen und an die lokalen Bedingungen so weit angepasst sein, dass sie mit den Bedingungen im Besatzgewässer langfristig zurechtkommen und hoffentlich in Ausnahmefällen auch zur Reproduktion beitragen und dann keine gebietsfremden Gene in die Population eintragen. Ohne begleitende Aufwertung der Lebensräume wird Kompensationsbesatz aber nur in Ausnahmefällen zum Anstieg der natürlichen Rekrutierung beitragen, so dass diese Maßnahme rasch den Charakter einer „Put-Grow-and-Take“-Fischerei ohne Rückwirkung auf die Rekrutierung bekommt. Bei vielen Kompensationsbesatzmaßnahmen existieren daher Zielkonflikte zwischen Fischerei- und Naturschutzinteressen, die ohne Rückgewinnung funktionaler Laich- und Jungfischlebensräume kaum aufzulösen sind. Je naturnäher aufgezogen der Satzfish, desto wahrscheinlicher ist, dass der Fisch ähnlich gut bzw. schlecht wie ein natürlicher Fisch gleicher Größe überlebt, aber desto eher finden nach Besatz auch Kreuzungsprozesse mit Wildfischen statt, was die zahlenmäßig häufig unterlegene Wildfishpopulation negativ beeinflussen kann, ohne jedoch die Rekrutierung im gestörten System zwangsläufig zu erhöhen. Da meist keine lokalen Satzfishherkünfte verfügbar sind, besteht bei einem erfolgreichen Kompensationsbesatz daher stets die Gefahr, dass die geschwächte lokale Population auf dem Wege der Introgression durch die zahlenmäßig dominierenden Satzfish stark verändert wird oder sogar ausstirbt. Auch ist nachgewiesen worden, dass die natürliche Produktivität besatzgestützter Population sinkt, je höher der Anteil der Satzfish am künftigen Laicherbestand sind (Chilcote et al. 2011, Young 2013). Die Interaktionen zwischen Wild- und Satzfishpopulation könnten eingeschränkt oder sogar gänzlich verhindert werden, wenn in stark befischten Beständen gut fangbare, domestizierte, teilweise auch große Satzfish ausgesetzt würden (im Extremfall entnahmefähige Tiere), die den Fang mit hoher Wahrscheinlichkeit steigern und dadurch schnell rückgefangen werden, aber die sich in ihrem Verhalten und ihrer Ökologie so stark von den Restbeständen der natürlichen Population unterscheiden, dass eine

Vermischung über die Fortpflanzung unwahrscheinlich ist. Das Ziel, Einflüsse auf die Wildpopulation zu reduzieren, könnte auch über die Nutzung von triploiden, sterilen Fischen weiter optimiert werden, aber hier verschwimmen die Grenzen zum Steigerungsbesatz, weil vom Aussetzen domestizierter, entnahmefähiger Fische, die im Extremfall sogar triploid sind, keine nachhaltige Bestandsaufwertung über die Reproduktion zu erwarten ist. Allerdings ist das Aussetzen triploider Fische in Deutschland derzeit verboten und bleibt daher eine rein theoretische Möglichkeit. Das Aussetzen großer, im Extremfall entnahmefähiger Fische im Rahmen des Kompensationsbesatzes kann überdies als Put-and-Take missverstanden und tierschutzrechtlich verfolgt werden. Naturschutz-, Fischerei- und Tierschutzziele sind daher beim Kompensationsbesatz nur schwer in Einklang zu bringen. Die einzige auf den ersten Blick offensichtliche Lösung besteht darin, stets nur Nachkommen von Wildfischen als Satzfishmaterial zu verwenden und so zumindest eine genetische Nähe von Satz- und Wildfischen zu gewährleisten. Allerdings wird in der Fischzucht die sexuelle Selektion umgangen, was ein wesentlicher Grund für eine geringe natürliche Fitness von Satzfishen in Konkurrenz mit Wildfischen der gleichen Art ist (Thériault et al. 2011). In Verbindung mit den künstlichen Haltungsumwelten kann daher verallgemeinert werden, dass selbst die natürlich aufgezogenen Satzfishen auch bei gleicher Länge keine vergleichbare Fitness wie die Wildfische haben werden. Bei hohen Besatzdichten unvermeidbare Kreuzungen zwischen Satz- und Wildfischen können dann zu Fitnessnachteilen der Nachkommen beitragen, wie eine Reihe von Studien an Salmoniden gezeigt hat (Araki et al. 2007, Christie et al. 2012, 2014; Clarke et al. 2016).

- **Stützungs- und Restaurationsbesatz:** Besatz von fischereilich nicht relevanten bedrohten Arten aus Artenschutzgründen in Gewässern, in denen sie auf geringem Niveau natürlicherweise noch vorkommen oder von fischereilich relevanten Arten nach Fischsterben. Ersteres umfasst vor allem den von Angelvereinen mit naturschutzfachlicher Ausrichtung und Begründung gut gemeinten Besatz von Kleinfischarten. Diese Art von Besatzmaßnahmen ist naturschutzfachlich häufig problematisch und sollte daher nur in enger Abstimmung mit Fachexperten durchgeführt werden (Baer et al. 2007). Insbesondere gefährdete Arten wie Bitterlinge, Steinbeißer und andere

Kleinfische bilden nämlich häufig auf engen Räumen, teils innerhalb von Gewässern, genetisch unterscheidbare Linien und Teilpopulationen aus (Baer et al. 2007). Die genetische Nähe der Satzfisher zu den Restpopulationen des Besatzgewässers kann dann mangels Transparenz der Herkunft von Fischen im Satzfishermarkt häufig nicht garantiert werden, weshalb es sehr wahrscheinlich ist, dass über Besatz geografisch getrennte Linien miteinander in Kontakt kommen, was dann zur Hybridisierung mit unvorhersehbaren Folgen für die Biodiversität führen kann.

Neben diesen sechs Besatzformen gibt es eine Reihe von speziellen Besatzmaßnahmen wie Biomanipulation (Mehner et al. 2004), Futterfisherbesatz oder das Aussetzen einzelner sehr kapitaler Fische (Baer et al. 2007), auf die hier aus Platzgründen nicht weiter eingegangen wird. Stattdessen soll in Abbildung 20 ein Entscheidungsbaum vorgestellt werden, der es erlaubt einzugrenzen, welche der oben vorgestellten Hauptbesatzformen unter bestimmten Konstellationen angeraten ist (Arlinghaus et al. 2015, 2016a). Da wir es hier mit fishereilicher Hege zu tun haben, ist der Entscheidungsbaum an fishereilichen Zielen ausgerichtet. Insofern wird auf fishereilich nicht genutzte Arten, die im Rahmen des Stützungs- und Restaurationsbesatzes vorkommen und ausschließlich aus Artenschutzgründen ausgesetzt werden, nicht weiter eingegangen.

**Tabelle 2 Arten von Fischbesatzmaßnahmen und ihre grundsätzlichen Charakterisierungen (Arlinghaus et al. 2015).**

|                                          | <b>Erhaltungsbesatz</b>                                                                     | <b>Einbürgerungsbesatz</b>                                                                                                                             | <b>Wiederansiedelungsbesatz</b>                                                             | <b>Steigerungsbesatz</b>                                                                                                                                                    | <b>Kompensationsbesatz</b>                                                                           | <b>Restaurations- und Stützungsbesatz</b>                                                                                                                                        |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Managementziel</b>                    | Erhalt oder Steigerung von Fängen                                                           | Ansiedelung von Fischen in Gewässern, in denen die Arten noch nicht oder nicht mehr (Fischsterben) vorkommen, zum Aufbau einer fischereilichen Nutzung | Wiederaufbau heimischer Populationen nach dem Aussterben im historischen Verbreitungsgebiet | Steigerung von Fängen über das unbesetzte Maß hinaus                                                                                                                        | Steigerung der Populationsgröße bei Reproduktionsengpässen                                           | Erhalt lokaler Populationen gefährdeter Arten und von kleinen Populationen sowie von Populationen nach Fischsterben, wenn die natürliche Besiedelung nicht zeitnah erfolgen kann |
| <b>Hauptausrichtung</b>                  | fischereilich                                                                               | fischereilich                                                                                                                                          | naturschutzfachlich                                                                         | fischereilich                                                                                                                                                               | naturschutzfachlich und fischereilich                                                                | Naturschutzfachlich, selten fischereilich als Nachnutzung                                                                                                                        |
| <b>Beispiele</b>                         | Karpfen, Aal, Regenbogenforelle in geschlossenen Gewässern                                  | Zander oder Maränen in neu geschaffenen Gewässern, alle Arten nach Fischsterben                                                                        | Lachs, Stör, Meerforelle                                                                    | Meerforelle, Aale in Flüssen, auch Karpfen, falls sie auf geringem Niveau natürlich rekrutieren, Felchen/Maränen                                                            | Die meisten Arten, regelmäßig bei Bachforelle, Äsche oder Aalen in Flüssen, Felchen/Maränen/Schnäpel | Kleinfischarten wie Bitterlinge, Moderlieschen, Schlammpeitzger, alle Arten nach Fischsterben, bedrohte aber noch nicht ausgestorbene Wandersalmoniden                           |
| <b>Produktionssysteme für Satzfische</b> |                                                                                             |                                                                                                                                                        |                                                                                             |                                                                                                                                                                             |                                                                                                      |                                                                                                                                                                                  |
| <b>Art der Domestikation</b>             | Domestiziert                                                                                | So natürlich wie möglich, Wildfische                                                                                                                   | So natürlich wie möglich, Wildfische                                                        | So natürlich wie möglich, Wildfische oder domestiziert                                                                                                                      | So natürlich wie möglich, Wildfische oder domestiziert                                               | So natürlich wie möglich, Wildfische                                                                                                                                             |
| <b>Typische Satzfishgröße</b>            | So groß wie nötig bis hin zu entnahmefähig                                                  | So groß wie nötig bis hin zu Laichfischen                                                                                                              | So klein/jung wie möglich                                                                   | So groß wie nötig bis hin zu entnahmefähig                                                                                                                                  | So klein wie möglich (naturschutzfachlich), so groß wie nötig (fischereilich)                        | So klein wie möglich                                                                                                                                                             |
| <b>Intervention während der Aufzucht</b> | Konditionierung auf natürliche Umwelt und raschen Wiederfang, in manchen Ländern Sterilität | Konditionierung auf natürliche Umwelt                                                                                                                  | Konditionierung auf natürliche Umwelt                                                       | Konditionierung auf natürliche Umwelt, in integrierten Programmen, in denen Satzfische selektiv gefangen werden, auch Selektion auf raschen Wiederfang, manchmal Sterilität | Meist Konditionierung auf natürliche Umwelt oder Selektion auf raschen Wiederfang                    | Konditionierung auf natürliche Umwelt                                                                                                                                            |

|                                          | Erhaltungs-<br>besatz                         | Einbürge-<br>rungsbesatz                                                                 | Wiederan-<br>siedelungs-<br>besatz                                                                            | Steigerungs-<br>besatz                                                                                                                                                                                                                                           | Kompensati-<br>onsbesatz                                                                | Restaura-<br>tions- und<br>Stützungsbe-<br>satz                                                                               |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Produktionssysteme für Satzfische</b> |                                               |                                                                                          |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                         |                                                                                                                               |
| Genetische<br>Aspekte                    | Selektion<br>auf hohe<br>Fangbarkeit          | Hohe geneti-<br>sche Vielfalt,<br>damit Anpas-<br>sung an neues<br>Gewässer<br>gelingt   | Hohe geneti-<br>sche Vielfalt<br>oder Nutzung<br>von Beständen<br>aus ökologisch<br>ähnlichen<br>Lebensräumen | Integrierte<br>Programme:<br>siehe Kompen-<br>sations- und<br>Stützungs-<br>besatz; Getrennte<br>Programme<br>(selektive<br>Entnahme von<br>Satzfischen):<br>Selektion auf<br>hohe Fangbar-<br>keit und Unter-<br>schiedlichkeit<br>von Wild- und<br>Satzfischen | Erhalt der<br>genetischen<br>Vielfalt der<br>natürlichen<br>Population                  | Erhalt der<br>genetischen<br>Vielfalt der<br>natürlichen<br>Population,<br>maximale<br>effektive Popu-<br>lationsgröße        |
| <b>Gewässercharakteristik</b>            |                                               |                                                                                          |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                         |                                                                                                                               |
| Besatzcha-<br>rakteristik                | Hohe<br>Besatzdichte<br>(kontinuier-<br>lich) | Mittlere<br>Besatzdichte<br>(bis zur Etab-<br>lierung, dann<br>Einstellen von<br>Besatz) | Mittlere bis<br>hohe Besatz-<br>dichte (bis zum<br>Selbsterhalt<br>der Population)                            | Besatzdichte                                                                                                                                                                                                                                                     | Mittlere<br>Besatzdichte                                                                | Geringe<br>Besatzdichte                                                                                                       |
| Fischerei-<br>druck                      | Hoch                                          | Mittel bis hoch                                                                          | Gering                                                                                                        | Integriertes<br>Programm:<br>mittel,<br>separate<br>Programme:<br>hoch                                                                                                                                                                                           | Gering bis<br>mittel                                                                    | Gering oder<br>fehlend                                                                                                        |
| <b>Biologische Merkmale</b>              |                                               |                                                                                          |                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                         |                                                                                                                               |
| Herkunft der<br>Satzfische               | Heimisch<br>oder gebiets-<br>fremd            | Heimisch oder<br>gebietsfremd                                                            | Heimisch                                                                                                      | Heimisch                                                                                                                                                                                                                                                         | Heimisch                                                                                | Heimisch                                                                                                                      |
| Natürliche<br>Population                 | Fehlend                                       | Fehlend,<br>sporadische<br>Fischsterben                                                  | Fehlend<br>(ausgestorben)                                                                                     | Vorhanden<br>(gesund, ggf.<br>im Rückgang<br>befindlich)                                                                                                                                                                                                         | Vorhanden,<br>aber in der<br>Rekrutierung<br>stark bis sehr<br>stark einge-<br>schränkt | Vorhanden,<br>aber geringe<br>Populations-<br>größen,<br>im starken<br>Rückgang<br>befindlich,<br>regelmäßige<br>Fischsterben |
| Biologische<br>Wechselwir-<br>kungen     | Interspezi-<br>fisch ökolo-<br>gisch          | Interspezifisch<br>ökologisch                                                            | Interspezifisch<br>ökologisch                                                                                 | Intraspezifisch<br>ökologisch<br>und genetisch,<br>interspezifisch<br>ökologisch                                                                                                                                                                                 | Intraspezifisch<br>ökologisch und<br>genetisch                                          | Intraspezifisch<br>ökologisch und<br>genetisch                                                                                |



|                                                                | Erhaltungs-<br>besatz                                                                                                                                                                                                                               | Einbürge-<br>rungsbesatz                                                                                           | Wiederan-<br>siedelungs-<br>besatz | Steigerungs-<br>besatz                                                             | Kompensati-<br>onsbesatz                                                                                                                                                                                                                                                                           | Restaura-<br>tions- und<br>Stützungsbe-<br>satz                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Biologische Merkmale</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                    |                                    |                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                |
| <b>Naturschutz-<br/>fachliches<br/>Konflikt-<br/>potenzial</b> | Bei ange-<br>messener<br>Besatzdichte<br>theoretisch<br>gering,<br>praktisch<br>mittel, weil<br>regelmäßig<br>eingesetzte<br>Arten wie<br>Karpfen und<br>Regenbogen-<br>forelle von<br>einigen<br>Naturschutz-<br>vertretern<br>abgelehnt<br>werden | Mittel, wenn<br>Genehmi-<br>gungspflicht<br>umgangen<br>wird und<br>gebietsfremde<br>Fische ausge-<br>setzt werden | Gering oder<br>fehlend             | Gering, wenn<br>die inter-<br>spezifischen<br>Interaktionen<br>minimiert<br>werden | Mittel bis<br>hoch, weil<br>regelmäßig<br>ungeeignete,<br>gebietsfremde<br>Herkünfte<br>verwendet<br>werden und<br>ein Fokus auf<br>naturnah auf-<br>gezogene Tiere<br>gelegt wird<br>(hohe Interak-<br>tionsstärke mit<br>Wildfischen)<br>– kann durch<br>Domestizie-<br>rung reduziert<br>werden | Theoretisch<br>gering,<br>aber meist<br>mittel, weil<br>regelmäßig<br>ungeeignete<br>Herkünfte und<br>gebietsfremde<br>Genotypen bei<br>Kleinfischarten<br>verwendet<br>werden |

### 3.3 Entscheidungsbaum

Zur Identifikation, unter welchen Gegebenheiten bestimmte Fischbesatzformen oder alternative Hegemaßnahmen wie Habitataufwertung oder eine Kontrolle der Fischentnahme geeignet sind, bietet der detaillierte Entscheidungsbaum in Abbildung 20 eine Entscheidungshilfe. Entscheidungsträger werden über Entscheidungsknoten durch die wesentlichen entscheidungsleitenden Fragenkomplexe geführt. Indem man die formulierten Fragen nacheinander beantwortet, gelangen man schließlich zum Vorschlag einer entsprechenden Hegelösung, die dann im Rahmen der lernfähigen Hege und Pflege auszuprobieren ist. In wenigen Fällen werden verschiedene Maßnahmen als Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen; in diesen Fällen sind diverse Bewirtschaftungsoptionen denkbar. Die wesentlichen Entscheidungsfragen und -punkte werden im Folgenden vorgestellt.

### Zustandsanalyse und Zielformulierung

Die Zustandsanalyse der anglerischen, fischereilichen, rechtlichen und gewässerkundlichen Grundlagen ist die wesentliche Voraussetzung für eine Problemidentifikation und die entsprechende Zielformulierung. Der Gewässerwart ist

gut beraten, neben den produktionsbiologischen und gewässerkundlichen Grundlagen (z. B. Nährstoffgehalt, Ertragspotenzial, historisches Arteninventar) weitere Informationen zu Fischbeständen, anglerischen Vorstellungen und Erwartungen und administrativ-rechtlichen Grundlagen zu analysieren. In diesem Zusammenhang eignen sich Zeitreihen gut geführter Fangbücher als Maß für die Bestandsentwicklung der Zielarten (idealerweise mit dokumentierten Einheitsfängen, siehe dazu Kapitel 2.2), außerdem sollten die Größenstruktur und die Reproduktionsleistung der Zielfischbestände (findet natürliche Reproduktion im Gewässer statt oder nicht?) berücksichtigt werden. Dabei werden qualitative wie quantitative Informationen einbezogen, häufig können Erfahrungen und Beobachtungen, die engagierte Angler und der Vorstand einbringen, genauso wertvolle Einsichten liefern wie ein gut geführtes Fangbuch oder eine Bestandserhebung mittels Multimaschenstellnetz sowie Elektrofischerei in Zusammenarbeit mit externen oder verbandseigenen Biologen. Als minimale Basis sollten jedem Verein (bzw. dem Gewässerwart) folgende Informationen zur Verfügung stehen:

- Nährstoff- und gewässermorphologischer Zustand aller Gewässer
- Naturschutzfachliche, wasserrechtliche und fischereirechtliche Besonderheiten und mögliche Begrenzungen
- Arteninventar, relative Häufigkeiten verschiedener Arten
- Bestandsgröße im Zeitverlauf, zum Beispiel ermittelt über Einheitsfänge
- Informationen über den Grad der Naturverlaichung und des Naturaufkommens durch die Analyse untermaßiger, kleiner Fische entweder im Angelfang oder in sonstigen Fanggeräten oder nach Beobachtungen
- Erwartungen und Zufriedenheit der Vereinsangler, relative Verteilung unterschiedlicher Anglertypen und ihrer Hauptbedürfnisse
- Nutzungsansprüche und Erwartungen an die Vereinsgewässer vonseiten anderer Interessengruppen (z. B. Naturschutzakteure)
- Zielkonflikte

Das Ergebnis der Status-quo-Analyse erlaubt es dem Verein bzw. Gewässerwart, konkrete Ziele für die Hege der Vereinsgewässer festzulegen, die sich – wenn



möglich – in einem realistischen Zeitraum (3-5 Jahre) auch quantitativ überprüfen lassen. Im Idealfall werden die Mitglieder in die Zielformulierung eingebunden. In jedem Falle sind biologisch nicht erreichbare Erwartungshaltungen (100 Meterhechte je Hektar) oder vollkommen unrealistische Wünsche (z. B. die Etablierung von nichtheimischen Arten) zu identifizieren und deren Nichtberücksichtigung zu begründen, damit die Mitglieder informiert werden und künftige Maßnahmen eher unterstützen.

## **Wird das Ertragspotenzial für die Zielart erreicht?**

In Deutschland lässt sich die Angelfischerei nur mit dem vernünftigen Grund der Fischentnahme tierschutzrechtlich rechtfertigen, was nicht bedeutet, dass eine Befischung der Bestände das maximal mögliche Maß – im Sinne des biologisch maximal nachhaltigen Ertrags (MSY) – erreichen muss (siehe dazu Kapitel 1). Eine gewisse Fischentnahme muss stets stattfinden, um die Angelfischerei tierschutz- und fischereirechtlich zu legitimieren. Dies ist meistens auch der Fall, es sei denn, es bestehen gesundheitliche Bedenken, die Fänge zu verzehren. Jedes Gewässer weist ein Ertragspotenzial auf, das seiner Größe und seinem Nährstoffzustand entspricht und das mit vergleichsweise einfachen Schätzverfahren bestimmt werden kann, beispielsweise nach Brämick & Lemcke (2003) auf produktionsbiologischen Grundlagen (Nährstoffgehalt, Gewässermorphologie) oder über Praxiserfahrungen (erreichte Zielfischerträge in der Vergangenheit oder in vergleichbaren Gewässern). Auch gibt es Möglichkeiten, die ungefähr erwartbaren Erträge für bestimmte Zielarten aus der Kenntnis der Wachstumsgeschwindigkeit (von Bertalanffy Wachstumsparameter) und der natürlichen Sterblichkeit adulter Fische im unbefischten Zustand abzuschätzen (Lester et al. 2014). Sofern das Ertragspotenzial mehr oder weniger ausgeschöpft wird, keine Nutzungskonflikte im Verein vorherrschen und das Ertragspotenzial nicht über das derzeitige Maß hinaus gesteigert werden soll, sind keine weiteren Maßnahmen nötig.

Soll das Ertragspotenzial allerdings gesteigert werden, kann Steigerungsbesatz angeraten sein. Beispiel sind die sogenannte Ranching-Bewirtschaftung der Meerforellen in den Küstengebieten und der Aalbesatz in Fließgewässern.

In vielen Fällen wird das Ertragspotenzial eines Gewässers aber nicht erreicht. Folglich fällt der Fischertrag der Zielart (viel) geringer aus als maximal möglich. Es muss ausgeschlossen werden, dass das Ertragspotenzial nur deshalb unausgeschöpft bleibt, weil zu wenig gefischt wird. Gerade in morphologisch beeinträchtigten Gewässern wird der Grund aber meist in Reproduktionsdefiziten zu suchen sein. Zu wenige Fische führen in der Regel zu Nutzungskonflikten im Verein. In diesen Fällen sind – sofern nicht schon geschehen – die Beschränkungen der Fischproduktion bzw. der Fischereiqualität zu untersuchen. Die wichtigste Frage, die es auf Basis aller verfügbaren Informationen (qualitativ wie quantitativ) zu klären gilt, ist:

### **Verhindert Gewässerausbau und -verbau die Fortpflanzung der Zielart(en)? Das heißt, fehlt ein natürliches Aufkommen der Zielart?**

Falls die Antwort lautet:

➔ *Ja, der Gewässerausbau verhindert die Fortpflanzung der Zielart(en) vollständig, es findet keine Reproduktion und keine Rekrutierung statt,*

so ist zu klären, ob das Fehlen der Rekrutierung durch Renaturierung, Schaffung von Unterständen und Laichplätzen oder andere Formen des Habitatmanagements behoben werden kann. Sollte dies in Zusammenarbeit mit Anliegern, Landbesitzern, Kommunen etc. möglich und finanzierbar sein, so sind die Lebensräume unbedingt prioritär wiederherzustellen und gegebenenfalls ist ein Wiederansiedelungsbesatz für ausgestorbene fischereilich relevante Arten vorzusehen. Aus Platzgründen werden die vielfältigen Lebensraumverbesserungsmaßnahmen hier nicht weiter ausgeführt, der Leser findet in diversen Handbüchern zur Renaturierung von Gewässern entsprechende Hinweise. Wichtig zu bemerken ist, dass viele kleinräumige Habitataufwertungsmaßnahmen weniger Erfolg haben als vielfach angenommen wird. Das Gebiet der Effektivität von Habitataufwertungen wird derzeit intensiv beforscht.

Wenn die Defizite im Lebensraum aber nicht kurz- oder mittelfristig behoben werden können, ist **Erhaltungsbesatz** angeraten: Die Zielart pflanzt sich nicht oder nicht mehr im Gewässer fort, ist aber fischereilich relevant und muss dann durch Besatz gestützt werden. Das beste Beispiel sind Karpfen-, Aal- oder

Regebogenforellenbesatz in geschlossenen Standgewässern. Übrigens ist das Fehlen eines nennenswerten natürlichen Aufkommens in Gewässern, die für die Zielart grundsätzlich zum Leben und Wachsen geeignet sind, eine ideale Voraussetzung für erfolgreichen Fischbesatz, wie die fischereilich höchst erfolgreichen Besatzexperimente mit Hechtbrut und Karpfen im Besatzfisch-Projekt (Arlinghaus et al. 2015) gezeigt haben. In diesen Fällen kann auch mit Brütlingen oder sehr jungen Satzfishen erfolgreich gearbeitet werden, es sei denn, die jungen Tiere werden über starke Strömungen aus dem Fließgewässer geschwemmt oder von starken Kormoranbeständen gefressen. Dann sind größere, natürlich aufgezogene oder sogar im Freiland gefangene Satzfish einzusetzen, die resistenter und robuster sind. In bestimmten Fällen sind auch domestizierte Fische sehr gute Satzfish im Rahmen von Erhaltungsbesatzmaßnahmen, weil sie sehr schnell im Fang auftauchen und so die Anglerzufriedenheit erhöhen können (z. B. Regenbogenforellen in stehenden Gewässern).

Lautet hingegen die Antwort auf die Frage zur Reproduktion:

➔ *Nein, der Gewässerausbau bzw. -zustand verhindert die Fortpflanzung nicht vollständig, eine gewisse Rekrutierung findet statt,*

so ist das ein Zeichen dafür, dass es zwar eine zu geringe Fortpflanzung gibt, die die fischereiliche Produktion begrenzt, die Zielart periodisch aber auf geringem Niveau vorkommt. Nun gilt es, den Grund für den Rekrutierungsmangel herauszufinden. Verschiedene Möglichkeiten sind denkbar:

*Überfischung der Laichfische:* Ist die Reproduktion begrenzt, weil ein Mangel an Laichfishen bzw. genauer gesagt an Mangeln an abgegebenen Eiern besteht (sogenannte Rekrutierungsüberfischung, Kapitel 1), so ist dieser Mangel über die Reduktion der fischereilichen Entnahme und die Schonung der Laichfische abzustellen (Kapitel 4). Um diesen Laichfischmangel zu diagnostizieren, kann der Hegetreibende im Idealfall auf gut geführte Fangstatistiken, die neben der Entnahme auch Fänge, Größe der Fische und die Angelzeit dokumentieren, zurückgreifen (siehe hierzu auch Kapitel 2.2 zum Thema Einheitsfang). Rekrutierungsüberfischung wird sensibel über die Fischgröße im Fang und über abnehmende Fangraten angezeigt. Vor allem mit der Zeit stetig abnehmende Durchschnittsgrößen und viele kleine, unreife und untermaßige Fische im Fang deuten auf einen Mangel an Laichfishen aufgrund zu scharfer Befischung hin. Als Faustregel gilt: Eine

nachhaltige Befischung ist bei einer Entnahme von etwa 30 % des unbefischten Bestands erreicht (Barthelmes 1981). Eine stärkere Entnahme wird früher oder später die Laichfischbestände negativ beeinflussen. Diese Situation wird gerade bei den zahlenmäßig selteneren Raubfischen vergleichsweise schnell erreicht. Wenn zum Beispiel ein Gewässer eine unbefischte Bestandsgröße von zehn maßigen Hechten pro Hektar beherbergt, wäre eine Jahresentnahme von ca. drei maßigen Hechten je Hektar nachhaltig. Viele Vereinsgewässer sind klein und scharf befischt, so dass es schnell zur Überfischung kommen kann. Dies führt in der Regel nicht zum Zusammenbruch der Bestände, kann aber die Anzahl der Eier, die Größenstruktur und damit die Fortpflanzung entscheidend beeinflussen. Weil eine Befischung zuerst die großen Tiere trifft, findet sich in vielen Gewässern gerade ein Mangel an besonders fruchtbaren großen Laichfischen. Diese müssen daher unter solchen Bedingungen besonders geschont werden, z. B. über Entnahmefenster oder allgemein die Reduktion der Fischereisterblichkeit (Kapitel 4).

Ganz allgemein lässt sich ein Laichfischmangel über angepasste **Entnahmebestimmungen** sowie eine **Reduktion des Fischereidrucks** beheben (Kapitel 4). Besatz schafft dann bei gleichbleibenden Fischereiaufwänden keine Abhilfe, weil sich die Fischbestände in einem befischten Gleichgewicht unterhalb der Tragekapazität befinden und ein zusätzlicher Besatz nur kurzfristige Fangeffekte zeigen wird (sofern die Satzfische groß genug sind, andernfalls findet lediglich eine Verdrängung der Wildproduktion statt) (Kapitel 4). Sollte eine Begrenzung des Fischereidrucks aus sozialen Gründen nicht umsetzbar sein, sind **Entnahmefenster** ein Mittel der Wahl. Sie sind eigenen Studien zufolge in der Angelfischerei den traditionellen Mindestmaßen in vielerlei Hinsicht überlegen (Arlinghaus et al. 2010; Gwinn et al. 2015). Ebenso wie die Mindestmaße schonen Entnahmefenster die untermaßigen, unreifen und erstmalig geschlechtsreif werdenden Fische sowie zusätzlich die besonders fruchtbaren Großfische oberhalb eines individuell für jedes Gewässer festzulegenden Maximalmaßes (Kapitel 4). Dieses sollte hoch genug sein, um die Fischentnahme (vernünftiger Grund!) weiter zu ermöglichen, aber klein genug, um den fruchtbaren Laichfischen sowie den kleinen Erst- oder Zweitlaichern die ungestörte Vermehrung zu ermöglichen. Beispiele für eine optimale Gestaltung von Entnahmefenstern bei zwei ganz unterschiedlichen Fischarten mit unterschiedlicher Biologie finden sich in Kapitel 4. Während die Untergrenzen der

Entnahmefenster den üblichen Mindestmaßen entsprechen sollten, wirken sich bei moderatem Fischereidruck Obergrenzen (Maximalmaße) von ca. zwei Drittel der Maximallänge bzw. bei starkem Fischereidruck Obergrenzen von ca. der Hälfte der Maximallänge sehr positiv auf den numerischen Ertrag sowie die Alterspyramide unter stark befischten Bedingungen aus (Gwinn et al. 2015). Das gilt unabhängig von der Fischbiologie für alle Arten. Entsprechend wären zum Beispiel bei einem Hechtbestand mit Maximallängen von 120 cm und einem moderaten Fischereidruck Entnahmefenster zwischen 40/45 cm und 80 cm optimal im Sinne der (numerischen) Ertragsmaximierung (Zahl der Fische im Ertrag pro ha) bei gleichzeitigem Schutz des Laichfischbestands. Bei sehr hohem Fischereidruck und der beginnenden Rekrutierungsüberfischung würde sich das Fenster auf 40/45 cm bis 60 cm verengen, um so die fruchtbaren Großtiere für den Erhalt des Laicherbestands noch besser zu schonen. Ist das Hegeziel die Realisierung hoher Fänge von großen, kapitalen Fischen, muss die Entnahme durch sehr restriktive Entnahmefenster begrenzt werden. Hier riskiert der Hegetreibende aber stets, mit dem Tierschutzrecht in Konflikt zu geraten, da in Deutschland das Angeln nur zum Nahrungserwerb oder zur Hege legitimiert ist. Das Entnahmefenster muss also stets breit genug ausfallen, aber niemals zu eng gesetzt werden. Dann sind auch Konflikte mit dem Tierschutz nicht zu erwarten. Die Gesellschaft ist dieser Maßnahme gegenüber sehr positiv eingestellt (Riepe & Arlinghaus 2014).

Die Begründung für eine Betonung der Entnahmefenster ist folgende: Die großen, aber nicht zu alten Laichfische kennzeichnet eine hohe Fruchtbarkeit und meist auch eine sehr gute Laichqualität, weswegen ihre Schonung bei scharfer Befischung für die Erneuerung des Bestands an Bedeutung gewinnt. Bei kannibalistischen Arten gibt es negative Rückkopplungen von hohen Laichfischanzahlen auf die Anzahl der Nachkommen, gerade in mittelgroße und großen Gewässern über 20 ha (Pierce 2010). Wenn der Laicherbestand zahlenmäßig reduziert wird, die laichenden Tiere aber eine besonders hohe Fruchtbarkeit kennzeichnet, bleibt der Bestand produktiv und erlaubt das Heranwachsen vieler mittelgroßer, entnehmbarer Tiere. Entnahmefenster fördern im Unterschied zu höheren Mindestmaßen den zahlenmäßigen Ertrag von sogenannten Küchenfischen. Darüber hinaus vermeiden bei Entnahmefenstern weniger Tiere ungenutzt als bei hohen Mindestmaßen, weil die häufigen, mittelgroßen Fische stets im Ertrag landen und nicht zurückgesetzt werden,

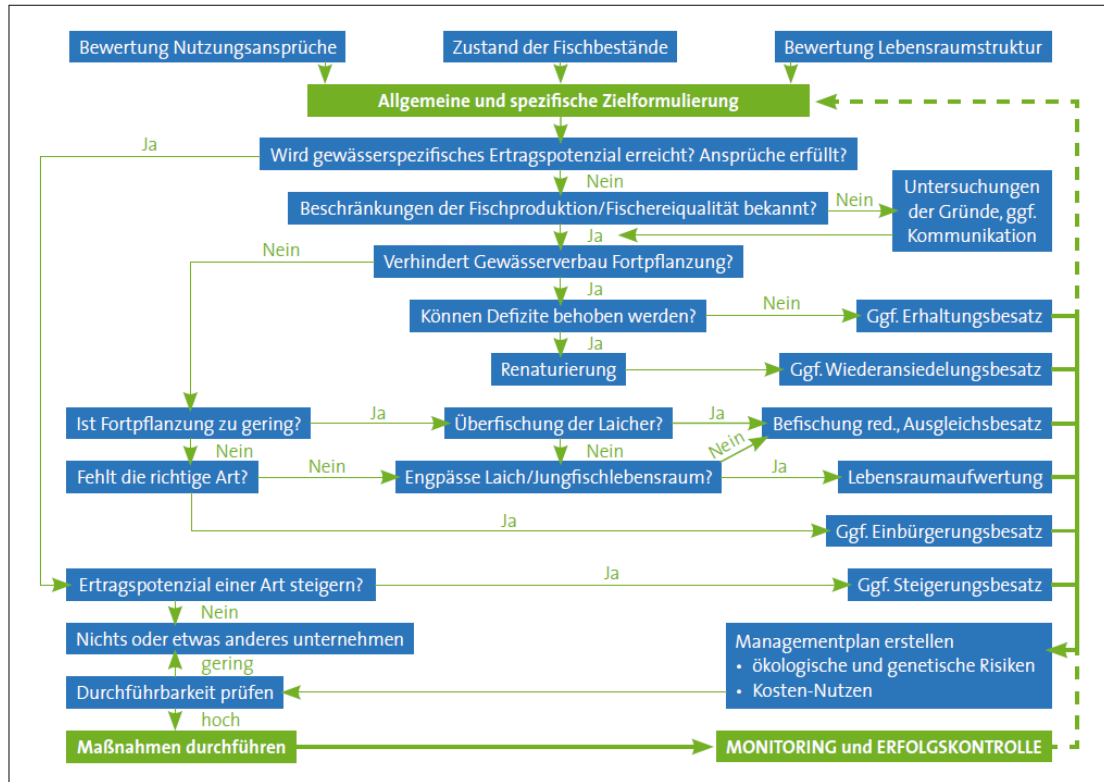
wie das bei hohen Mindestmaßen der Fall wäre. Entnahmefenster sind daher auch aus ethischer Sicht hohen Mindestmaßen überlegen.

Neben der Befischung kann Laichfischmangel auch aus natürlichen ökologischen Gründen entstehen, zum Beispiel wenn der Kormoranfraß zu hoch ist. Diesem Mangel kann man nicht nur durch die Regulierung der Fischentnahme durch Angler, sondern – je nach lokalen Gewässerbedingungen – auch durch Lebensraummanagement (z. B. durch Schaffung von Refugien gegenüber Kormoranfraß) oder – bei geringem Fischereidruck – auch durch Kompensations- bzw. Ausgleichsbesatz von größeren, kormoranresistenten Laichfischen begegnen. Letzteres ist vor allem dann angeraten, wenn der Befischungsdruck nach dem Besatz erwartbar zurückgehen wird (Abbildung 19), ansonsten wird der Besatz sehr rasch wieder aus dem Gewässer gefangen werden und es ist kein Aufbau des Laichfischbestands zu erwarten.

Ist die Rekrutierung aber begrenzt, weil – wie häufig in der Kulturlandschaft der Fall – wichtige Laich- und vor allem Jungfischlebensräume verschwunden sind, so ist die **Aufwertung der Lebensräume** und nicht das Management der Befischungsintensität die Methode der Wahl (Abbildung 20). Das Management kritischer Lebensräume kann flankiert werden von **Kompensations- bzw. Ausgleichsbesatz** mit naturnah aufgezogenen Satzfishen, die so groß sein müssen, dass natürlichen Engpässe, die zum gegenwärtigen Rekrutierungsdefizit beitragen, umgangen werden. Im Extremfall sind große Satzfishen einzubringen, die nicht mehr auf Jungfischrefugien angewiesen sind. Diese Art von Ausgleichsbesatz sollte man nur so lange fortführen, bis die Lebensräume in ihrer Funktionalität wiederhergestellt sind und die Bestände sich von alleine auf annehmbarem Niveau tragen. Der Erfolg des gerade angesprochenen Kompensationsbesatzes ist aber wie gesagt nur dann gewährleistet, wenn Fischstadien besetzt werden, die größer sind als das Stadium, das im Gewässer dem Habitatdefizit zum Opfer fällt. Es ist insgesamt unbedingt vor Pauschalisierungen zur richtigen Besatzfischgröße zu warnen, zum Beispiel Brütlinge seien Jungfischen immer überlegen, adulte Satzfishen sollten niemals besetzt werden oder stark züchterisch veränderte, sogenannte domestizierte Fische sind grundsätzlich schlechte Satzfishen. Es kann Umstände geben, wo all diese Maßnahmen besonders positive Effekte stiften. Zum Beispiel wird der Besatz großer Fische fast immer die höchsten bestandssteigernden

Effekte haben. Leider finden sich gerade auch in praktischen Handbüchern zum Besatz viele pauschale Hinweise, wonach man zum Beispiel möglichst nur Brütlinge oder Jungfische setzen sollte. Eine Begründung ist, dass es gerade die kleinen Tiere sind, die sich besonders gut an die Bedingungen in dem Besatzgewässer anpassen können. In vielen Gewässern haben solche Maßnahmen aber keinen Erfolg, weil die jungen Satzfishstadien einer größenabhängig besonders hohen natürlichen Sterblichkeit unterworfen sind. Und obwohl sich Brütlinge oder junge Satzfishche durchaus über Selektion in der Regel besser ökologisch an das Besatzgewässer anpassen als große Satzfishche, die zu allem Übel manchmal zeitlebens in Becken oder Anlagen großgezogen worden sind und daher stark domestiziert sind, heißt das noch lange nicht, dass kleine Brütlinge oder Jungfische auch tatsächlich bestandssteigernde Effekte haben. Diese sind immer dann unwahrscheinlich, wenn es wie bereits mehrfach gesagt im Gewässer wichtige Engpässe in Jungfishstadien gibt, durch die die jungen Satzfishche ebenso wie die Wildfishche hindurch müssen. Auch kann eine hohe Besatzmenge von Brütlingen die natürliche Sterblichkeit der natürlichen Konkurrenten massiv steigern, so dass in der Summe die Anzahl an Tieren in den Bestand hineinwächst, die auch ohne Besatz zu erwarten gewesen wäre. Dieses Szenario wurde im Besatzfish Projekt zum Beispiel in den Hechtbrutversuchen dokumentiert (Arlinghaus et al. 2015). Unter solchen Bedingungen sollte auf Kompensationsbesatz mit robusten Fishgrößen zurückgegriffen werden.

Möglicherweise ist die Fortpflanzung der Zielart im Gewässer prinzipiell auf hohem Niveau möglich, trotzdem kann das Ertragspotenzial für die Zielart nicht ausgeschöpft werden, weil die (heimische) Art noch nicht im Gewässer etabliert ist. In diesem Fall ist **Einbürgerungsbesatz** angeraten (z. B. Zander aus der Region in zuvor zanderfreien Baggerseen). Wie bereits betont, sind diese Maßnahmen stets sehr sorgsam in Abstimmung mit den Fischereibehörden umzusetzen, um Einflüsse auf die Biodiversität und Konflikte mit dem Fischerei- und Naturschutzgesetz zu vermeiden.



**Abbildung 20** Entscheidungsbaum zur Identifikation von geeigneten Besatzstrategien bzw. von Alternativen zu Besatz (Arlinghaus et al. 2015).

Nach der Identifikation von prinzipiell geeigneten Besatzstrategien oder von Alternativen folgt gemäß Abbildung 20 stets eine detaillierte Maßnahmenplanung (zur Besatzplanung, siehe Kapitel 5). Im Rahmen der Umsetzungsplanung werden Nutzen und mögliche Schäden, ökologische und genetische Risiken für die aquatische Biodiversität sowie die Reaktion der lokalen Angler und anderer Interessengruppen bezüglich verschiedener Managementalternativen gegeneinander abgewogen. Auch sind die juristische und praktische Durchführbarkeit sowie die monetären Kosten und die allgemeine Umsetzbarkeit zu berücksichtigen. An die Durchführung der Maßnahme schließt sich im Sinne der lernfähigen Hege stets eine Erfolgskontrolle an (Kapitel 2), die in vielen Fällen mittels modifizierter Fangbücher (Erhebung von Fängen zusätzlich zur Entnahme und Angelzeit) erfolgen kann.



## Schlussfolgerungen für die Praxis

- Besatz ist nicht gleich Besatz. Man unterscheidet sechs verschiedene Fischbesatzformen, auf die jeweils in Abhängigkeit vom Zustand des Gewässers bzw. vom Hegeziel zurückgegriffen werden kann. Eine Diskussion über Besatz muss immer auch vor dem Hintergrund der konkreten Besatzform und ihrer Charakteristiken erfolgen, weil es sonst schnell zu Missverständnissen kommen kann.
- Fischbesatz ist vor allem unter Bedingungen fehlender natürlicher Rekrutierung fischereilich erfolgversprechend und angeraten. In vielen Fällen stellen aber Alternativen zu Besatz die geeigneteren Hegemaßnahmen dar. Bei scharfer Befischung kann auf Entnahmefenster zurückgegriffen werden.
- Der fischereiliche Erfolg von Besatz in natürlich reproduzierenden Beständen ist nur schwer zu garantieren, weil sich viele Bestände auf das gewässerspezifische Niveau regulieren. Viele Kompensationsmaßnahmen bei in der Reproduktion gestörten Beständen erhalten so den Charakter einer „Put-Grow-and-Take“-Fischerei.
- In Situationen, wo Zielarten natürlich reproduzieren, kann Besatz je nach Intensität und Auswahl des Besatzmaterials negative Auswirkungen auf die Restwildpopulation haben. Diese negativen Effekte sind gegenüber möglichen positiven Effekten auf den Fischertrag abzuwägen. Ein mögliches Szenario für die Zukunft ist die Hege mit sterilen Satzfishen, die selektiv entnommen werden, und die Unterschützstellung der Wildfische. Ähnliche Szenarien der selektiven Satzfishbefischung findet bei Steigerungsbesatzmaßnahmen in den USA bereits großflächige Anwendung.
- Folgende Hinweise können zur Wahl der geeigneten Satzfishgröße gegeben werden.
  - Findet keine Reproduktion statt (Erhaltungsbesatz, Einbürgerungsbesatz): Besatz sollte optimalerweise mit Größen stattfinden, die so klein wie zum Überleben nötig und ökologisch so angepasst wie möglich sind („Put-Grow-and-Take“-Angelei). Häufig sind Brütlinge ausreichend.

- Findet Reproduktion auf geringem Niveau statt, weil es habitatbedingte Rekrutierungsdefizite gibt (Kompensationsbesatz): Besatz sollte optimalerweise auf Fische zurückgreifen, die so groß wie zur Umgehung der Flaschenhälse nötig sind. Wenn die Fische die Naturproduktion ausschöpfen und vielleicht auch zum Laichfischbestand beitragen sollen, sollten die Satzfisher natürlich aufgezogen oder sogar Wildfische aus genetisch vergleichbaren Beständen sein. Falls mit domestizierten Satzfishern besetzt wird, weil keine anderen Satzfisher zur Verfügung stehen, oder um bestimmte fischereiliche Rückfangziele zu erreichen, findet wahrscheinlich kein Beitrag zur nächsten Generation statt und die möglicherweise negativen Interaktionen mit Wildfischen können minimiert werden.
- Findet sich eine ausreichende Reproduktion und ein hohes Jungfischauftreten, ist Besatz nicht zielführend. Sollen die Bestände der fangbaren Fischgrößen trotzdem gesteigert werden (Steigerungsbesatz), dann ist der Besatz großer Fische angeraten. Diese lassen sich aber leicht überbesetzen und führen dann zu hohen Konkurrenz- oder Fraßeffekten auf andere Arten im Besatzgewässer, weswegen der Einsatz großer, im Extremfall entnahmefähiger Satzfisher sorgsam zu planen ist.

## **4 Planung und Einsatz von Schonbestimmungen**

In Kapitel 3 wurden im Entscheidungsbaum zur Identifikation grundsätzlicher Hegevorgehen auch Schonbestimmungen angesprochen. Das folgende Kapitel präzisiert die Sinnhaftigkeit verschiedener Fangbestimmungen und stellt einen konkreten Entscheidungsbaum zur Wahl unterschiedlicher Maßnahmen vor.

### **4.1 Einführung zur Sinnhaftigkeit**

Schonmaßnahmen wie Mindestmaße oder Schonzeiten haben historische Bedeutung im Fischereimanagement. Schonmaßnahmen und Entnahmebestimmungen werden in Fischereigesetzen und vor allem -verordnungen fixiert und können freiwillig von Fischereirechtsinhabern über Gewässerordnungen erweitert werden, sofern die Veränderungen dem Hegeziel dienen. Viele Entnahmebestimmungen haben soziale Begründungen (z. B. um den Fang gerechter zu verteilen), dienen der Verhinderung von Überfischung (Rekrutierungsüberfischung), der Aufrechterhaltung einer gewünschten Bestandsstruktur, dem Sicherstellen der Vermehrung und des Fischwohls (z. B. durch einen schnellen Tötungsvorgang) oder der Manipulation der aquatischen Artengemeinschaft (z. B. Räuber-Beute Beziehungen). Vielfach sollen durch Fangbestimmungen die Größenstrukturen verbessert werden. Die meisten Entnahmebestimmungen und sonstige weit verbreitete Schonmaßnahmen wie Schonzeiten, Schongebiete, Fangquoten oder längenbasierte Schonmaße (Mindestmaße usw.) werden hauptsächlich für fischereilich wichtige Fischarten festgesetzt („Edelfische“); sie basieren überwiegend auf praktischen Erfahrungswerten und Kenntnissen zur Reifungslänge und Laichgebieten. Ähnlich wie beim Habitatmanagement und Besatz gehen aber die wenigsten konkreten Schonbestimmungen auf Ergebnisse kontrollierter und replizierter wissenschaftlicher Studien zurück, die systematisch die Effekte unterschiedlicher Schonmaßkonfigurationen untersucht haben (z. B. unterschiedlich hohe Mindestmaße).

**Tabelle 3    Überblick über Input und Output Regularien der Angelfischerei**

| <b>Art der Bestimmung</b>                                       | <b>Erläuterung</b>                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Input Kontrolle</u>                                          |                                                                                                                                                                               |
| Lizenzen und Gebühren                                           | Notwendigkeit des Kaufs von Angelkarten für unterschiedliche Zielgruppen (Kinder, Rentner, auswärtige Angler)                                                                 |
| Geräterestriktionen                                             | Art und Zahl der Haken, Hakenart, Verbote von Booten, künstliche vs. natürliche Köder                                                                                         |
| Restriktionen der Methode                                       | Trolling, Nutzung von Motoren, Übernachtung, Futterverbote, Nutzung natürlicher Köder in Fliegenfischerstrecken                                                               |
| Schonzeiten                                                     | Versuch, ein ungestörtes Abfischen zu ermöglichen und die Fische nicht zu stressen                                                                                            |
| Schongebiete                                                    | Schutz von Laichgebieten, Rückzugsgebieten oder Aggregationen                                                                                                                 |
| Angelplatzzugang                                                | Slipmöglichkeiten, Angelstellen, Stege, Zufahrtswege                                                                                                                          |
| Aufwandsbeschränkung                                            | Restriktionen der Angelkarten und –zeiten, Zahl von Ruten oder Ködern                                                                                                         |
| <u>Output Kontrolle</u>                                         |                                                                                                                                                                               |
| Längenbasierte Entnahmebestimmungen                             | Mindestmaß, Maximalmaß, Entnahmefenster, Zwischenschonmaß, ein Fisch über XX cm                                                                                               |
| Entnahmebeschränkungen (täglich, wöchentlich, jährlich, Quoten) | Begrenzung der Zahl der entnehmbaren Fische, ggf. Kombiniert mit der Auflage von Entnahmemarken für bestimmte Fischgrößen                                                     |
| Verkauf von Fischen                                             | Verbot der Veräußerung                                                                                                                                                        |
| Sonstige Entnahmeregeln                                         | Artenselektive Verbote der Entnahme, z. B. gefährdete Arten oder Verbot der Mitnahme von Wildlachsen (aber Erlaubnis Zuchtlachse, die markiert besetzt wurden, zu entnehmen). |
| Entnahmeaufforderung                                            | Dezimierung unerwünschter Arten oder Größen                                                                                                                                   |
| Art des Tötens                                                  | Auflagen zum sofortigen Töten entnahmefähiger Fische                                                                                                                          |

Insbesondere reproduzierende Fischbestände profitieren von einer regulierten fischereilichen Sterblichkeit (Abbildung 21). Man unterscheidet zwischen Fang- und

Schonbestimmungen, die der Begrenzung des Fischereidrucks dienen zum Beispiel durch Zugangs- (z. B. Schongebiete, Schonzeiten, Zugang zu Angelgewässern) oder Fanggerätebeschränkungen (z. B. Verbot bestimmter Haken oder von Booten, Input-Regularien), und solchen, die die Entnahme direkt beschränken (Output-Regularien, z. B. jährliche, wöchentliche oder tägliche Entnahmemengen, Mindestmaße oder das Verbot der Entnahme bestimmter Fischarten; Tabelle 3).

Zugangsbasierte Schonbestimmungen dienen dazu, den Befischungsdruck direkt zu reduzieren, wohingegen Geräterestriktionen häufig darauf angelegt sind, den Angelaufwand indirekt zu verringern oder den Erfolg der Angler zu mindern, ohne direkte Beschränkung des Angelaufwands. Entnahmebasierte Fangbestimmungen hingegen dienen dazu, direkt die fischereiliche Sterblichkeit zu mindern oder aber gewünschte Änderungen in der Fischbestandsstruktur zu erreichen (z. B. Ausdünnung zur Steigerung des Wachstums oder Schonung großer, begehrter Ausnahmetiere, Tabelle 4). Alle Schonbestimmungen beeinflussen die Entnahme- und Erwartungsraten der Angler und damit auch ihr Verhalten (Johnston et al. 2010, 2013, 2015).

**Tabelle 4** Fünf häufig in der Angelfischerei angewendete Entnahmebestimmungen. Dargestellt sind die Voraussetzungen, Ziele und populationsbiologischen Bedingungen, unter denen jede der fünf Maßnahmen am erfolversprechendsten umgesetzt werden kann (modifiziert aus FAO 2012). Zu einer grafischen Darstellung, siehe Abbildung 21.

| Art der Fangbestimmung                                    | Fische, die zurückgesetzt werden müssen                                              | Managementziele                                                                                                                                                                                           | Populationsbiologische Voraussetzungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mindestmaß                                                | Fische, die kleiner als das Maß sind                                                 | Rekrutierung gewährleisten; erstmalig reif werdende, adulte Tiere für mindestens einmalige Fortpflanzung und Fang schonen                                                                                 | Geringe Rekrutierung, schnelles Wachstum, geringe natürliche Sterblichkeit; Schonung besetzter Jungfische, Standardmaßnahme in Deutschland, aber überdenkenswert                                                                                                                                                                              |
| Maximalmaß                                                | Fische, die größer als das Maß sind                                                  | Konkurrenz zwischen kleinen Fischen durch Ausdünnung reduzieren, sehr große Laichfische im Bestand erhalten; Erhalt der Fangmöglichkeit von großen Ausnahmefischen                                        | Ausreichend hohe Rekrutierung, geringes Wachstum, mittlere natürliche Sterblichkeit – wird in Deutschland bisher selten eingesetzt                                                                                                                                                                                                            |
| Entnahmefenster                                           | Fische größer oder kleiner als das Fenster (Kombination aus Mindest- und Maximalmaß) | Junge adulte Tiere schonen; Ertrag und Fangrate erhalten oder steigern; große Laichfische schonen; Erhalt naturnäherer Altersklassenpyramide, Erhalt der Möglichkeit des Fangs von großen Ausnahmefischen | Geringe Rekrutierung, schnelles Wachstum, geringe natürliche Sterblichkeit; besonders geeignet bei scharfer Befischung und starker Verjüngung des Laichfischbestands (drohende Rekrutierungsüberfischung) sowie bei größenabhängigen maternalen Effekten für die Eiqualität – Bedeutung steigt, derzeit noch selten in Deutschland eingesetzt |
| Zwischenschonmaß                                          | Fische im Fenster                                                                    | Ausdünnen und Futterkonkurrenz reduzieren; Förderung der Entnahme großer Speisefische                                                                                                                     | Hohe Rekrutierung, geringes Wachstum, hohe natürliche Sterblichkeit (vor allem bei Juvenilen) – in Deutschland gegenwärtig kaum eingesetzt                                                                                                                                                                                                    |
| Entnahmeverbot (totales Catch-and-Release)                | Alle Fische                                                                          | Erhöhung der Fangraten und Fischgrößen im Fang, Erhalt natürlicher Fischbestände, bei ausgesprochenen Verzehrsverboten                                                                                    | Bei geringem Interesse am Verzehr von Fischen, hohe fischereiliche Sterblichkeit, hohe Schadstoffbelastung – wird bisher kaum in Deutschland eingesetzt                                                                                                                                                                                       |
| Tägliche (wöchentliche, jährliche) Entnahmebeschränkungen | Alle Fische, die über die Entnahmebeschränkung hinausgehen                           | Reduktion der Fischereisterblichkeit, gerechtere Verteilung zwischen Anglern, psychologische Erinnerung an Begrenztheit der Ressource                                                                     | Wenn viele Angler regelmäßig die Fangbegrenzung erreichen, geringe Rekrutierung, hohe fischereiliche Entnahme – in der Praxis häufig angewandt, aber vor allem soziale Funktion                                                                                                                                                               |
| Entnahmemarken und „1 größer XY cm“                       | Alle Fische, für die keine Marken gekauft wurden                                     | Reduktion der Sterblichkeit bei besonders gefährdeten Arten oder Fischgrößen, Anreiz zur Wertschätzung großer Fische                                                                                      | Sehr hohe fischereiliche Sterblichkeit, Rekrutierungsüberfischung – wird in Deutschland derzeit kaum eingesetzt                                                                                                                                                                                                                               |

## **Beschränkungen des Fangaufwands (Input)**

Bestimmungen, die den Fischereiaufwand direkt begrenzen, sind unter Anglern besonders unbeliebt. Insbesondere Beschränkungen der ausgegebenen Angelkarten werden von vielen Anglern und den meisten Gewässerwarten und Vereinsvorständen aus sozialen Gründen (verständlicherweise) abgelehnt. Modelle von Johnston et al. (2010, 2013, 2015) zeigen jedoch, dass zur Gewährleistung einer hohen Angelqualität in vielen Fällen gewisse Beschränkungen der Beangelungsintensität sinnvoll sein können, weil ansonsten die Durchschnittsgrößen der Fische stark abnehmen und im Extremfall vornehmlich untermaßige oder gerade maßige Fische im Bestand verbleiben.

Alternative Input-Maßnahmen, die indirekter den Angeldruck kontrollieren, sind Schonzeiten oder Schongebiete. Diese Maßnahmen dienen außerdem dazu, den Fischen ein ungestörtes Ablaichen zu gewährleisten. Obgleich diese Maßnahmen von vielen Anglern toleriert und teilweise vehement gefordert werden, liegen keine vergleichenden Freilandstudien vor, die den Erfolg dieser Maßnahmen im Sinne einer Steigerung der Fischbestände empirisch über den Vergleich von Gewässern mit Schonzeiten und ohne Schonzeiten belegen. Allerdings wurde mehrfach nachgewiesen, dass die Reproduktionsqualität von Fischen leidet, wenn sie kurz vor dem Laichen gestresst und gestört werden (z. B. über das Fangen-und-Zurücksetzen, Richard et al. 2013), so dass es intuitiv einleuchtet, die für die Bestandserneuerung wesentliche Fortpflanzungsphase über Schonzeiten und ggf. Schongebiete zu schonen.

## **Beschränkungen der Entnahme (Output)**

Entnahmebasierte Schonbestimmungen (Output-Regularien) sind in Deutschland und international in der Angelfischerei weitverbreitet. Häufig werden zum Schutz der sogenannten "Edelfische" Mindestmaße sowie vereinsseitig tägliche Entnahmebeschränkungen in Kombination eingesetzt. Die gesetzlichen Mindestmaße dienen in diesem Zusammenhang einer Mindestschonung von ausreichenden Laichfischbeständen; sie werden so festgelegt, dass die Tiere mindestens einmal vor dem Fang laichen können und es nicht zur

Rekrutierungsüberfischung (Laicherbestände  $< 35\%$  der unbefischten Laicherbiomasse, Kapitel 1) kommt.

Neben Mindestmaßen gibt es eine Reihe weiterer längenbasierter Entnahmebestimmungen, die ebenfalls – je nach Ökologie und Bewirtschaftungsziel – gute Ergebnisse realisieren können, auch wenn sie traditionell in Deutschland keine oder nur geringe Anwendung finden (Tabelle 4, Abbildung 21). Tägliche Entnahmebeschränkungen sind in diesem Zusammenhang zwar weitverbreitet, aber häufig weniger wirksam als manchmal angenommen, weil die wenigsten Angler die Fischmenge pro Tage fangen, bei der die Wirksamkeit von täglichen Fangbeschränkungen einsetzt. Das ist insbesondere bei hohen täglichen Fangbestimmungen und bei wenig abundanten Raubfischarten der Fall, weswegen viele Vereine hier recht restriktive Beschränkungen von nur einem oder zwei Edelfischen pro Tag eingesetzt haben. In vielen Fällen sind aufwandsbasierte Beschränkungen, die den Fischereidruck direkt limitieren, sowie Längenschonmaße eher als tägliche Fangbeschränkungen geeignet, die fischereiliche Sterblichkeit merklich zu reduzieren. Die Fischhege basiert in vielen Binnenfischereien aber in der Regel auf einer Kombination mehrerer Schon- und Entnahmebestimmungen. Dadurch ist es oftmals schwierig, die relativen Beiträge einzelner Maßnahmen für den Fischbestandserhalt zu identifizieren.

In vielen Fällen dienen Fangbestimmungen dazu, die fischereiliche Sterblichkeit zu reduzieren, doch gibt es auch Sonderfälle. So können Fangbestimmungen auch genutzt werden, um die Entnahme unerwünschter Fischarten (Massenfische, Grundeln, hohe Welsbestände) zu erhöhen. In diesen Fällen werden Fangbestimmungen liberalisiert, d. h. es wird aus Naturschutzgründen eine bewusste Überfischung dieser Art versucht. Konflikte mit bestimmten Anglergruppen, die die stark befischten Arten gerne fangen, sind dann vorprogrammiert.

## **4.2 Entscheidungsbaum**

Die meisten Schonbestimmungen in der Angelfischerei sind längenbasiert, unter anderem weil es sozial problematisch ist, den Angeldruck direkt zu managen (Nebenbemerkung: einige Bundesländer sehen allerdings durchaus Begrenzungen der über Pachtverträge maximal erlaubten Angelkarten vor; die zugrundeliegenden Berechnungsmethoden sind allerdings entweder kryptisch oder aber basierend auf



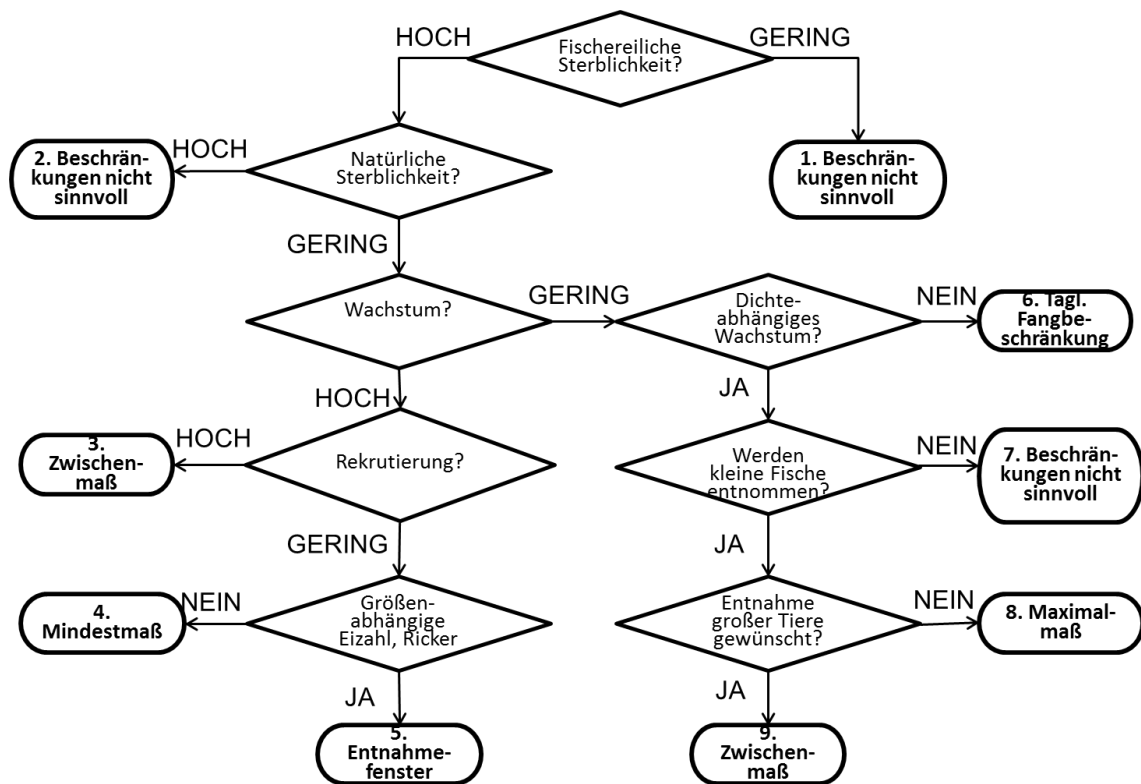
unzulässigen Durchschnittswerten über zu erwartende Entnahmen von Anglern). Man unterscheidet die gängigen Mindestmaße sowie die in vielen anderen Ländern regelmäßig eingesetzten Maximalmaße, Entnahme- bzw. Küchen- oder Mitnahmefenster und Zwischenschonmaße (Abbildung 21). Arlinghaus et al. (2016a) entwickelten einen Entscheidungsbaum, der dem Bewirtschafter helfen kann, geeignete Entnahmebestimmungen vor allem zum Schutz der Bestände und zur Verbesserung der Größenstruktur zu identifizieren (Abbildung 21).

Die Anwendung des Entscheidungsbaums deutet zunächst wie bereits in Kapitel 3 bereits ausgeführt an, dass Entnahmebestimmungen nur dann eine sinnvolle Variante darstellen, wenn 1) die Fischereiersterblichkeit hoch sowie 2) die natürliche Sterblichkeit moderat oder gering ist. Wenn die fischereiliche Sterblichkeit hingegen gering oder die natürliche Sterblichkeit (sehr) hoch ist (so dass kaum Fische in die Fischerei rekrutieren), bringen entnahmebasierte Fangbeschränkungen keinen fischereilichen Nutzen (Abbildung 21, Nummer 1 und 2). Wenn allerdings der Angeldruck hoch ist, die Fische schnell wachsen und geringe natürliche Sterblichkeit aufweisen, sind längenbasierte Entnahmebeschränkungen sehr wirksam im Sinne der Steigerung der Bestände und der Fänge, gerade in rekrutierungslimitierten Beständen (Abbildung 21, Nummern 3, 4, 5). Im Falle geringen Wachstums können längenbasierte Entnahmebestimmungen ebenfalls nützlich sein, um dichteabhängige Wachstumsdepressionen (Verbuttung) durch die Entnahme überproportional abundanter Größenklassen zu reduzieren (Abbildung 21, Nummern 8, 9). Hier sind Mindestmaße aber gänzlich ungeeignet, weil sie die Verbuttung der Jungfische schüren (Tesch 1959). In diesem Zusammenhang könnten verstärkt Zwischenschonmaße eingesetzt werdend (Abbildung 21, Nummer 9), um langsamwüchsige, verbuttete Populationen gerade im Juvenilstadium auszudünnen (Abbildung 21). Da aber die wenigsten Angler bereits sind, sehr kleine, unreife Fische mit nach Hause nehmen, wirken Zwischenschonmaße meist wie sehr hohe Mindestmaße. Auch sind sie in Deutschland bisher selten anzutreffen und bei mit Mindestmaßen bewirtschafteten Edelfischen sogar gesetzlich unmöglich umzusetzen. Insofern wird die nachfolgende Diskussion auf die Vor- und Nachteile von Mindestmaßen, Maximalmaßen und Entnahmefenstern beschränkt (Zusammenfassung der Wirksamkeit in Tabelle 5).

**Tabelle 5** Überblick über die Wirkung von Mindestmaßen und Entnahmefenstern auf Basis der aktuellen Literatur beim Hecht (aus Arlinghaus et al. im Druck).

| Maßstab                                              | Mindestmaß                                                                           | Entnahmefenster                                                                                                       | Literaturbeleg                                                                                        |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rekrutierungs-<br/>überfischung<br/>vermeiden</b> | Geeignet                                                                             | Geeignet                                                                                                              | Arlinghaus et al.<br>(2010), Tiainen et<br>al. (2014)                                                 |
| <b>Wachstums-<br/>überfischung<br/>vermeiden</b>     | Geeignet, sofern $F$ nicht<br>zu hoch ist und<br>Mindestmaß geeignet<br>gewählt ist  | Geeignet, sofern $F$<br>nicht zu hoch ist und<br>Mindest- und<br>Maximalmaß geeignet<br>gewählt sind                  | Arlinghaus et al.<br>(2010)                                                                           |
| <b>Größenüber-<br/>fischung<br/>vermeiden</b>        | Ungeeignet                                                                           | Geeignet                                                                                                              | Arlinghaus et al.<br>(2010), Pierce<br>(2010) (bei<br>Maximalmaß),<br>Tiainen et al.<br>(2014)        |
| <b>Fischerei-<br/>induzierte<br/>Evolution</b>       | Scharfe directionale<br>Selektion, fördert<br>Kümmerwachstum und<br>reduziert Ertrag | Disruptive Selektion,<br>fördert Schnell-<br>wüchsigkeit, erhält<br>Merkmalsvarianz,<br>fördert Ertrag                | Edeline et al.<br>(2009), Matsumura<br>et al. (2011)                                                  |
| <b>Erhalt natürlicher<br/>Altersstrukturen</b>       | Ungeeignet, führt zu<br>starker Verjüngung                                           | Geeignet, obwohl<br>auch hier die<br>Abundanz großer<br>Fische reduziert wird,<br>nicht aber die relative<br>Abundanz | Francis et al.<br>(1997), Arlinghaus<br>et al. (2010),<br>Tiainen et al.<br>(2014), Carlson<br>(2016) |
| <b>Erholung nach<br/>Überfischung</b>                | Rasch, da die Bestände<br>aus schnellwüchsigen,<br>jüngeren Fischen<br>bestehen      | Langsamer, weil<br>natürlichere<br>Altersstrukturen<br>bestehen, die „träger“<br>im Sinne der                         | Le Bris et al.<br>(2015)                                                                              |

|                                  |                                                                             |                                                                                           |                                                                  |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Wachstumsrate sind               |                                                                             |                                                                                           |                                                                  |
| <b>Pufferkapazität</b>           | Gering, starke Schwankungen zwischen einzelnen Jahren                       | Sehr hoch, weil die breite Altersstruktur Pufferkapazität garantiert                      | Le Bris et al. (2015)                                            |
| <b>Numerischer Ertrag</b>        | Mittel                                                                      | Hoch                                                                                      | Arlinghaus et al. (2010), Gwinn et al. (2015)                    |
| <b>Biomasseertrag</b>            | Hoch, sofern das Mindestmaß hoch gewählt wird                               | Hoch, sofern scharf befischt wird im Fenster                                              | Arlinghaus et al. (unveröffentlichte Daten), Gwinn et al. (2015) |
| <b>Fang von Ausnahme-fischen</b> | Sehr gering                                                                 | Hoch                                                                                      | Arlinghaus et al. (2010), Tiainen et al. (2014), Carlson (2016)  |
| <b>Entnahme-effizienz</b>        | Gering, insbesondere bei hohen Mindestmaßen                                 | Hoch, da die besonders rasch wachsenden mittleren Altersklassen intensiv entnommen werden | Arlinghaus et al. (2010)                                         |
| <b>Vorschlag für die Praxis</b>  | Mindestmaß > Länge bei Reifung, um Rekrutierungsüber-fischung zu verhindern | Mindestmaß > Länge bei Reifung, Maximalmaß bei $\frac{2}{3}$ der Maximallänge $L_{inf}$   | Gwinn et al. (2015)                                              |



**Abbildung 21 Entscheidungsbaum zur Bestimmung von Entnahmebestimmungen in der Angelfischerei (modifiziert nach Arlinghaus et al. 2016b).**

## Mindestmaße

Die wesentliche Begründung für Mindestmaße ist, dass die Fische mindestens einmal vor der Entnahme ablaichen und so für den Bestandserhalt sorgen. Aus diesem Grunde und weil es unmöglich ist, jedes Binnengewässer in Deutschland jährlich zu monitoren, hat der Gesetzgeber über die Landesfischereiverordnungen flächendeckend über angemessen hohe, aber insgesamt relativ geringe Mindestmaße einen Mindeststandard des Fischpopulationsschutzes implementiert, der effektiv verhindert, dass durch die Angelei die bedrohlichste Form der Überfischung (Rekrutierungsüberfischung) Realität wird. Interessanterweise finden sich auch Mindestmaße für Arten, die entweder selten (Karpfen, Regenbogenforellen) oder gar nicht (Aal) in Binnengewässern rekrutieren, so dass offenbar auch nichtbiologische Gründe bei der gesetzlichen Implementierung von Mindestmaßen eine Rolle spielen (bei Aalen wäre ein Maximalmaß deutlich sinnvoller, und Karpfen und Regenbogenforellen benötigen im Grunde gar keine Schonung). In der Tat verhindern angemessen hohe Mindestmaße die Rekrutierungsüberfischung (Tabelle 5, Johnston et al. 2013, 2015). Sie werden

optimalerweise eingesetzt bei Beständen, die eine geringe natürliche Sterblichkeit, gutes Wachstum und Rekrutierungslimitierung aufweisen (Abbildung 21, Nummer 4). Allerdings resultieren aus Mindestmaßen auch besonders starke Veränderungen der Alters- und Größenstruktur (Verjüngungseffekt) (Arlinghaus et al. 2010, Pierce 2010, Tiainen et al. 2014, Tabelle 5), die neuesten Studien zufolge destabilisierend auf Fischbestände wirken (Andersen et al. 2008, Botsford et al. 2014).

Sofern der Bewirtschafter nicht nur dem Zusammenbruch von Fischbeständen effektiv entgegenwirken, sondern zusätzlich die Ertragsfähigkeit maximieren will, deuten klassische Ertrag-pro-Rekrut Modelle an, dass die Mindestmaße bei ca. 2/3 der maximalen Länge der Rogner festgelegt werden sollten, damit die Tiere genügend Zeit haben, vor der Entnahme Biomasse zu akkumulieren (Froese 2004). Dies bedeutet zum Beispiel für den Hecht, dass bei einer theoretischen Endlänge von 120 cm ein Mindestmaß bei Hechten bei knapp 80 cm einzusetzen wäre, sofern der Biomasseertrag maximiert werden soll. Solche hohe Mindestmaße finden sich in den wenigsten deutschen Gewässern; sie führen auch zu besonders ausgeprägter Selektion auf Langsamwüchsigkeit, was genetisch bedingt Ertragspotenzial kostet (Matsumura et al. 2011) – ein Effekt, der in den traditionellen Ertrag-pro-Rekrut Modellen wie denen von Froese (2004) und Froese et al. (2016) nicht berücksichtigt ist. Aus der evolutionären Perspektive sind sehr hohe Mindestmaße daher besonders kontraproduktiv zu bewerten (Tabelle 5). Darüber hinaus können hohe Mindestmaße bei Arten, die ausgeprägte Wachstumsunterschiede zwischen den Geschlechtern aufweisen, zu besonders starken Verschiebungen des Geschlechterverhältnisses im Bestand führen (vgl. Casselman 1975). Ein Beispiel hierfür wären Hechte und Zander, bei denen die Rogner deutlich größer werden als die Milchner, und die Weibchen bei hohen Mindestmaßen eine hochselektive Sterblichkeit erfahren. Über die ökologischen Konsequenzen entsprechender Geschlechtsfrequenzveränderungen gibt es noch keine Studien.

Die Kritik an der Sinnhaftigkeit von Mindestmaßen ist bereits viele Dekaden alt und wurde hierzulande vor allem vom Tesch (1959) in die Literatur eingeführt. Mindestmaße machen z. B. keinen Sinn bei Arten, die im Juvenilstadium Tendenzen zur Verbuttung zeigen (Tesch 1959, Abbildung 21). In Deutschland ist hingegen zu beobachten, dass Bewirtschafter und auch einige Behördenvertreter zur Erhöhung der gesetzlichen Mindestmaße über Gewässerordnungen neigen, wenn ein lokaler

Bestand besonderen Schutzes bedarf. Leider ist die beliebte Erhöhung der gesetzlichen Mindestmaßen in lokalen Gewässerordnungen (z. B. Hechtmindestmaß von 60 oder 70 cm) nach vorliegenden Befundlage die ungünstigste aller Varianten, weil wie bereits bemerkt die Erträge und die evolutionären Effekte auf die Langsamwüchsigkeit besonders ausgeprägt sind, was den Ertrag weiter mindert, und weil bei Fischen mit ausgeprägtem Sexualdimorphismus die Geschlechtsverhältnisse besonders stark verschoben werden. Überdies bleibt das Problem der starken Verjüngung und der „Akkumulation“ von Fischen direkt unter dem Mindestmaß (Tabelle 5).

## **Maximalmaße**

Sofern der Bewirtschafter auch große, fruchtbare Laichfische im Bestand erhalten will, um sowohl der Reproduktion als auch dem Angelfang entgegen zu kommen und die unnatürliche Verjüngung etwas abzumildern (Arlinghaus et al. 2008), sind Maximalmaße eine lohnende Option (Pierce 2010). Maximalmaße sind geeignet, um großer Fische in naturnahen Abundanzen im Bestand zu erhalten, und sie werden insbesondere dann empfohlen, wenn die jüngeren Altersklassen bei geringer natürlicher Sterblichkeit eine relevante dichteabhängige Wachstumsdepressionen zeigen, die eine Ausdünnung rechtfertigt (Abbildung 21, Nummer 8). Es wird befürchtet, dass vor allem bei Raubfischen die Schonung der Alttiere zu einem relevanten Kannibalismusdruck auf Jungfische führt. Nach einer aktuellen Studie an Hechten führte die Schonung von großen Fischen aber zu keinem Effekt auf die Abundanz der kleineren Altersklassen – offenbar reichte der Kannibalismusdruck der wenigen Altfische in den untersuchten Gewässern (Flächen 28 – 3.250 ha, Sichttiefen 1 – 5,5 m) nicht aus, um die schnellerwüchsigen, mittleren Altersklassen nennenswert zu dezimieren (Pierce 2010). Da die großen Fische natürlicherweise selten sind und verglichen mit jüngeren Altersgruppen in nur sehr geringen Stückzahlen vorkommen, sind diese Ergebnisse wahrscheinlich auf sehr viele andere Gewässer übertragbar (eine Studie in sehr kleinen Gewässern steht aber noch aus). Bedeutsam ist auch die Erkenntnis, dass wegen der höheren spezifischen Stoffwechselrate je g Körpermasse von kleinen gegenüber größeren Fischen die insgesamt konsumierte Nahrungsmenge bei gleicher Biomasse höher ist, wenn sich die Biomasse aus mehreren jüngeren Fischen im Vergleich zu einem kapitalen Tier

zusammensetzt. Maximalmaße sind selbstverständlich keine Option in der Bewirtschaftung, wenn Angler ein hohes Interesse an der Entnahme großer, kapitaler Tiere haben (Abbildung 21). Die Implementierung von Maximalmaßen ist in Deutschland derzeit legal nicht möglich, da die rechtlich bindenden Mindestmaße unterwandert würden. Maximalmaße können hierzulande also nur in Kombination mit einem Mindestmaß genutzt werden, was dem Entnahmefenster entspricht.

## **Entnahmefenster**

Entnahmefenster sind in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus gelangt, nachdem verschiedene Modelle die Überlegenheit der Entnahmefenster gegenüber reinen Mindestmaßen belegt haben (Arlinghaus et al. 2010, Gwinn et al. 2015). Sie werden insbesondere zur Stabilisierung der Populationsdynamik bei Raubfischarten, die sich nach Ricker rekrutieren, eingesetzt, wenn die Rekrutierung allgemein limitiert, das Wachstum der Fische hoch und die natürliche Sterblichkeit gering ist (Abbildung 21, Nummer 5). Der für Angler angenehme Nebeneffekt des Entnahmefensters ist, dass hierdurch größere Fische in nennenswerten, wenn auch immer noch geringen Anteilen in Beständen erhalten werden, was sowohl in Modellen (Arlinghaus et al. 2010) als auch jüngst in empirischen Ganzseeexperimenten nachgewiesen worden ist und bei Mindestmaßen nicht auftritt (Tiainen et al. 2014). Entgegen der Spekulation von Geldhauser (2006) führen Entnahmefenster keineswegs zur Akkumulation von Großfischen in unnatürlichen Anteilen. Der Grund ist, dass alle Fische durch das Fenster wachsen müssen und innerhalb des Fensters eine signifikante fischereiliche Sterblichkeit stattfindet, die selbstverständlich den Fischbestand verjüngt, das aber in geringerem Maße als bei Mindestmaßen der Fall. Um diese Effekte zu bewirken, müssen die Entnahmefenster je nach fischereilicher Sterblichkeit unterschiedlich breit gewählt werden, damit die Fische eine Chance haben, durch das Fenster zu wachsen (Gwinn et al. 2015). Eine Faustregel besagt, dass die Obergrenze bei etwa Zwei-Dritteln der theoretischen Maximallänge festgesetzt werden sollte, bei extrem hohen Fischereidrücken sollte die Obergrenze auf die Hälfte der Maximallänge reduziert werden (Tabelle 6, Gwinn et al. 2015).

**Tabelle 6** Optimale Entnahmefenster zur Gewährleistung von zwei gegensätzlichen Bewirtschaftungszielen bei zwei unterschiedlichen, hypothetischen Fischarten. Je stärker der Befischungsdruck, desto restriktiver muss das Obermaß des Entnahmefensters nach unten reguliert werden. Soll der Fang kapitaler Fische maximiert werden, wird das Entnahmefenster extrem restriktiv und nähert sich einer totalen Catch-and-Release-Angelei an. Die optimale Untergrenze des Fensters liegt stets bei der Länge, bei der die Fische laichreif werden (Mindestmaßäquivalent) (abgeleitet aus Gwinn et al. 2015).

|                                                                                                         | Großwüchsige Arten (Großsalmoniden, Hecht, Zander)                                                |                                                                                                       | Kleinwüchsige Arten (Barsch, Weißfische, Bachforelle)                                                 |                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maximal erreichbare Länge (mm) / Länge bei Eintritt in die Geschlechtsreife (mm)                        | 1200 / 400                                                                                        | 1200 / 400                                                                                            | 600 / 200                                                                                             | 600 / 200                                                                                             |
|                                                                                                         | Mittlerer Fischereidruck                                                                          | Hoher Fischereidruck                                                                                  | Mittlerer Fischereidruck                                                                              | Hoher Fischereidruck                                                                                  |
| Optimales Entnahmefenster für hohen Ertrag (Anzahl Fische pro Jahr, in mm)                              | 400 – 800, Mindestmaß knapp oberhalb der Reifungslänge, Maximalmaß des Fensters 66 % Maximallänge | 400 – 600, Mindestmaß knapp oberhalb der Reifungslänge, Maximalmaß des Fensters 50 % der Maximallänge | 200 – 390, Mindestmaß knapp oberhalb der Reifungslänge, Maximalmaß des Fensters 66 % der Maximallänge | 200 – 280, Mindestmaß knapp oberhalb der Reifungslänge, Maximalmaß des Fensters 50 % der Maximallänge |
| Optimales Entnahmefenster für Maximierung der Zahl kapitaler Fische im Fang (nicht in der Entnahme, mm) | 400 – 470                                                                                         | 400 – 440                                                                                             | 200 – 250                                                                                             | 200 – 240                                                                                             |

Entnahmefenster können insbesondere dann als Standardmaßnahme empfohlen werden, wenn die Wachstumsraten junger Fische ausreichend hoch sind, aber die Reproduktion aufgrund der Befischung potenziell gefährdet ist und die Bestände einer Bestands-Rekrutierungsbeziehung nach Ricker (1954) folgen (Abbildung 21, Nummer 5). Die Grundidee ist, dass die großen, sehr fruchtbaren, aber numerisch seltenen Tiere als Eireservoir fungieren, und bei Raubfischen der Kannibalismus auf die Nachkommen aufgrund der scharfen Ausdünnung der mittleren Rekruten „im Fenster“ durch die insgesamt gegenüber dem unbefischten Zustand stark reduzierte Fischabundanz minimiert wird, was die Rekrutierung von Nachkommen fördert.

Entnahmefenster erhöhen insgesamt die Pufferkapazität und Widerstandsfähigkeit von Fischbeständen gegenüber Umwelteinflüssen, wohingegen Mindestmaße vor allem eine schnelle Wiedererholung nach einer Überfischung garantieren (Le Bris et al. 2015). Entnahmefenster führen auch zu einer Selektion auf Schnellwüchsigkeit,



während Mindestmaße langsamwüchsige Hechte fördern. Modelle von Matsumura et al. (2011) belegten, dass mit Mindestmaß bewirtschaftete Hechtbestände in 100 Jahren 20% ihrer Wachstumskapazität einbüßten, während bei der Entnahmefenstervariante die Fische evolutionär gesehen an Durchschnittslänge gewannen. Anders ausgedrückt: Mindestmaße reduzieren in evolutionären Zeiträumen das Ertragspotential, während Entnahmefenster über die disruptive Selektion (Edeline et al. 2009) den Ertrag sogar steigern.

Wenn die gesamte vorliegende Befundlage würdigt wird (Tabelle 5), kann festgestellt werden, dass Entnahmefenster in vielen Fällen günstigere Fangbestimmungen darstellen als Mindestmaße. Sie können also Vereinen zur Implementierung empfohlen werden. Überdies ist der Erhalt der großen Fische sowie einer natürlicheren Altersstruktur in mit Entnahmefenstern bewirtschafteten Situationen auch aus ökosystemarer Sicht positiv zu bewerten (Francis et al. 2007). Ein relevantes Argument, das gegen die Entnahmefenster spricht, ist, dass viele Angler ein Interesse haben, auch die großen Fische mit nach Hause zu nehmen. Die hohe konsumtive Grundhaltung, die die Mehrheit der deutschen Angler kennzeichnet (Ensinger 2015), ist wohl ein gewichtiger Hauptgrund, warum Entnahmefenster in vielen Vereinen bisher nicht umgesetzt worden sind. Darüber hinaus ist das Thema "Entnahmefenster" in Deutschland eng mit dem Reizthema "illegales Catch & Release großer Fische" bzw. „Förderung des Trophäenangelns“ (Arlinghaus 2014) verwoben, was einem sachlichen Dialog gerade auf Behörden- oder Verbandsebene entgegensteht.

In Anbetracht des in Deutschland bindenden vernünftigen Grundes gemäß Tierschutzgesetz stellen Entnahmefenster gegenwärtig vor allem Hegemaßnahmen dar, die von den Gewässerbewirtschaftern im Einklang mit den Hegezielen lokal angewendet werden können, wenn ein Bestand verstärkten Schutz benötigt. Die Entscheidung, ob ein ungeschonter Fisch zurückgesetzt werden kann oder nicht, ist nach Meinung einiger Behördenvertreter und Juristen nichts, was einzelne Angler selbstständig entscheiden können (Geldhauser 2006). Entsprechend ist es nach derzeitiger Rechtslage im Unterschied zur Schweiz nur eingeschränkt möglich, dass einzelne Angler eigenverantwortlich entscheiden, welchen entnahmefähigen Fisch sie entnehmen und welchen nicht. Diese derzeitige Situation könnte sich künftig ändern, wenn Behörden und Verbände ihre Haltung der moderaten ethischen

Bewertung der Bevölkerung zum Thema „selektive Entnahme“ anpassen. Repräsentative Befragungen unter mehr als tausend Deutschen haben nämlich gezeigt, dass die Mehrheit der Deutschen einem ökologisch begründeten Zurücksetzen nach eigenen Ermessen des Anglers sowohl von unreifen wie auch von sehr großen Laichfischen positiv gegenübersteht (Riepe & Arlinghaus 2014). Entsprechend wird ein ökologisch begründetes Zurücksetzen großer Fische in Deutschland moralisch akzeptiert (Riepe & Arlinghaus 2014), ganz im Gegensatz zu der abstrakten Angst vor dem „Tierschutz“, die häufig bei der Entnahmefensterdiskussion in Deutschland mitschwingt. Was hingegen von der Mehrheit der Deutschen moralisch abgelehnt wird, ist das eigenverantwortliche Zurücksetzen aus rein egozentrischen Erwägungen, z. B. um einem befreundeten Angler einen Rückfang eines großen Tieres zu ermöglichen. Leider ist es zu beobachten, dass einige Angler, vor allem fundamentale Trophäenangler, die gar keine Fische mit nach Hause nehmen, die richtige und wichtige fischereiökologische Sachdiskussion um das Entnahmefenster für rein egozentrische Begründungen zur Förderung des in Deutschland in der Tat nicht mehrheitlich tolerierten totalen Catch & Release aller und vor allem der großen Fische missbrauchen. Dies vergiftet die Gesprächsatmosphäre. Umgekehrt ist es kontraproduktiv, wenn viele Fischereibehörden und Angelverbände die Diskussion um Entnahmefenster pauschal aus Angst vor Missbrauch oder einer öffentlichen Debatte ablehnen, ohne die zweifellos positiven Komponenten dieser Hegemaßnahme wertzuschätzen und ohne Rücksicht auf die tatsächlich moderate Einstellung der Deutschen zu Thema „ökologisch begründetes Zurücksetzen großer, entnahmefähiger Fische“. Auch ein Blick in die Schweiz ist lohnenswert, wo ein Land, das mindestens so stark dem Tierschutz verschreibt wie Deutschland, es dem einzelnen Angler überlässt zu entscheiden, ob er den einen oder anderen Fisch ausnahmsweise auch mal zurücksetzen kann. Der Diskus in Deutschland scheint hingegen auf mehreren Ebenen festgefahren. Fest steht: Die Überlegenheit des Entnahmefensters gegenüber dem Mindestmaß ergibt sich vor allem aus ökologischen und ertragsbasierten Überlegungen, die sozialen Effekte auf bestimmte Anglergruppen (vor allem die, die große Fische bevorzugen) ist ein angenehmer Nebeneffekt, aber nicht die Begründung für die Überlegenheit des Entnahmefensters gegenüber Mindestmaßen. Gegen die Einführung von Entnahmefensters sprechen vor allem soziale Situationen, insbesondere wenn – wie häufig der Fall – die lokalen Angler

mehrheitlich große Fische entnehmen wollen. Allerdings geht dieses Verhalten auf Kosten der Fischökologie und destabilisiert die Bestandsentwicklung. Ein Entnahme- bzw. Mitnahmefenster macht selbstverständlich bei nicht reproduzierenden Fischbeständen ökologisch keinen Sinn und ist daher auf natürlicherweise reproduzierende Arten und Situationen beschränkt. Hier ist das Entnahmefenster dann umso wertvoller.

Konzeptionell und legal ist ein Entnahmefenster identisch zu bewerten wie eigenverantwortlich in Gewässerordnungen eingesetzte sonstige Verschärfungen der gesetzlichen Mindeststandards, wie die Festlegung von Schongebieten, verlängerten Schonzeiten, täglichen Fangbeschränkungen oder erhöhten Mindestmaßen. Interessanterweise werden alle zuletzt genannten Bestimmungen in den meisten Fällen sowohl von Anglern wie auch Behörden, Verbänden und den meisten Vereinen akzeptiert. Wenn aber die Hegealternative Entnahmefenster in die Diskussion gelangt, wird heute regelmäßig mit Verweis auf „Förderung des illegalen Catch & Release großer Fische“ oder mit Hinweis auf vermeintliche ökologische Schäden, die der Erhalt der großen Fische (vor allem Raubfische) mit sich bringen soll, gegen ihre lokale Implementierung argumentiert. Dabei sind Entnahmefenster nichts anderes als eine (unterstützenswerte) Hegemaßnahme, die die Fischereisterblichkeit reduziert, ähnlich wie auch Erhöhungen der Mindestmaße oder die Einsetzung von Schongebieten selbstauferlegte Befischungseinschränkungen mit mortalitätsreduzierenden Effekten sind. Es leuchtet nicht ein, warum Angelvereine, die sich für eine selbstauferlegte Reduktion der Sterblichkeit einsetzen, entsprechende Regularien nicht einsetzen sollten. Entnahmefenster sind übrigens voll im Einklang mit dem Tierschutzgesetz und dem dort geforderten vernünftigen Grund des Angelns um der eigenen Ernährung willen, weil die Fische im (angemessen breiten) Mitnahmefenster und einer dem gesetzlichen Mindestmaß entsprechenden Unterschranke scharf befischt und entnommen werden. Gegen die flächendeckende Anwendung von (angemessen weiten) Entnahmefenstern bei reproduzierenden Arten spricht also rechtlich nichts, die fehlende Umsetzung scheitert derzeit vor allem am politischen Willen und an vielleicht unbegründeten, abstrakten Ängsten.

## Entnahmemarken

Sollten Entnahmefenster politisch oder sozial nicht umsetzbar sein, kann zumindest theoretisch über den Einsatz alternativer Anreizsysteme für den Erhalt großer Fische nachgedacht werden. In den USA, Kanada und in Australien (Jackson et al. im Druck) sind z. B. in manchen Gegenden Markensysteme anzutreffen. Damit ist gemeint, dass sich Angler über den Kauf von Marken das Recht erwerben, bestimmte Fischgrößen mitzunehmen. Da die ökologische Bedeutung großer Hechte besonders hoch ist, könnten die Preise der „Entnahmemarken“ mit der Größe der Fische gestaffelt werden. Da die ökologische Funktion und Einzigartigkeit des kapitalen Fisches besonders hoch ist (Arlinghaus 2006), sollte auch der Preis für die Entnahme entsprechend hoch ausfallen. Es ist nicht bekannt, dass solche Verfahren in Deutschland bisher eingesetzt worden sind, und es ist davon auszugehen, dass sie initial auf große Ablehnung treffen würden. Überdies werden sind größere Aufwände beim Management des Markenverkaufs nötig. Der Vollständigkeit halber sei aber die hervorragende Funktionalität des Markensystems hingewiesen.

Hierzulande könnte es in Form von Losverfahren oder direkten Verkäufen von Entnahmerechten an einzelnen Fischen in Vereinen umgesetzt werden. Ein Angler, der einen Fisch zur Entnahme fängt, müsste am Wasser seine Marke an dem Fisch anbringen und dem Verein melden (z. B. über eine App), so dass auch über die Gesamtentnahme besser Buch geführt werden könnte. Angler in Besitz von Entnahmemarken könnten ähnlich der in der marinen Berufsfischerei sehr erfolgreich eingesetzten transferierbaren, individuellen Quoten ihre Entnahmerechte auch an andere weiterveräußern. Es entstünde ein interner Markt im Verein, z. B. um das Recht an der Entnahme von großen Ausnahmefischen. Es ist wahrscheinlich, dass sich diejenigen Angler die Entnahmerechte der großen Laichfische sichern, die entweder besonders hohen Nutzen aus der Entnahme ziehen, oder aber hohe Nutzen daraus ziehen, den Fisch im Bestand zu erhalten. Das Resultat wäre eine faire und effiziente Allokation von Kosten und Nutzen und eine insgesamt reduzierte Sterblichkeit der großen Fische, ohne die Entnahme komplett zu verbieten. Aus den gesammelten Erlösen könnten gemeinnützige Aktivitäten des Vereins, Gewässerkäufe oder Besatzmaßnahmen finanziert werden. Auch könnten die

allgemeinen Angelkartenpreise reduziert werden, so dass nur diejenigen relevante Lizenzkosten haben, die bestimmte Fischgrößen quantitativ entnehmen.

## **Tägliche, wöchentliche oder jährliche Entnahmebeschränkungen**

Weitere in der Angelei häufig eingesetzte entnahmebasierte Fangbestimmungen umfassen tägliche Fangbeschränkungen und andere Quoten, die teilweise auch mit der eingeschränkten Entnahme von kapitalen Ausnahmefischen kombiniert werden (zwei Fische pro Tag insgesamt, davon maximal einen über XY cm). Tägliche oder andere absolute Entnahmebeschränkungen werden bei hoher Fischereisterblichkeit und geringer natürlicher Sterblichkeit relevant, wenn das Wachstum von Fischen nicht über die Ausdünnung bestimmter Kohorten (Längenklassen) angekurbelt werden kann (Abbildung 21). Tägliche Fangbeschränkungen beschränken aber nur die tägliche Mitnahme von Fischen durch einzelne Angler, nicht notwendigerweise die gesamte Fischereisterblichkeit über alle Angler im Verein (die ja wiederholt an die Gewässer gehen können). Die Gesamtentnahme wird nur über individuelle Jahresquoten (je Angler können XY Fische pro Jahr entnommen werden) gemangt. Weil die wenigsten Angler die häufig in den Gewässerordnungen verankerten täglichen Fangbeschränkungen von 2-3 Fischen pro Tag erreichen, besteht die Möglichkeit, dass diese Maßnahmen auch nicht zu gerechteren Verteilungen der entnommenen Fische zwischen den Anglern führen (Seekell 2011, Seekell et al. 2011). In der Tat liegen zum Beispiel die durchschnittlichen täglichen Hechtfänge niedersächsischer Angler bei 0,78 Hechten pro Tag (N = 1098 Angelausflüge). Und bei Anglern in Mecklenburg-Vorpommern rangierten die mittleren Fangraten zwischen 0,3 und 0,5 Hechten pro Stunde, je nach Anglertyp (Beardmore et al. 2011), was auf hechtreichere Gebiete hinweist als in Niedersachsen der Fall, wo die Mittelwerte für die täglichen Fänge von Hechten < 0,25 Hechte pro Stunde betrugen (Pagel et al. unveröffentlichte Daten). Mecklenburger Angler fischen im Durchschnitt zwischen 4 und 5 Stunden pro Angeltag, so dass sich mittlere Fänge pro Tag von 1,2 bis 2,5 Hechten ergeben. Diese Werte reichen nicht aus, um bei einer täglichen Entnahmebegrenzung von 2-3 Hechten pro Tag die Entnahme einzelner Angler weiter zu begrenzen. Diese Daten dürften in ähnlicher Weise auch für andere wenig abundanten Fischarten gelten, was dafür spricht, dass die gegenwärtig hierzulande

anzutreffenden täglichen Fangbeschränkungen (wahrscheinlich) nur geringe Wirkung auf die Gesamtfischartnahme entfalten.

Der Effekt derzeitig weitverbreiteter täglicher Fangbeschränkungen ist vor allem sozialer Natur, indem sie die Angler daran erinnern, dass die Bestände limitiert sind (Radomski et al. 2001). Tägliche Fangbeschränkungen machen daher durchaus Sinn, auch wenn die biologische Effektivität im Sinne der Kontrolle des Gesamtertrags bei den derzeit bereits anzutreffenden bereits geringen täglichen Entnahmebeschränkungen in den meisten Gewässern gering sein dürfte. Anders sieht das aus, wenn lokal noch keine Entnahmebeschränkungen existieren und man es mit Fischarten mit hohen Fangraten von mehreren Fischen pro Tag zu tun hat (Weissfische). Ähnlich wie Mindestmaße werden Entnahmebeschränkungen häufig auch in Kombination mit längenbasierten Mindestmaßen als Mindestschutz für die Populationen eingesetzt, für die der Bewirtschafter keine besonderen demographischen Kenntnisse besitzt (Abbildung 21).

## **Schlussfolgerungen für die Praxis**

- Beschränkungen des Angelaufwands steigern die Bestände meist effektiver als die Beschränkungen der Entnahme, das geht auf Kosten der sozialen Akzeptanz entsprechender Bestimmungen.
- Schon- und besonders Entnahmebestimmungen (Output-Regularien) sind vor allem bei hohem Angleraufkommen und geringer oder moderater natürlicher Sterblichkeit angeraten.
- Beangelte Fische reagieren sehr sensibel in der Größenstruktur auf die Befischung und werden insbesondere unter Mindestmaßbestimmungen stark verjüngt; ein verjüngter Bestand hat eine geringere Stabilität als ein befischter Bestand mit naturnäherem Altersklassenaufbau.
- Die Wirksamkeit unterschiedlicher längenbasierter Entnahmebestimmungen variiert je nach demographischen Bedingungen in Bezug auf Wachstum, Rekrutierung und Sterblichkeit. Bei rekrutierungslimitierten, schnell wachsenden Beständen mit geringer natürlicher Sterblichkeit sind Entnahmefenster die bevorzugte Schonmaßnahme. Entnahmefenster sollten

im Optimalfall so angelegt werden, dass die Unterschranke dem gesetzlichen Mindestmaß entspricht und das Maximalmaß bei etwa 2/3 der theoretischen Endlänge der lokal vorfindlichen Fische einer Art angesetzt wird (Tabelle 5). Ein solches Entnahmefenster ist eine Hegemaßnahme, die jeder Fischereipächter im Einklang mit lokalen Hegezielen eigenverantwortlich in den Gewässerordnungen festsetzen kann. Selbstverständlich sollte es eine Hegebegründung geben, die einen verschärften Schutz des Fischbestands rechtfertigt. Auch sollten Alternativen zu Entnahmefenstern angemessen berücksichtigt werden, inkl. Einschränkungen des Angelaufwands.

- Über Mindestmaße lässt sich ähnlich wie bei Entnahmefenstern effektiv die Rekrutierungsüberfischung verhindern, das geht auf Kosten einer reduzierten Größenstruktur, wenn die Entnahme hoch ist. Obwohl derzeit noch nicht flächendeckend diskutiert, kann aus einer starken Verjüngung auch ein Verstoß gegen den Hegeauftrag (Erhalts eines naturnahen Fischbestands mit einer naturnahen Altersstruktur) konstruiert werden. Veränderungen der gesetzlichen Mindestmaße sind Sache der Fischereibehörden, von einer Erhöhung von Mindestmaßen in lokalen Vereinsgewässern sollte mit Blick auf die bessere Alternative der Entnahmefenster abgesehen werden.
- In der Regel bietet es sich an, verschiedene Entnahmebeschränkungen und Regulierungen zu kombinieren, wie (geringe) tägliche Fangbeschränkungen, längenbasierte Entnahmebeschränkungen sowie Schonzeiten und Schongebiete. Zwar liegen zu diesen kombinierten Wirksamkeiten nur wenige oder keine Studien vor, aber es leuchtet intuitiv ein, dass der Mindesterhalt der Laichfische über längenbasierte Mindestmaße sowie die Schonung der sensiblen Laichperiode für den Erhalt von Beständen wichtig sein dürfte.
- Alle längenbasierten Schonmaßnahmen verlangen das Zurücksetzen von ungewollten Beifängen; entsprechend sorgsam sollte der Zurücksetzvorgang vonstatten gehen, damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Fische hoch ist. Die meisten heimischen flach gehakten Fische überleben das Fangen-und-Zurücksetzen ohne Probleme (Arlinghaus et al. 2007). Von langen Fotosessions und Hälterung sollte aber abgesehen werden, da das die Fische unnötig unter Stress setzt (Rapp et al. 2012, 2014).

## 5 Planung und Einsatz von Fischbesatz

Das letzte Kapitel 5 greift die in Kapitel 3 vorgestellten Entscheidungsbäume auf, indem es die unterschiedlichen als prinzipiell geeigneten Fischbesatzformen und ihre Erfolgsaussicht präzisiert und Grundlagen für die Fischbesatzplanung legt.

### 5.1 Ökologische Faktoren erfolgreicher Besatzmaßnahmen

Die Gewährleistung des fischereilichen Erfolgs von Besatz – definiert als eine Steigerung der Fischbestandsgröße und der Fänge gegenüber der Situation ohne Besatz – hängt von einem komplexen Wirkungsgefüge diverser Faktoren ab, die für einige Arten (vor allem Salmoniden) gut und für andere Arten (z. B. Weissfische) nur zum Teil verstanden sind. Die von Besatzfisch durchgeführten Experimente und Modelle sowie die begleitende Literaturevaluation erlauben es aber, die wichtigsten erfolgsbestimmenden ökologischen Faktoren von Besatz zu vier hierarchisch angeordneten Komplexen zu verdichten (Abbildung 22).

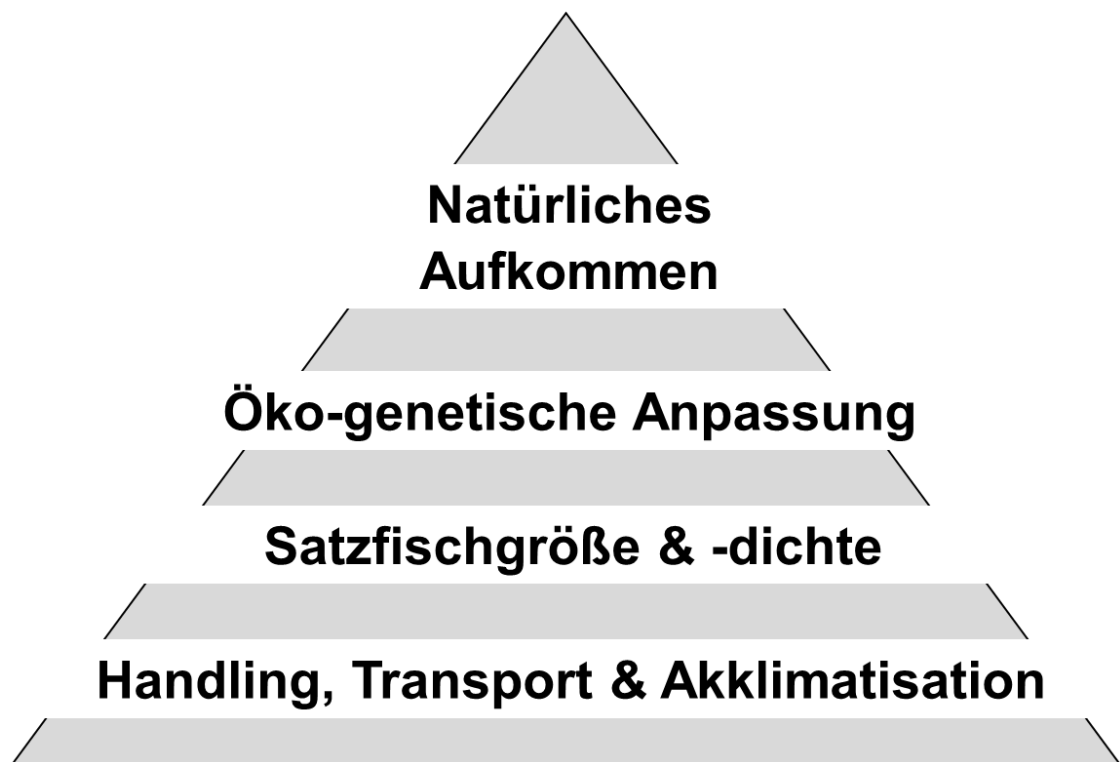


Abbildung 22

Die vier wichtigen Einflussfaktorenkomplexe, die die Aussicht auf einen fischereilichen Besatzerfolg entscheidend mitbestimmen. Die Anordnung von oben nach unten veranschaulicht eine Bedeutungshierarchie: Der wichtigste Faktor steht oben, der zweitwichtigste an zweiter Stelle usw.



## Natürliches Aufkommen

Die von Besatzfisch durchgeführten Experimente und eine Vielzahl weiterer Studien und Modelle (z. B. Lorenzen 2005; Rogers et al. 2010, Camp et al. 2016) belegen, dass in den meisten Fällen ein Brut- oder Jungfischbesatz in natürlich reproduzierenden Beständen fischereilich gesehen wirkungslos ist und zu keiner nachhaltigen Bestandserhöhung beiträgt. Der Grund ist, dass diese jungen Lebensstadien in den meisten Gewässern durch dichteabhängige Sterblichkeitsprozesse im Jungfischstadium reguliert werden. In der Regel erreicht der Fischbestand – unabhängig von Besatz – in jedem Jahr die gewässerspezifische Tragekapazität an Nachkommen, die sodann in den fischbaren Bestand hineinwachsen („Rekruten“, vgl. Kapitel 1). Insofern steigert bei ausreichendem natürlichem Aufkommen Jungfischbesatz die Jahrgangsstärke meist nur kurzfristig oder überhaupt nicht, weil Futter, Standplätze und Unterstände in jedem Gewässer begrenzt sind und die Wildfische die Konkurrenzsituation meist für sich entscheiden. Möchte der Bewirtschafter in einem auf moderatem oder hohem Niveau natürlich reproduzierenden Bestand trotzdem die Fänge für Angler erhöhen (Steigerungsbesatz, vgl. Kapitel 3), sollte nach gegenwärtigem Wissensstand vor allem auf den Besatz mit größeren Satzfishen, unter Umständen sogar mit entnahmefähigen Fischen, zurückgegriffen werden. Diese Maßnahme verspricht zwar kurzfristige Fangsteigerungen, wird aber in vielen Fällen die künftige Rekrutierung nicht nennenswert beeinflussen, weil die Fische rasch zurückgefangen werden, stark domestizierte große Satzfishen eine geringe natürliche Vermehrungsleistung zeigen und alle in der nächsten Generation abgebenen Eier erneut durch die natürlichen Engpässe getrieben werden.

In vielen Gewässern unserer Kulturlandschaft existieren kurzfristig nicht veränderliche Reproduktionsengpässe, z. B. weil der Gewässeraus- und -verbau wichtige Laich- und Jungfischhabitate zerstört hat. Selbst unter den Bedingungen eingeschränkter natürlicher Reproduktion ist die Aussicht auf eine nennenswerte Bestandssteigerung durch den Besatz von Brut- oder Jungfischen gering, wie zum Beispiel die Experimente von Besatzfisch an Hechten in strukturarmen Baggerseen gezeigt haben (Arlinghaus et al. 2015): Zwar beherbergten strukturarme Baggerseen weniger Hechte als die strukturreichen Vergleichsgewässer. Trotzdem steigerte der

Besatz einsömmeriger Hechte die Bestände zweijähriger Fische weder in dem „guten“ noch in dem „schlechten“ Hechtgewässer. Anders ausgedrückt: Der Gewässerzustand bestimmt maßgeblich die Bestandshöhe; ein Besatz mit Jungfischen steigert die Jahrgangsstärke für gewöhnlich nur kurzfristig, weil die Rekrutierungsengpässe in den meisten Gewässern das Jungfischstadium betreffen und daher die häufig kleinen, empfindlichen Satzische beim Überleben den gleichen Schwierigkeiten ausgesetzt sind wie ihre natürlicherweise aufkommenden Artgenossen.

Besonders erfolgversprechend sind immer Besatzmaßnahmen in Beständen, die natürlicherweise kaum oder gar nicht reproduzieren. Hier fehlt die Konkurrenz mit natürlichen Artgenossen und der Besatz kann sich meist gut etablieren, wenn das Gewässer ansonsten zum Wachsen und Überleben geeignet ist. Das beste Beispiel im Besatzfischprojekt war der Karpfenbesatz, aber auch Hechtbrut in ansonsten hechtfreien Gewässern kann einen höchst erfolgreichen Besatz bilden.

Trotz fehlender Bestandssteigerung führt fast jede Form von Besatz zu einer teilweisen Verdrängung der natürlicherweise rekrutierenden Jungfische durch die besetzten Fische. Je nach Auswahl des Besatzmaterials kann es dann bei einer anschließenden Vermehrung zu einem Verlust der lokal angepassten genetischen Vielfalt bzw. sogar zu einer Veränderung des lokalen Genpools beitragen, wenn eine große Anzahl von Satzischen in eine Konkurrenz mit vergleichsweise wenigen natürlichen Jungfischen gezwungen wird.

Natürlich ist immer vor einer Pauschalisierung zu warnen, so dass die gerade dargestellten Zusammenhänge nicht in jedem Gewässer zutreffen müssen. In den meisten Fällen wird aber unter Bedingungen eingeschränkter oder hoher natürlicher Reproduktion der Besatz größerer, gut angepasster Satzische einen höheren Beitrag zur Populationssteigerung liefern als der Besatz von Fischbrut und sehr jungen, kleinen Jungfischen (Lorenzen 2005). Daraus folgt der erste Leitsatz für nachhaltigen Besatz:

**Besatz ist dann besonders erfolgversprechend, wenn die natürliche Reproduktion der Zielart fehlt oder stark eingeschränkt ist. Sofern die Zielart aber nennenswert reproduziert, ist Besatz mit Brut- und Jungfischen meist**

**fischereilich wirkungslos und naturschutzfachlich, je nach Auswahl und Herkunft des Besatzmaterials, problematisch.**

## **Ökogenetische Anpassung**

Der zweite wesentliche Einflussfaktor auf den Besatzerfolg ist die ökologische und genetische Anpassung der Satzfische an die neue Umwelt (sogenannte ökogenetische Anpassung). Damit ist die Fähigkeit gemeint, verhaltensseitig auf die gewässerspezifisch vorhandenen Räuber und alle sonstigen lokalen ökologischen Faktoren (Nahrung, Sauerstoff, Temperatur) zu reagieren, um die ersten Tage nach Besatz erfolgreich zu überstehen. Eine genetische Anpassung an das Besatzgewässer ist gerade auch bei Wandersalmoniden und genetisch stark ausdifferenzierten Fischarten wie Bachforellen nötig, um nach dem Wachsen und Überleben auch eine erfolgreiche Reproduktion zu garantieren. Viele Populationen von Forellen und Äschen sind in genetischer Hinsicht perfekt an die lokalen Temperaturverhältnisse und die sonstigen ökologischen Bedingungen angepasst. Ein Besatz gebietsfremder Populationen scheitert schon aus Gründen der genetischen Anpassung.

Aber auch die ökologische Anpassung darf keinesfalls außer Acht gelassen werden. Denn selbst Fische lokaler Herkunft, die die Gene für die Lokalanpassung in sich tragen, überleben im Vergleich zu Wildtieren nach Besatz weit schlechter, wenn die Zuchtfische während des Schlupfes und der Anfütterung unnatürlich hohen Dichten und sehr künstlichen Bedingungen ausgesetzt worden sind, da die Zuchtumwelt die Anpassungsfähigkeit der Tiere an das Überleben in der Natur stark reduziert (Araki et al. 2007, Brockmark & Johnsson 2010, Thériault et al. 2011, Christie et al. 2012, 2014, Hühn et al. 2014, Larsen et al. 2015). Daher sind naturnah oder natürlich aufgezogene Satzfische, die bestenfalls durch natürliche Verlaichung entstanden sind (natürliche Partnerwahl!), beim Besatz gegenüber „Beckenfischen“ und künstlich abgestreiften Satzfishen grundsätzlich zu bevorzugen. Das ist vor allem dann der Fall, wenn von den Satzfishen ein längerfristiges Überleben und gegebenenfalls eine Reproduktion im Adultstadium erwartet wird. Teichfische mit natürlicher Partnerwahl oder Wildfänge sind daher in vielen Fällen den in Becken und Tanks aufgezogenen Fischen vorzuziehen. Auch sind Jungtiere, die kürzer unter

künstlichen Bedingungen gehalten wurden, weniger domestiziert als adulte Tiere, die zeitlebens in den Becken der Fischzucht gehalten wurden. Entsprechend zeigen jüngere Fische, die weniger lang künstlichen Situationen ausgesetzt worden sind, nach Besatz höhere Überlebensraten als zu lange in Becken gehaltene, ältere Tiere, wie dies beispielsweise am Aal nachgewiesen worden ist (Simon 2013). Neue Studien an Salmoniden sowie Arbeiten von Besatzfisch an Hechtbrut (Hühn et al. 2014) belegen überdies, dass schon kürzeste Zeiten in künstlichen Beckenumwelten bei hohen Besatzdichten zu Verhaltensanomalien führen, die zu erheblichen Sterblichkeiten nach dem Besatz beitragen. Alle verfügbaren Studien deuten auf den Umstand hin, dass nichts die natürliche Selektion ersetzen kann und dass keine Spezialbehandlung und kein dem Besatz vorausgehendes Training an Naturnahrung sowie Unterstände usw. aus einem Satzfish einen echten Wildfish machen können. Trotzdem haben einige Studien an Salmoniden, die in künstlicher Umwelt gehalten wurden, belegt, dass ein ökologisches Training vor Besatz – das Halten in geringer Dichte und eine Diversifizierung der Haltungsumwelt – durchaus überlebenssteigernd wirken kann. Beim Besatz sind solche „trainierten“ Satzfish daher denen aus vollständig künstlichen Haltungsumwelten vorzuziehen.

Je nach Besatzziel kann auch das Domestizieren eine geeignete Methode zur Zielerreichung darstellen, zumindest beim Besatz mit fangreifen Fischen, die keine lange Aufenthaltszeit im Besatzgewässer erwartet und die rasch wieder im Fanggerät auftauchen sollen (Regenbogenforellenbesatz in Seen). In diesen Fällen kann auch eine zeitlebens in Rundbecken gehaltene Bach- oder Regenbogenforelle ein hervorragender Satzfish sein, nur sollte man von diesen Fischen keinen relevanten Beitrag für die nächste Generation erwarten. Der relative Reproduktionserfolg von künstlich gehaltenen Fischen ist 20 % bis 40 % geringer als der eines Wildfisches (Araki et al. 2007, Thériault et al. 2011, Christie et al. 2014, Arlinghaus et al. 2015). Daraus leitet sich der zweite Leitsatz für nachhaltigen Besatz ab:

**Für ein langfristiges Überleben im Besatzgewässer ist eine ökologische Anpassung an Fraßdruck und Nahrungsorganismen sowie eine genetische Anpassung an die lokalen Gewässerbedingungen von unschätzbbarer Bedeutung. Lokale Herkünfte, im Idealfall Wildfänge oder Nachkommen von Laichfischen aus dem Besatzgewässer, sind meist überlebens- und reproduktionsfähiger als domestizierte Besatzfische oder Fische aus**

**gebietsfremden Regionen. Training kann einen relevanten Anpassungserfolg selbst bei domestizierten Fischen erzielen, aber kein Training dieser Welt kann die natürliche Selektion ersetzen. Satzfische sollten daher wann immer möglich vor Besatz natürlichen Selektionsprozessen und einer natürlichen Partnerwahl unterworfen werden, damit sie natürlichen Gefahren effektiv begegnen können.**

## **Satzfischgröße und -dichte**

Neueste Studien sowie Arbeiten im Besatzfischprojekt führen zu der grundsätzlichen Erkenntnis, dass bei ansonsten ähnlich gehaltenen Fischen die Überlebensrate nach Besatz mit der Satzfishgröße ansteigt. Gleichzeitig steigen auch die Produktionskosten des Satzfishes mit der Größe an, so dass aus Sicht einer Kosten-Nutzen-Erwägung meist eine mittlere Satzfishgröße und eine geringe bis mittlere Besatzdichte am kosteneffizientesten ist. Das trifft nicht auf Bedingungen fehlender natürlicher Rekrutierung mit Engpässen in den Laichgebieten zu – hier sind Brütlinge, die besonders gering domestiziert sind, sehr geeignete Satzfishgrößen. Mit dem Aufenthalt in Zuchtbecken steigt die Domestizierung, was den ansonsten gültigen Zusammenhang von Fischlänge und Überlebensrate umdrehen kann. Simon & Dörner (2014) zeigten am Beispiel von Aalen, dass größere Farmaale eine geringere Überlebensrate haben als bedeutend kleinere Glasaale. Bei domestizierten Forellen fanden sich ähnliche Zusammenhänge (Baer 2008). Trotzdem kann wie bereits ausgeführt manchmal auch der Besatz großer domestizierter Fische angeraten sein, zum Beispiel in stark verbauten Flüssen oder wenn ein rasches, kurzfristiges Angelerlebnis produziert werden soll bzw. um die Interaktion von Satzfish- und Restwildfishbeständen zu minimieren (Lorenzen et al. 2012). In den meisten Fällen haben Jungfische aber den Vorteil der geringeren Domestizierung (sofern die Art ansonsten zeitlebens in Becken großgezogen wird), sie haben aber den großen Nachteil einer substantiell erhöhten Sterblichkeit. Aus diesem Grunde gilt als Grundsatz:

**Satzfische sollten so groß wie ökologisch zur Umgehung von kritischen Engpässen nötig, aber so klein wie möglich sein.**

Die richtige Satzfishgröße hängt nicht zuletzt von den Besatzzielen, den Aufzuchtbedingungen und den ökologischen Engpässen im Besatzgewässer ab. Wie

bereits angedeutet, kann ein domestizierter, großer, maßiger Fisch unter bestimmten Bedingungen ein exzellenter Satzfisch sein, vor allem dann, wenn der Besatz rasch wieder in den Fängen auftauchen soll und wenn die ökologische Interaktion von Satz- und Wildpopulation (z. B. während der Reproduktion) minimiert werden soll. Auch in natürlich reproduzierenden Beständen sollten – wie ebenfalls bereits erwähnt – die natürlich aufgezogenen Satzfische oder die besetzten Wild- oder Teichfische vergleichsweise groß sein, um die natürlichen, von der Größe abhängigen ökologischen Engpässe im Larven- und Jungfischstadium umschiffen zu können. Andernfalls droht, dass die fischereiliche Wirkung von Besatz von der dichte- und größenabhängigen Sterblichkeit aufgehoben wird. Zugleich kann Brutbesatz in Situationen fehlender Reproduktion aber exzellente Ergebnisse zeitigen, wie das Besatzbeispiel der Bruthechte in den Teichversuchen gezeigt hat. Ein Überbesatz mit Fischbrut oder Jungfischen ist wegen der dichteabhängigen Sterblichkeitsregulation übrigens praktisch ausgeschlossen, wohingegen die robusten großen Tiere recht leicht überzubesetzen sind. Ein entstandener Überbesatz an entnahmefähigen Fischen ist an geringen Zuwachsraten ablesbar, was vergleichsweise leicht wieder durch Ausfang der nun besonders leicht fangbaren Tiere (Hunger) korrigierbar ist. Auch Kormorane und andere Fischräuber freuen sich über (hungrige) Fische, die viele Risiken eingehen und sich seltener verstecken.

Neben der Besatzgröße ist vor allem auch die Besatzdichte ein wichtiger Einflussfaktor auf den Besatzerfolg, vor allem den ökonomischen. Die Besatzdichte wirkt vor allem über die futterabhängige Dichteregulation: Wenn die Besatzdichte zu hoch ist und die Satzfische grundsätzlich im Gewässer überleben, steigert sich die Nahrungskonkurrenz, was bei jungen Tieren zu dichteabhängiger Sterblichkeit (und zur Selbstregulation) und bei adulten Tieren zu geringem Wachstum und leichter Fangbarkeit führt. Insofern reguliert sich eine (zu hohe) Besatzdichte von Brut- und Jungfischen rasch von selbst, während sie beim Überbesatz großer, robuster Tiere zur Wachstumsdepression und hoher Fängigkeit führt (vgl. auch Kapitel 1). Diese ist allerdings leicht erkennbar und ebenso rasch zu korrigieren. Von konkreten Empfehlungen in Bezug auf die optimale Besatzdichte wird an dieser Stelle bewusst Abstand genommen.

## **Box 2: Einige fischartenspezifische Gedanken zum Besatz**

**Aal:** Funktioniert eigentlich immer – als Steigerungs-, Kompensations- oder Erhaltungsbesatz – besonders gut mit Glasaalen, weil die Farmaale durch die langen Aufenthaltszeiten in künstlichen Becken deutlich schlechter als Glasaale wachsen und überleben (Simon & Dörner 2014).

**Äsche:** Siehe Bachforellen. Leider gibt es nur wenige lokale Satzäschenherkünfte.

**Bachforellen und andere heimische Salmoniden:** Im Grunde der ideale Kandidat für Kompensationsbesatz und im Falle der Meeforellen auch für Steigerungs- oder Stützungsbesatz, weil viele Forellengewässer anthropogen überformt sind und Rekrutierungsdefizite bestehen. In natürlichen Beständen ist Besatz aber meist wirkungslos, in rekrutierungslimitierten Beständen zumindest zur Fangsteigerung erfolgversprechend, unter anderem auch nach Besatz großer, domestizierter Forellen (Baer 2008). Es sollten aber in der Regel möglichst junge, naturnah aufgezogene Tiere verwendet werden (weil mit dem Grad der Domestizierung die Überlebenschance im Freiland sinkt). Diese sollten aber stets größer sein als die Stadien, die natürlicherweise begrenzt werden, und sollten möglichst aus lokalen Herkünften stammen, um die negativen genetischen Effekte der Hybridisierung von Satz- und Wildfisch zu kontrollieren. Bachforellen zeigen eine starke Anpassung an lokale Bedingungen, so dass auf die Besatzherkünfte und die Aufzuchtbedingungen besonders hoher Wert gelegt werden muss. Eine theoretische Möglichkeit ist das Besetzen von Triploiden und die selektive Entnahme nur von Satzfishen, was die Wildbestände schonen könnte.

**Karpfen:** Ein wunderbarer Satzfish für Erhaltungsbesatz. Robust im Handling, klappt so gut wie immer. Achtung bei Frühjahrsbesatz und Aufpassen mit dem Einschleppen von Koi-Herpesvirus. Häufig ist Herbstbesatz fischschonender, allerdings können nach einer ungarischen Studie die Wiederfangraten im Herbst geringer ausfallen als zu anderen Jahreszeiten (Specziár & Turcsányi 2014).

**Hecht:** Funktioniert nur bei fehlendem oder eingeschränktem Naturaufkommen, dann geht auch Brut. Ansonsten – Geld sparen und für was anderes ausgeben.

**Maränen/Felchen:** Fehlt die Reproduktion, funktioniert Besatz mit Maränenbrut fischereilich gesehen hervorragend, andernfalls häufig wirkungslos, vor allem bei fremden Herkünften. Wird genetisch rein besetzt, finden sich zumindest im Bodensee hohe Anteile in den Fängen wieder. Ob es hier ein additiver Effekt ist oder ob Naturproduktion verdrängt wird, ist noch nicht ausdiskutiert.

**Regenbogenforelle:** An ihr scheiden sich die Geister. Im Put-and-Take-Business eine Gelddruckmaschine. Wird äußert gerne von Angelvereinen als entnahmefähiger Fisch in kleine Standgewässer oder ausgebaute Fließgewässer besetzt, wo es keine nennenswerten Bachforellenbestände gibt. Klappt meistens im Sinne kurzfristiger Steigerung der Fänge (und der Anglerzufriedenheit), hat dann auch geringe ökologische Einflüsse. Besatz in gesunde Bachforellengewässer ist wegen der dann entstehenden Nahrungskonkurrenz problematisch und gegebenenfalls überdenkenswert.

**Schleie:** Siehe Karpfen. Im Erhaltungsbesatz hervorragend, ansonsten bei natürlich reproduzierenden Beständen wie Weißfische einzuschätzen.

**Zander:** Ein heikles Feld. Einbürgerungen können mit Laichfischen klappen. Ansonsten schwer zu garantierender Besitzerfolg, weil die Fische sehr stressanfällig sind, ein ausgedehntes Freiwasser nötig ist und der Zander wie der Hecht zu Kannibalismus neigt. Große Wildfische als Besatzfische scheinen allen anderen Satzfishgrößen überlegen zu sein. Aufpassen – Kreislaufanlagen liefern über Teichanlagen äußerlich hervorragend aussehende Anlagenfische, die aber sehr geringe Überlebenschancen im Freiland haben. Wildfänge sind stets als Besatzmaterial zu bevorzugen.

**Weißfische:** Additiver Effekt von Besatz wenige Wochen nach Besatz möglich, aber meist nur von kurzer Dauer. Einige Arten reagieren extrem empfindlich auf Transportstress. In der Regel ist in den meisten Gewässern kein Besatz nötig, weil Weißfische keine spezialisierten Ansprüche an Laichgründe haben. Gehen Weißfische zurück, hat das meist Nährstoffgründe oder ist im starken Kormoranfraß begründet. Besatz ist dann nicht nachhaltig abzusichern. Wenn besetzt wird, funktionieren größere, robustere Wildfische wahrscheinlich am besten, die im Herbst oder Winter besetzt werden; diese Empfehlung ist aber durch keine Studie abgesichert.

Wie es das in Kapitel 2 im Detail erläuterte Prinzip der lernfähigen Hege und Pflege verlangt, sind die „besten“ Besatzgrößen und -zahlen über Versuch und Irrtum

gewässerspezifisch herauszufinden. Der geneigte Leser findet einige artabhängige Besatzvorschläge in der deutschen Fachliteratur (z. B. Tesch & Wehrmann 1982, Zeiske & Plomann 1982, Knösche et al. 1998, Baer et al. 2007, Mattern 2015). Da aber für die meisten der hier und andernorts kursierenden Besatzzahlen (auch für die in Baer et al. 2007 und vor allem für die in Mattern 2015) keine belastbaren, begutachteten Studien existieren, obliegt es dem Hegenden, seine eigenen Erkenntnisse zu den optimalen Besatzzahlen und zur optimalen Besatzgröße durch Versuch und Irrtum zu sammeln. Es wird aber dringend davor gewarnt, sich stoisch an Handbüchern mit Besatzzahlen zu orientieren. Diese Aspekte sind weit weniger gut untersucht als man gemeinhin glaubt, und zu verschiedenen sind die unterschiedlichen Gewässer. In Box 2 werden einige Gedanken zu fischartenspezifischen Teilaspekten geäußert.

## **Handling, Transport und Akklimatisation vor Besatz**

Der Besatz Durchführende kann alles richtig gemacht haben. Das Gewässer ist perfekt geeignet (geringe natürliche Rekrutierung, die durch Besatz angekurbelt werden kann) und genetisch und ökologisch perfekt angepasste Wildfische oder Teichfische bzw. an Naturfutter und Unterstände gewöhnte Beckenfische in der geeigneten Größe sind vorhanden. Doch dann entsteht den Satzfischen beim Transport aus Unachtsamkeit Temperatur- und Sauerstoffstress, das Handling beim Verlanden und Keschern ist „grob“ und die Fische werden ohne Akklimatisation in das Besatzgewässer ausgesetzt. Viele glauben zum Beispiel, dass die Fische nach dem Transport rasch ins Gewässer zu setzen sind. Das Gegenteil ist der Fall: Häufig lohnt es sich, die Satzfische vor Besatz langsam an die Bedingungen in der neuen Umwelt zu gewöhnen, beispielsweise durch eine Zwischenhälterung in Netzgehegen im zu besetzenden Gewässer. Es ist sehr wahrscheinlich, dass das rasche Einsetzen nach einem mit Sicherheit stressenden Transport den Besatzerfolg reduzieren oder sogar zunichte machen kann, indem hohe Fraßverluste die sofortige Sterblichkeit stark erhöhen. Selbst robuste Hechtlfische zeigen nach dem Transportstress eine gesteigerte Sterblichkeit von bis zu 10 % (Arlinghaus et al. 2015), wie sieht es dann bei kleinen, sensiblen Fischgrößen aus? Viele Studien belegen, dass selbst einfache Anpassungen an die Bedingungen des Besatzgewässers die Überlebensrate nach Besatz stark erhöhen können (z. B. zwei Tage vor dem Besatz



Hälterung in Netzgehegen innerhalb der Besatzgewässer). Wichtig zu wissen ist, dass die ersten Tage nach Besatz im Grunde über den Besatzerfolg entscheiden. Der Hegetreibende muss also alles dafür tun, den Stress auf die Besatzfische vor und während des Transports zu minimieren und die Akklimatisationszeit zu maximieren, um es den Fischen zu ermöglichen, Fraßfeinden auszuweichen und sich an das Besatzgewässer zu gewöhnen. Das kann je nach Art auch bedeuten, dass man die Fische zum Schutz vor Räubern sorgsam im Gewässer verteilt oder in der Nacht aussetzt. Gerade in der Phase vom Abfischen bis zum Besatz bestehen überdies vielfältige Möglichkeiten, mit denen Stressfaktoren minimiert werden können und müssen. Es gilt, den Transportweg kurz, das Handling fischschonend (Gummikescher), die Temperaturschwankungen gering und die Akklimatisation an das Besatzgewässer und die dortigen Temperatur- und Futterbedingungen sorgsam zu gestalten. Auch der Besatzzeitpunkt ist wichtig. Weil die Temperaturen im Frühjahr unvorhersehbar sind und viele Teichfische schlecht konditioniert aus der Winterung kommen, ist für viele Arten – entgegen der üblichen Praxis – ein Herbstbesatz zu bevorzugen. Frühjahrsbesatz führt hingegen häufig zu unnötigem Stress, der hohe Fischverluste und Krankheitsausbrüche begünstigt. Daraus leitet sich der letzte Grundsatz nachhaltigen Besatzes ab:

**Die Satzische sollten minimalen Stress vor und während des Besatzes erfahren, eine sorgsame Akklimatisation an das Besatzgewässer zahlt sich in der Regel in höheren Überlebensraten aus.**

## **5.2 Fischbesatzplanung**

Konkretere Planungsschritte für nachhaltigen Besatz können angegangen werden, sofern nach Durchlaufen des Entscheidungsbaums in Abbildung 18 eine der aufgeführten Besatzformen als relevante Hegeoption identifiziert wurde. Auch auf die Gefahr einer Wiederholung hin soll hier betont werden: Besatz ist meist nicht die Methode der ersten Wahl und sollte in vielen Fällen erst nach Auslotung der Möglichkeiten für Habitatmanagement oder verschärfte Fangbestimmungen angegangen werden. Wenn aber die Wahl auf Besatz fällt, ist der Planungsleitfaden von Baer et al. (2007), der an dieser Stelle modifiziert wiedergegeben wird, zu empfehlen, da die meisten der von den Autoren bereits identifizierten Prinzipien im Besatzfischprojekt am Beispiel von Hecht und Karpfen eine empirische

Untermauerung erhalten haben. Die Besatzplanung greift einige der bereits in Abbildung 20 eingeführten Elemente wieder auf (z. B. Zielformulierung) und konkretisiert sie in Bezug auf Besatz.

Zunächst gilt es, die Angemessenheit von Besatz im Sinne einer Abwägungs- und Risikoanalyse zu prüfen (Abbildung 23). Wichtige Fragen sind: Handelt es sich bei der Zielart um eine heimische Art? Können ökologische Einflüsse auf Nichtzielarten ausgeschlossen oder minimiert werden? Sind die Bedingungen für erfolgreichen Besatz gegeben (geringe oder fehlende Rekrutierung der Zielart)? Besteht tatsächlich eine Besatznotwendigkeit (Defizite im Bestandsaufbau)? Können diese Defizite nicht durch andere Maßnahmen als Besatz behoben werden?

Führen all diese Fragen zur Entscheidung für Besatz, schließt sich die Besatzplanung an (Abbildung 24). Der wichtigste Punkt ist dabei die dargestellte Hierarchie der Satzfishherkunftswahl, die auf die Wahl von lokalen Besatzherkünften zur Minimierung genetischer, ökologischer und gesundheitlicher Risiken Wert legt. Häufig stehen Hegetreibende in einem weitgehend unkontrollierten Satzfishmarkt vor dem Problem einer fehlenden Kennzeichnung von Satzfishherkünften. Hier sind dringend Standards zur Gewährleistung von lokalen Satzfishherkünften zu schaffen, zum Beispiel über Satzfishlabels oder aber durch strategische Kooperationen, gegebenenfalls auf Grundlage längerfristiger, mit Abnahmegarantien versehener Verträge zwischen Fischzüchtern und Anglern, um die Vermehrung und Bereitstellung von lokalen Beständen zu sichern. Angler sollten bereit sein, für entsprechende Fische höhere Preise zu zahlen, vor allem wenn die Berufsfischer hohe Aufwände auf sich nehmen, um die lokalen Bestände zu vermehren (wie z. B. bei der BVO in Emden der Fall), ihre Fische in geringer Dichte zu halten und vor dem Aussetzen an die natürlichen Bedingungen anzupassen oder gar zu trainieren. Selbstredend muss auch der Transport und das Aussetzen auf eine gute Anpassung ausgerichtet sein und so fischschonend wie möglich erfolgen.

Die lernfähige Hege und Pflege (Kapitel 2) wäre kaum lernfähig, wenn nicht ein großer Wert auf die Erfolgskontrolle nach dem Besatz gelegt werden würde. Abbildung 25 zeigt den Hegetreibenden einige Möglichkeiten auf, mit einfachen Mitteln den Erfolg und die Notwendigkeit von Besatz abschätzen zu können, zum Beispiel durch eine periodische Durchführung von Besatz und die Überprüfung der Fangerfolge (Baer 2008). In den meisten Fällen dürfen Fische in Deutschland nicht

ohne Tierversuchsantrag markiert werden, was der praktischen Überprüfung von Besatzerfolgen einige Grenzen setzt. Verbände und fischereikundliche Dienste könnten hier in Kooperationen mit Forschungseinrichtungen Pilotprojekte umsetzen, um der Öffentlichkeit den Wert von Markierungen zu zeigen. Aber auch ohne Markierungen kann durch den Vergleich der Einheitsangelfänge vor und nach Besatz, die idealerweise begleitend auch in unbesetzten Vergleichsgewässern von ähnlicher Struktur erhoben werden (Kapitel 2), ein belastbares Bild über den Erfolg der Maßnahme gezeichnet werden. Wichtig ist es, der Evaluierung genügend Zeit zu geben, bis der Besatz (vor allem bei Jungfischen) in den Fang hineinwachsen kann. Es ist müßig zu betonen, dass alle Einheitsfangbetrachtungen auf Basis von auf die Angelzeit bezogenen Fängen geschehen müssen (vgl. Kapitel 2 und Arlinghaus et al. 2016a).

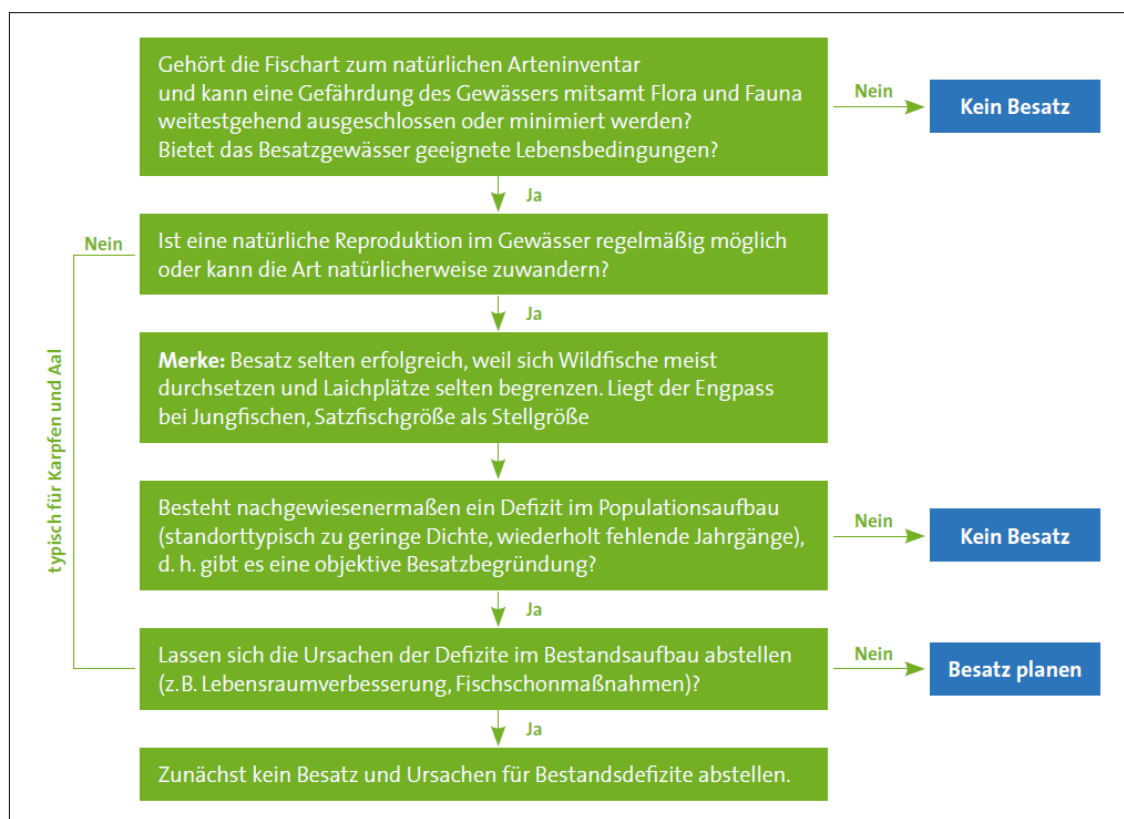
Eine weitere elegante Möglichkeit, um zu prüfen, ob gegebenenfalls künftig auf Besatz verzichtet werden kann, ist das Aussetzen der Maßnahmen mit anschließender Kontrolle der Fangentwicklung über eine gewisse Periode. In vielen Fällen wird so gezeigt werden können, dass Besatz überflüssig ist und der Fang auch durch natürliches Aufkommen gewährleistet werden kann (vgl. die exzellenten Bachforellenstudien von Baer 2008). Übrigens gelten diese Erfolgskontrollprinzipien auch, wenn der Grundsatz der lernfähigen Hege angewendet wird, um Erfolge von Maßnahmen des Habitatmanagements oder von Fangbestimmungsänderungen zu überprüfen.

Eine Kernbotschaft von Besatzfisch ist, dass Fischereimanagement immer auch eine starke soziale und ökonomische Komponente enthält. Anglerinteressen fließen idealerweise in die Zielformulierung ein, und die Reaktion der Angler auf Besatz (z. B. eine veränderte Befischungsintensität) sollte Teil der Schaden-Nutzen-Abwägung von Besatz im Vergleich zu anderen Maßnahmen sein. Zwar legitimiert sich die Angelfischerei durch ihren Beitrag zur Selbstversorgung mit Fischen, aber praktisch finden sich seitens der Vereinsmitglieder vielfältige, zumeist konkurrierende Ansprüche bezüglich der Entwicklung der Gewässer, die fast nie gänzlich miteinander in Einklang zu bringen sind. Hier ist der Hegetreibende gut beraten, seine Gewässer vielfältig zu bewirtschaften, so dass unterschiedliche Ansprüche an verschiedenen Gewässern befriedigt werden können. Sollen im Verein die Hechtbestände gefördert werden? Und was ist mit Zandern? Aber wie verträgt sich

das mit dem periodischen Regenbogenforellenbesatz, den viele Angler ebenfalls wünschen? Kann das Karpfenangeln mit den Ansprüchen der Weißfischangelei unter Bedingungen abnehmender Nährstoffeinträge in Einklang gebracht werden? Vielfach bestimmt die Gewässerstruktur die sich entwickelnde Lebensgemeinschaft, die durch Besatz nicht nennenswert verändert werden kann (Emmrich et al. 2014). Wenn man dieses wesentliche Prinzip verinnerlicht, erledigen sich viele Wünsche nach einer dezidierten, ehrlichen Zustands- und Gewässeranalyse von selbst. Dennoch haben Gewässerwarte einen enormen Spielraum und können daher Gewässer auch zielartengerecht oder sogar in Bezug auf die Art der Fänge manipulieren (Bewirtschaftung in einer Form, die eher hohe Fangraten kleiner Fische oder geringe Fangraten größerer Fische hervorbringt). Dazu stehen Maßnahmen wie Besatz oder Fangbeschränkungen (Mindestmaße, Entnahmefenster, Begehungsverbote, Geräteverbote usw.) zur Verfügung, die in allen Kombinationen einsetzbar sind (Kapitel 4), solange das prinzipielle Hegeziel gemäß Fischereirecht realisiert wird (also der Erhalt eines der Größe und der Struktur des Gewässers angepassten, naturnahen Fischbestands).

Aus ihrer Verantwortung und aus dem Gestaltungsspielraum in der Hege erwachsen aber auch Verpflichtungen. Vor allem ergibt sich eine Notwendigkeit, über die Erfolge und Misserfolge sowie Möglichkeiten und Grenzen von durchgeführten Hegemaßnahmen nach innen und nach außen zu kommunizieren. Den Besatzfisch Studien zufolge ist der Kommunikationsstrom von Vorständen und Gewässerwarten hin zu den Anglern in vielen Vereinen verbesserungswürdig. Auch hat es das Besatzfischteam trotz enormer Präsenz in den Vereinen nicht geschafft, substantiell zu den Vereinsmitgliedern durchzudringen. Viele Angler, die Interesse an der Hege haben und entsprechende Veränderungsvorschläge auch kommunizieren wollen, wünschen sich einen intensivierten Austausch, sie wollen informiert und in die Entscheidungen des Vereins eingebunden werden. Wenn man künftig Erfolge und Misserfolge von Besatz und anderen Maßnahmen realistisch und zeitnah an die Mitglieder kommunizieren würde, könnte das nicht zuletzt auch die stark ausgeprägte soziale Norm zugunsten von Besatz, die unter vielen Anglern und in den meisten Vereinen besteht, abbauen. Erst aus der Erkenntnis, dass bestimmte traditionelle Maßnahmen nicht funktionieren, und mit dem Wissen, unter welchen Voraussetzungen andere Ergebnisse möglich sind, kann ein Fortschritt in der Akzeptanz alternativer Hegemaßnahmen erwachsen. Aus diesem Grunde schließt

der Planungsleitfaden zum nachhaltigen Besatz in Abbildung 25 mit der Aufforderung, die im Rahmen der lernfähigen Hege und Pflege geleistete Dokumentation und Kommunikation von Erfolgen und Misserfolgen zu nutzen, um so zu einem nachhaltigeren Angelfischereimanagement zu gelangen und gegebenenfalls dazu beizutragen, dass bestimmte Angelvereinsmitglieder eine Veränderung oder sogar die Einstellung von Besatz akzeptieren. Denn eines hat das Besatzfischprojekt deutlich gezeigt: Besatz ist ein sozial-ökologisches Phänomen, das nicht ausschließlich fischereibiologisch durchdrungen werden kann, sondern eng mit sozialen und ökonomischen Dimensionen verwoben ist. Mögen die hier niedergeschriebenen Erkenntnisse ihren Beitrag zu einem verbesserten Angelfischereimanagement leisten.



**Abbildung 23** Prüfung der Voraussetzungen, ob Besatz angeraten ist (modifiziert nach Baer et al. 2007).



Abbildung 24 Besatzplanungsschritte (modifiziert nach Baer et al. 2007).

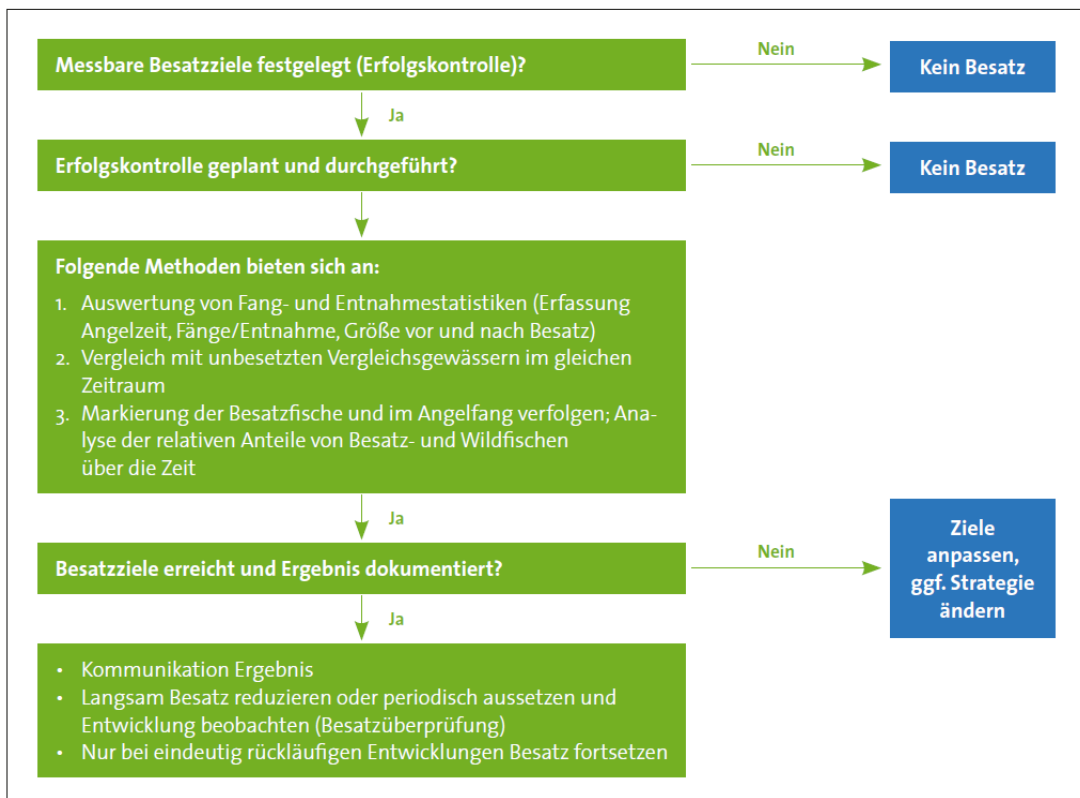


Abbildung 25 Erfolgskontrollschritte bei Besatz (modifiziert nach Baer et al. 2007).

## Schlussfolgerungen für die Praxis

- Vor jedem Besatz ist die Besatznotwendigkeit zu klären (existiert ein objektives Defizit im Fischbestandsaufbau, das nicht durch andere Maßnahmen ausgeglichen werden kann?), um danach mindestens ein überprüfbares Besatzziel zu definieren.
- Vor jedem Besatz ist zu klären, ob behördliche Genehmigungen einzuholen sind.
- Grundsätzlich sollte nur mit heimischen, gesunden, genetisch und ökologisch angepassten Fischen besetzt werden.
- Aus naturschutzfachlicher Sicht sollte beim Besatzmaterial mit wenigen Ausnahmen (Karpfen, Aal) stets auf Herkünfte zurückgegriffen werden, die dem Gewässer genetisch möglichst nahestehen. Zur Minimierung von genetischen Einflüssen bietet sich die Anwendung des Konzepts der „genetischen Management-Einheiten“ nach Baer et al. (2007) an. Dieses Konzept wird auf Basis der mittlerweile vorliegenden Ergebnisse folgendermaßen fortgeschrieben:
  - a. Die **evolutionäre Gesamtgruppe** besteht aus Arten, die über Deutschland keine evolutionären Linien ausgeprägt haben und damit keine Anforderungen an die regionale Herkunft des Besatzmaterials stellen: Aal, Karpfen.
  - b. Die **evolutionäre Großraumgruppe** umfasst Arten, die über Deutschland mehrere genetische Linien ausgeprägt haben, in der Regel auf der Ebene der großen Ströme. Besatz sollte daher, wann immer möglich, mit Nachkommen aus dem gleichen Einzugsgebiet erfolgen: Hecht, Lachs, Zander, Weißfische, Schleie usw., wahrscheinlich auch Quappe und Wels.

c. **Evolutionäre Kleinraumgruppe** meint Arten, die verschiedene genetische Linien teils auf engstem Raum innerhalb von Gewässern oder über benachbarte Seen/Flüsse ausgeprägt haben, sowie Arten, für die ein großer Datenmangel herrscht (Vorsorgeansatz): viele Salmoniden, wie Äsche und Bachforelle (diese Arten sind bei Baer et al. [2007] in der Großraumgruppe), sowie Maränen/Felchen, Groppen, Steinbeißer, Bitterlinge und viele weitere Kleinfischarten. Bedrohte Kleinfische sollten nur in Zusammenarbeit mit Experten des Natur- und Artenschutzes besetzt werden.

- Satzfische sollten so groß wie nötig, aber so klein wie möglich sein. Große Satzfische machen unter ökologischen Gesichtspunkten dann Sinn, wenn kritische Engpässe im Larven- oder Jungfischstadium umgangen werden müssen. Brut- und Jungfische sind vor allem dann als Besatzmaterial geeignet, wenn es Engpässe in den Laich- und in den frühen Larvenlebensräumen gibt oder wenn die natürliche Fortpflanzung gänzlich fehlt. Große Besatzfische führen hingegen in den meisten Situationen zu bestandssteigernden Effekten, unabhängig davon, wo genau im Lebenszyklus der natürliche Engpass des Besatzgewässers liegt. Ein langfristiges Überleben garantiert aber auch hier nur das naturnahe Aufziehen von Satzfishen. Wie eine Besatzfisch-Studie bei Hechten zeigte, erleiden selbst ausgewachsene Laichtiere einen biologisch relevanten Besatzstress, der ihre Leistungsfähigkeit in Bezug auf Überleben und Fortpflanzung beeinträchtigt (Arlinghaus et al. 2015). Dieser Effekt ist von der Herkunft der Satzfishen weitgehend unabhängig und kann durch die Belastungen beim Transport und durch das Erleben eines unbekannten Gewässers erklärt werden.
- Je länger Fische in Fischzuchten gehalten werden, desto geringer ist das Überleben im Freiland, aber auch für domestizierte Fische gilt häufig (aber beileibe nicht immer, siehe Simon & Dörner 2014 zum Vergleich großer Farm- und kleiner Glasal), dass die Überlebensrate von kleinen Fischen geringer ist als die von großen. Gleichzeitig steigt mit der Domestizierung auch die



Fängigkeit. Insofern können selbst domestizierte Fische, die als große, vielleicht sogar entnahmefähige Fische in ausgewählten Situationen besetzt werden, fischereiliche Ziele in Bezug auf die Steigerung der Fänge erreichen helfen. Gleichsam reduzieren sich Bedenken, dass diese Fische über die Reproduktion die Wildbestände negativ beeinflussen, weil kaum von einer erfolgreichen Vermehrung ausgegangen werden kann.

- Für ein langfristiges Überleben im Besatzgewässer sind eine ökologische Anpassung an Fraßdruck und Nahrungsorganismen sowie eine genetische Anpassung an die lokalen Gewässerbedingungen von großer, häufig unterschätzter Bedeutung. Lokale Herkünfte, im Idealfall Wildfänge oder Nachkommen von Laichfischen aus dem Besatzgewässer, die in Teichen mit natürlicher Partnerwahl und Vermehrung großgezogen wurden, sind meist überlebensfähiger und reproduktionsfähiger als domestizierte Besatzfische (also Fische, die in Fischzuchten geboren und angefüttert wurden) oder Fische aus gebietsfremden Regionen. Durch Training kann ein relevanter Anpassungserfolg selbst bei domestizierten Fischen erreicht werden, aber kein Training der Welt kann die Naturselektion ersetzen und aus einem Satzfish einen perfekt angepassten Wildfish machen. In nahezu allen Fällen ist die natürliche Sterblichkeit von Satzfishen höher als die von Wildfishen, wie auch Besatzfish-Experimente beim Hecht gezeigt haben.
- Satzfish sollten minimalen Stress vor und während des Besatzes erfahren haben; eine sorgsame Akklimatisation an das Besatzgewässer zahlt sich in der Regel in höheren Überlebensraten aus.
- Es müssen stets gesunde Besatzfish ausgesetzt werden.
- Jeder Besatz ist durch eine Erfolgskontrolle im Sinne der lernfähigen Hege und Pflege zu überprüfen. Ist keine Erfolgskontrolle vorgesehen, sollte von Besatz Abstand genommen werden (Baer et al. 2007).

## 6 Einführung in die Besatzfisch-Hegeplansoftware

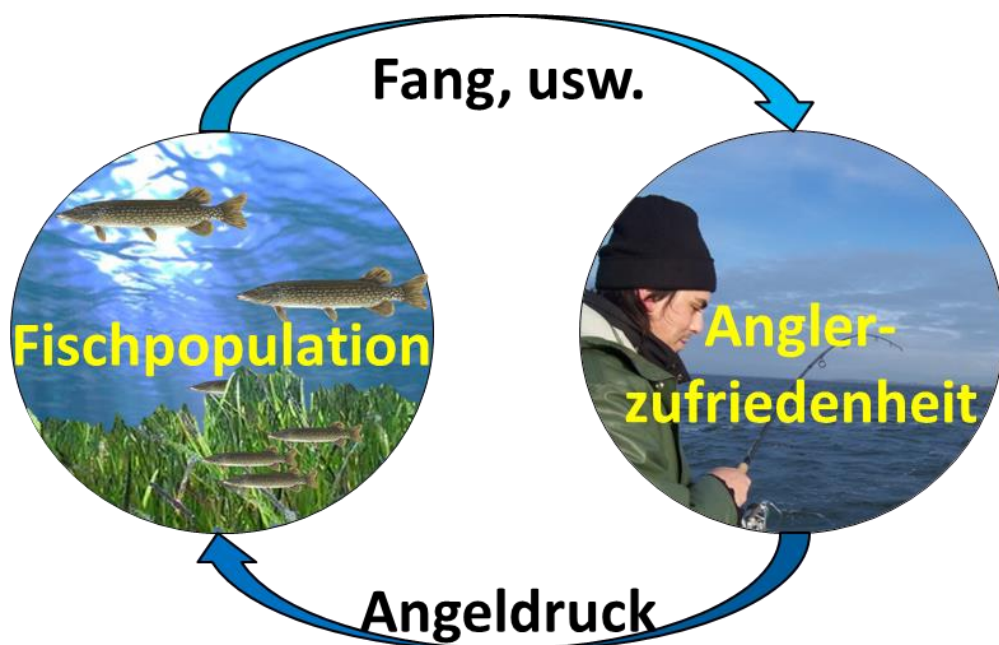
### 6.1 Allgemeine Einführung

Die Grundlage der Hegeplanungssoftware ist ein bio-ökonomisches Simulationsmodell auf Basis von Johnston et al. (2015), das auf Besatz erweitert wurde und an anderer Stelle im Detail dargestellt wird (Johnston et al. in Begutachtung, auf Anfrage bei den Autoren erhältlich). Das Modell ist ein Einzelarten- und Einzelgewässer- bzw. Einzelgewässerabschnittsmodell. Der in diesem Gewässer (bzw. –abschnitt bei Flüssen) wachsende Fischbestand wird von Anglern genutzt, die dynamisch in ihrem Aufwand auf sich ändernde Gewässer- und Fangbedingungen reagieren (Abbildung 26). Die maximale Angleranzahl wird vom Anwender der Software vorgegeben; je nach Gewässer- und Fischereizustand angeln im Modell ein Teil der Angler (je besser die Fangqualität, desto mehr wird geangelt). Aus der im Modell ablaufenden Wechselbeziehung zwischen Angelaufwand und Veränderung des Fischbestandes entstehen dynamische Veränderung von Fischbestand, Größenstruktur und Fangaussicht, die nach einigen Jahren im Modell in einen neuen Gleichgewichtszustand laufen und sich dann nicht mehr ändern. Bewertet wird am Ende dieser neue Gleichgewichtszustand.

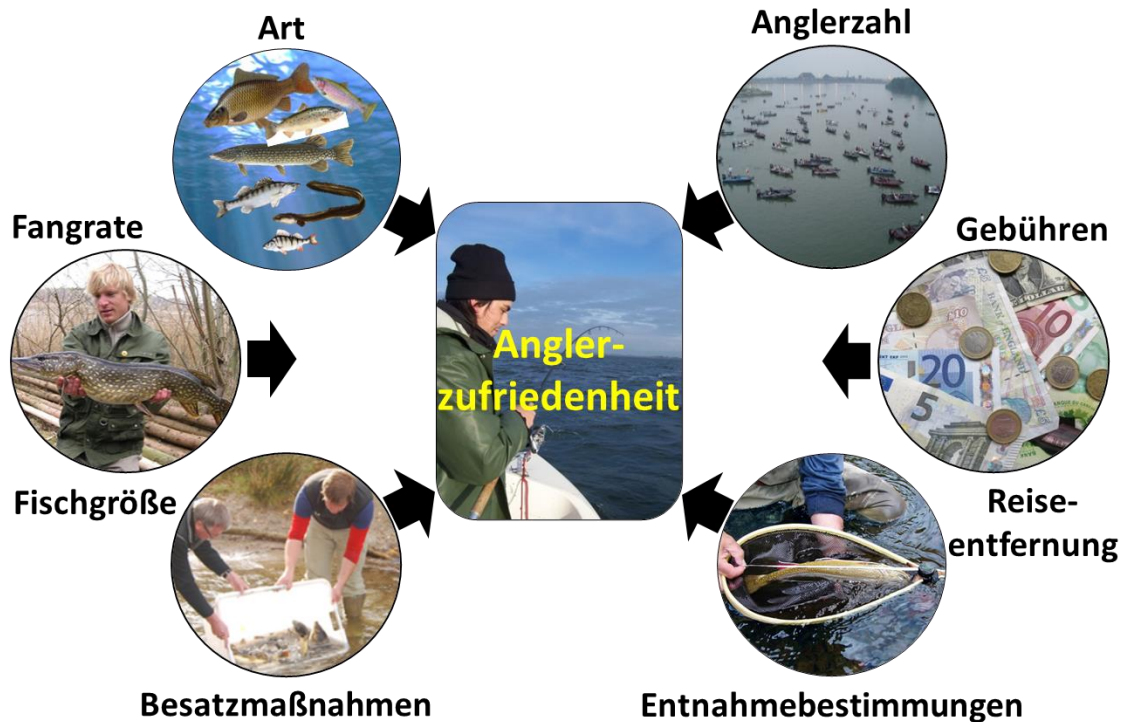
Das Fischpopulationsmodell ist größen- und altersstrukturiert; es integriert mehrere dichteabhängige Prozesse (Wachstum, Rekrutierung, vgl. Kapitel 1) und die größenabhängige Sterblichkeit. Durch die Modifikation der Laicherbestands-Rekrutierungsbeziehung (vgl. Abbildung 9 in Kapitel 1) können Simulationen auch für verschiedene Gewässerzustände (gute bis schlechte Laichbedingungen) bzw. unterschiedliche Grade der juvenilen Sterblichkeit dargestellt werden. Auch können unterschiedliche Wachstumsraten der zu modellierenden Bestände variabel eingestellt werden. Die Angler reagieren im Aufwand dynamisch auf Änderungen der Gewässer- und Fischereiqualität. Das Anglerverhalten wird von mehreren Faktoren (Zahl der Angler, Fangaussicht, Art der Fangbeschränkung usw.) bestimmt; die entsprechenden Parameter sind an niedersächsischen Angler empirisch erhoben worden. Entsprechend wird realistisches Anglerverhalten im Sinne der Aufwandsdynamik simuliert. Die Parameter zur Fischpopulationsdynamik sind der Literatur entlehnt. Repräsentiert werden mehrere Fischarten, die sich entweder

natürlich fortpflanzen (Hecht, Zander) oder nicht natürlich rekrutieren (Regebogenforelle, Karpfen). Die Wachstums- und Sterbeprozesse entsprechen dem Stand des Wissens und akzeptierten Zusammenhängen (z. B. exponentieller Abfall der Sterblichkeit mit zunehmender Fischlänge, da die Fische zunehmende „raubfischfest“ werden). Interspezifische Interaktionen finden nicht statt (Einzelartenmodell). Es werden verschiedene Fischarten sowie verschiedene Anglertypen simuliert, die diese Arten nutzen. Der Anwender kann bei den Anglern entweder einen „Durchschnittsanglertypen“ voreinstellen oder aber bis zu drei Anglertypen auswählen (Angelspezialist bis Generalist).

Die unterschiedlichen Anglertypen haben unterschiedlichen Vorlieben und Präferenzen (Abbildung 27). Entsprechend unterschiedlich reagieren sie auf herrschende Fangbestimmungen oder durch die Hege (z. B. Besatz) im Modell ausgelöste Veränderungen der Fangaussicht und entsprechend unterschiedlich zufriedenen sind die Angler im befischten Gleichgewicht. Insofern bildet das Modell vglw. realistische Bedingungen an den Gewässern ab, da unterschiedliche Anglertypen unterschiedliche Ziele und Angelarten kennzeichnet.



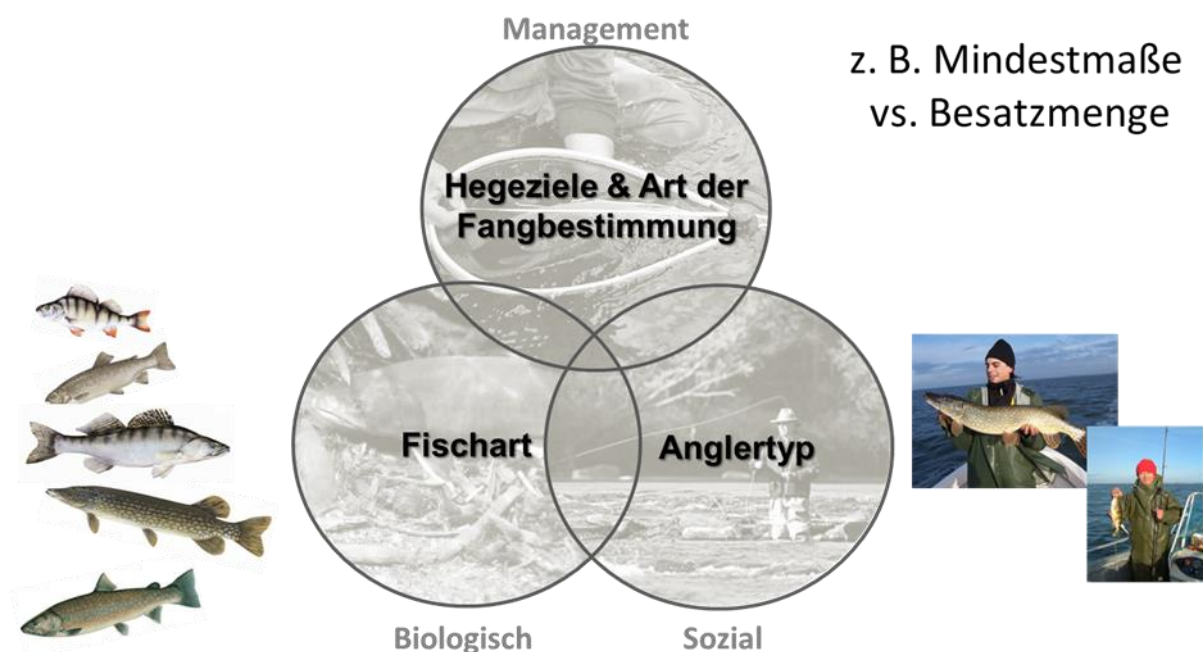
**Abbildung 26** Allgemeines Prinzip der Wechselbeziehung zwischen Fischbestand und Angleraufwand im Modell. Angler reagieren auf Änderungen der Gewässerbedingungen durch Änderungen der Zufriedenheit, die als Folge veränderte Fangaufwände hervorbringt, bis das Modell in das befischte Gleichgewicht übergeht. Bewertet wird dann die Angelqualität anhand der dann herrschenden mittleren Anglerzufriedenheit.



**Abbildung 27** Merkmale der Gewässer und der Fänge, die auf Anglernutzen und –zufriedenheit Einfluss ausüben und als Folge den Angelaufwand mitbestimmen (das führt zu dynamischem Angerverhalten in Abhängigkeit der Merkmalsausprägung). Die relative Bedeutung der einzelnen Attribute für die Entscheidung, angeln zu gehen, variiert je nach Anglertyp. Ein Spezialist wird der Fischlänge mehr Bedeutung beimessen als ein Generalist. Im Modell sind für jede Fischart im Expertenmodus drei Anglertypen auswählbar (Spezialist, fangorientierter Angler, Gelegenheitsangler).

Das Anglerverhalten wird von einer sogenannten „multikriteriellen Nutzenfunktion“ gesteuert. Mit anderen Worten: Ein ganzes Bündel von (fang und nichtfangabhängigen) Faktoren (Abbildung 27) bestimmt den erwarteten Nutzen, die Zufriedenheit und als Folge die Wahrscheinlichkeit, Angeln zu gehen. Details finden sich in Arlinghaus et al. (2014). Der Nutzen des Rückgriffs auf eine ökonomisch geschätzte Nutzenfunktion zur Beschreibung der Anglerpräferenzen (Details in Arlinghaus et al. 2014) liegt einerseits darin, dass von Anglertyp zu Anglertyp variierende Erwartungen adäquat abgebildet werden. Andererseits kann der sich nach vielen Jahren einstellende Gleichgewichtszustand mit der Nutzenfunktion auch sozial und ökonomisch im Sinne des Hegeerfolgs über die dann eingetretene Anglerzufriedenheit bewertet werden (Abbildung 28). Mit anderen Worten: Es ist möglich, die Qualität des Angelerlebnisses als Reaktion auf Veränderungen von

Besatz oder Entnahmebeschränkungen quantitativ in Anglerzufriedenheitseinheiten zu bewerten. Die ansonsten schwierig zu vergleichende „Anglerzufriedenheit“ kann durch die zum Einsatz gekommene Messmethodik zur Vergleichbarkeit mit den Hegekosten auch in Euro dargestellt werden (Abbildung 28). Durch diese Innovation erlaubt das gekoppelte sozial-ökologische Modell die Simulation der Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen (Besatz, Fangbeschränkungen) auf Merkmale des Fischbestands (Fischdichte, Länge der Fische), der Fänge (Fangrate, Aussicht auf den Fang großer, kapitaler Fische) und insgesamt zusammengekommen auf die Anglerzufriedenheit, die neben den Fängen wie gesagt auch von der Zahl der Angler (überfüllte Gewässer) usw. beeinflusst wird. Nicht zuletzt werden auch Kosten-Nutzen-Analysen ermöglicht, so dass Hegemaßnahmen, die Geld kosten (Besatz), auf ihre ökonomische Effizienz im Sinne des Beitrags zur Anglerzufriedenheit in Bezug auf den Geldeinsatz geprüft werden (Abbildung 29).



**Abbildung 28** Grundsätzlicher Zusammenhang zwischen biologischen, sozialen und bewerteten (Management) Komponenten im bio-ökonomischen Modell.

Bedeutsam ist auch, dass im Modell alle relevanten fischereilichen Sterblichkeiten integriert sind, so z. B. auch die Haksterblichkeit nach dem Zurücksetzen bei hohen Mindestmaßen. Man kann theoretisch auch Regelverstöße simulieren, was aber in vorliegender Anwendung nicht berücksichtigt wird. Es wird vereinfachend

angenommen, dass alle Anglertypen sich nur in den Präferenzen, nicht aber in ihren Angelfertigkeiten unterscheiden.

Der grundsätzliche Ablauf der Simulation ist der folgende (Abbildung 29):

- Der Anwender definiert die Fischart, das Angleraufkommen und die Hegemaßnahmen, die auf ihre Effizienz geprüft werden sollen.
- Für jede Ausprägung der Hegemaßnahmen (Besatzmenge B der Fischgröße A oder Mindestmaß Ausprägung A, B, C usw.) wird bei einem vorgegebenen Anglerdruck und bei einer vorgegebenen Verteilung der Anglertypen simuliert, wie sich in jedem Zeitschritt die zuvor unbefischte Population in Reaktion auf die Entnahme verändert.
- In jedem Zeitschritt ändern sich die Abundanz und damit die Fangerwartung, die Größe der Fische usw., was für den nächsten Zeitschritt Konsequenzen für die Attraktivität des Gewässers für Angler und damit für den Fangaufwand im nächsten Zeitschritt hat.
- Je nach erwartetem Nutzen angeln im nächsten Zeitschritt mehr oder weniger Angler, was wiederum auch die soziale Attraktivität des Gewässers beeinflusst. Entsprechend ändern sich wieder der Anglerdruck und damit die fischereiliche Sterblichkeit sowie damit verbundenen die Merkmale der Fischpopulation (Dichte, Größenstruktur usw.). Geschützte Fische (z. B. bei der Simulation großer Mindestmaße) werden zurückgesetzt und erfahren eine Haksterblichkeit.
- Das ganze wird wiederholt, bis die Fisch- und Anglerpopulation in einem neuen Gleichgewicht ist. Das dauert in der Regel 10 bis 20 Jahre.
- Dieser Gleichgewichtszustand wird abschließend sozio-ökonomisch und ökologisch evaluiert. Dazu stehen dem Anwender eine Reihe von Metriken und Variablen zur Verfügung (Fischdichte, Größe der Fische, Fangwahrscheinlichkeit großer Fische, Anglerzufriedenheit, Nettonutzen usw.). Diese Variablen entsprechen Hegezielen und variieren von rein naturschutzfachlichen Zielen (Fischabundanz) zu rein sozialen oder ökonomischen Zielen (zufriedene Angler, Nettonutzen = Nutzen – Kosten der Maßnahme).

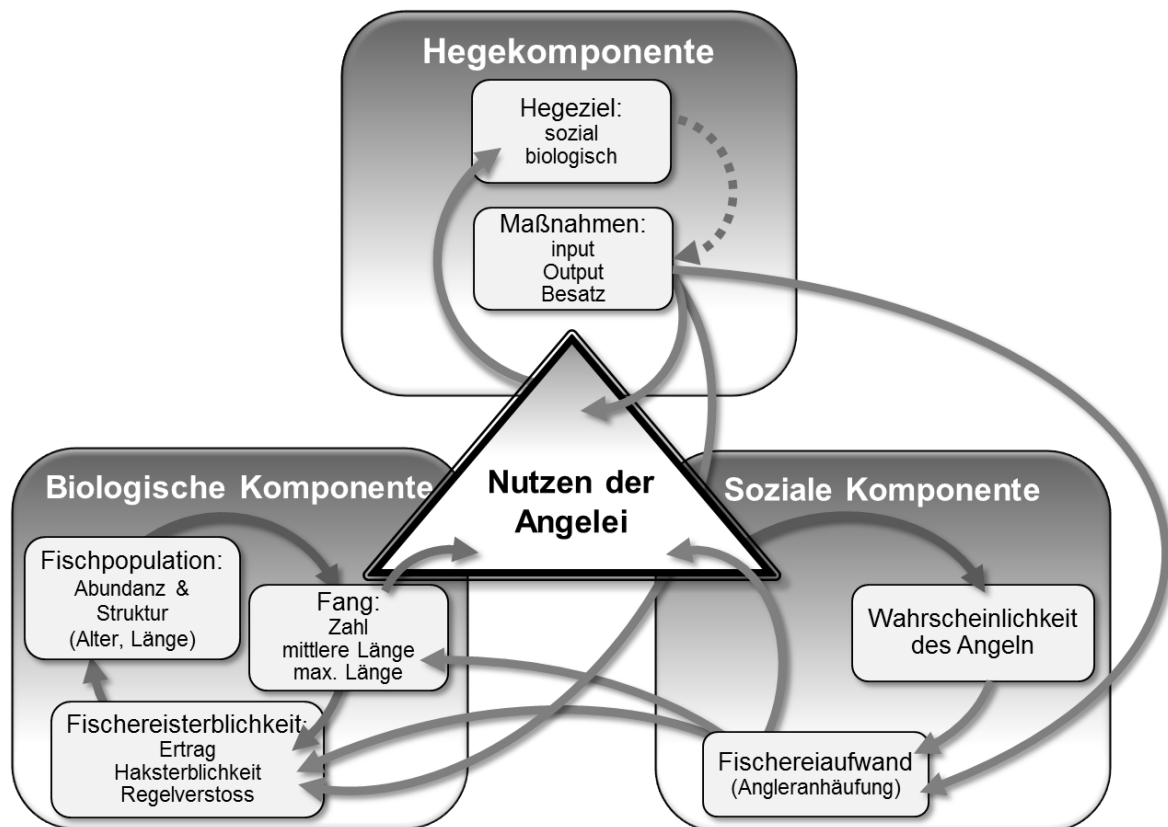


Abbildung 29 Ablauf der Wechselbeziehungen im Modell.

## 6.2 Anwendbarkeit des Modells in der Hegeplanung

Der Anwender muss sich sehr gut über die Stärken und Schwächen des Modells im Klaren sein. Wofür ist das Modell geeignet und welche Aussagen sind nicht möglich oder mit großer Vorsicht zu genießen?

- Das Modell dient dazu, langfristig (10 – 20 Jahre) erwartbare relative Wirkungen unterschiedlicher Hegevorgehen **im Vergleich zueinander** darzustellen. Langfristig meint einen Zeitraum nach Änderung einer Hegemaßnahmen, die mindestens der Generationszeit der befischten Art entspricht. Man kann also sehen, ob z. B. ein Besatz der Größe A bei Menge B andere Wirkungen (auf Dichte, Fänge, Anglerzufriedenheit) hat als eine Bewirtschaftung mit Schonmaßnahmen wie Mindestmaßen, Entnahmefenstern oder täglichen Entnahmebschränkungen.
- Das Modell erlaubt **qualitative** Aussagen zur Wirksamkeit verschiedener Hegebestimmungen bzw. Hegemaßnahmen, insbesondere die relative

Wirksamkeit von verschiedenen Entnahmebeschränkungen zueinander bzw. von Fischbesatz unterschiedlicher Konfiguration im Vergleich zu Entnahmebestimmungen.

- Das Modell erlaubt **systematische Effekte** bestimmter wesentlicher biologischer und sozialer Prozesse abzubilden, z. B. systematische Effekte der Veränderung der Laichqualität, systematische Unterschiede in der relativen Fitness von Satz- und Wildfischen und die systematischen Effekte der Veränderung der Anglerzusammensetzung im Sinne der vorherrschenden Anglertypen.
- Das Modell kann dazu genutzt werden, die relative Wirksamkeit von Hegemaßnahmen **nach unterschiedlichen Kriterien** (ökologisch, naturschutzfachlich und sozio-ökonomisch) abzubilden.
- Das Modell ist ganz allgemein ein **hypothesengenerierendes Instrument**, das bei der lernfähigen Hege und Pflege vor allem beim Schritt „Maßnahmenplanung“ eingesetzt wird. Das Modell erlaubt es, wahrscheinlich (!) erfolgversprechende Maßnahmen im Vorfeld zu identifizieren, die dann ggf. in der Praxis überprüft werden. Das Modell erlaubt auch, gänzlich ungeeignete Vorgehen zu bestimmen, die bei der künftigen Entscheidung Für oder Wider bestimmter Hegevorgehen keine Rolle mehr spielen.

## Nichtanwendbarkeit des Modells

- Das Modell ist nicht geeignet, konkrete Aussagen zu kurzfristigen Populations- oder Angeleffekten abzuleiten, die morgen oder im nächsten Jahr an einem Gewässer als Resultat der Hege zu erwarten sind.
- Das Modell ist nicht geeignet, quantitative Prognosen zu realisieren im Sinne – „Bei einem Mindestmaß von 65 cm sollten in meinem See 45,3 Hechte pro Hektar zu erwarten sein“. Die quantitativen Prognosen sind allesamt nicht belastbar, weil das Modell nicht alle lokalen Besonderheiten bei der Variablenauswahl berücksichtigen kann. Das Modell ist ausschließlich auf qualitative Vergleiche zwischen unterschiedenen Hegemaßnahmen zu begrenzen (z. B. im Vergleich zu steigenden Mindestmaßen führt steigender



Besatz zu höherer Anglerzufriedenheit). Diese qualitativen Aussagen sind dann aber vergleichsweise robust.

- Das Modell kann das Experiment in einem Gewässer nicht ersetzen, es kann Experimente nur informieren und motivieren.

Um von Anfang an zu verhindern, dass der Anwender sich bestimmte ganz konkrete Konfigurationen von Hegebestimmungen oder Besatzgrößen oder –mengen anschaut, wird in der Umsetzung der Software Wert darauf gelegt, dass in allen Fällen ganze Bereiche an Hegemaßnahmen simuliert werden, die fast immer in direktem Vergleich zueinander präsentiert werden (Besatz unterschiedlicher Menge im Vergleich zu einem Bereich an variablen Mindestmaßen). So wird der Anwender „gezwungen“, sich qualitative Phänomene über einen breiten Maßnahmengradienten anzusehen. Dann ist die Anwendbarkeit und Aussagekraft des Modells als gut einzuschätzen.

## **6.3 Vorstellung der Benutzeroberfläche**

Für die Simulation der relativen Wirksamkeit von Fischbesatzmaßnahmen unterschiedlicher Ausprägung in Bezug auf Satzfishgröße und Besatzmenge im Vergleich zu verschiedenen Entnahmebeschränkungen (Mindestmaße, Entnahmefenster oder tägliche Entnahmebeschränkungen) mit der Hegeplanungssoftware stehen zwei Benutzeroberflächenmodi zur Verfügung: ein Standardmodus (Kapitel 6.3.1) und ein Expertenmodus (Kapitel 6.3.2).

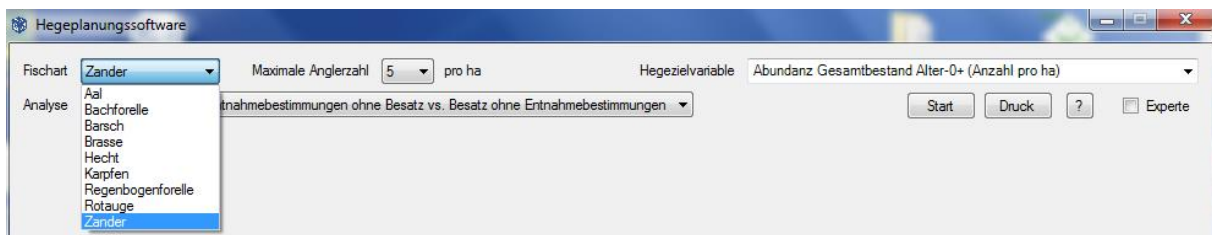
### **6.3.1 Standardmodus**

Der Standardmodus ist für die Anwender vorgesehen, die ganz allgemein für verschiedene Arten und Angleraufkommen Kenntnisse über die relative Wirksamkeit verschiedener Hegemaßnahmen in Bezug auf verschiedene Hegezielvariablen (Dichte von Fischen, Fangmengen, Kosten-Nutzen Verhältnisse usw.) erhalten wollen. Der Standardmodus benötigt keine detaillierten Kenntnisse oder Entscheidungen seitens des Anwenders über die lokal herrschenden anglerischen oder fischereilichen Bedingungen. Der Anwender muss lediglich die Fischart und einen spezifischen Angeldruck in Angler pro Hektar auswählen sowie die ihn

interessierende Art der Analyse und die darzustellenden Hegezielvariablen auswählen und schon können artspezifische Simulation zu den Wirkungen der verschiedenen Hegeverfahren angestellt werden.

### Auswahl der zu simulierenden Fischart

Die Hegeplanungssoftware ermöglicht Simulationen für verschiedene Fischarten: Aal, Bachforelle, Barsch, Brasse, Hecht, Karpfen, Regenbogenforelle, Rotaugen und Zander (Abbildung 30). Grundsätzlich wird zwischen Arten unterschieden, die im Simulationsmodell nicht natürlich reproduzieren (das gilt für Aal, Karpfen und Regenbogenforelle, bei diesen Arten gehen die beangelbaren Bestände ausschließlich auf Besatz zurück) und solchen, für die im Modell eine natürliche Vermehrung im gehegten Gewässer angenommen wird (das gilt für Bachforelle, Barsch, Brasse, Hecht, Rotaugen und Zander).

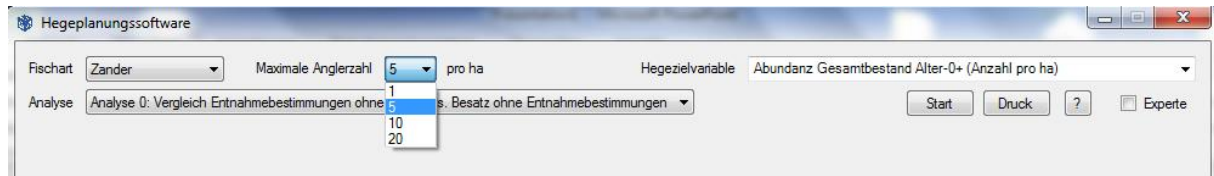


**Abbildung 30** Darstellung der Benutzeroberfläche des Standardmodus und der Schaltfläche für die Auswahl der Zielfischart.

### Auswahl des maximalen Angleraufkommens am Gewässer bzw. Gewässerabschnitt

Der Nutzer der Software hat die Möglichkeit, im Standardmodus aus vier voreingestellten Anglerdrücken auszuwählen. Diese Anglerdrücke bestimmen die maximale Angleranzahl je Hektar. Die Angler haben Vorlieben und angeln wie der Durchschnittsangler niedersächsischer Angelvereine (Arlinghaus et al. 2014). Je nach Zustand und Qualität der Fischerei wird ein geringer Anteil als der maximal vorgegebene am Gewässer angeln. Zur Auswahl stehen 1, 5, 10, und 20 Angler pro Hektar (Abbildung 31). Diese Angleraufkommen stellen die für Deutschland typischerweise nachgewiesenen Angleraufkommen je Hektar in Angelvereinsgewässern dar, meistens liegen die durchschnittlichen Angleraufkommen je ha bei bis zu 10 Anglern (vgl. Daten in Senger 2015). Bei der Auswahl des Anglerdrucks ist zu berücksichtigen, dass die Annahme getroffen wurde,

dass ein Angler pro Angeltag im Mittel drei Stunden und pro Jahr maximal 20 Tage á 3 Stunden angelt.



**Abbildung 31** Darstellung der Benutzeroberfläche des Standardmodus und Schaltfläche für die Auswahl der Anglerzahl pro Hektar.

## Auswahl der Hegezielvariablen

Die Hegeplanungssoftware bietet die Möglichkeit, die Effekte von Fischbesatz und Entnahmebeschränkungen auf insgesamt 12 verschiedene Hegezielvariablen darzustellen (Abbildung 32). Die unterschiedlichen Zielvariablen repräsentieren dahinterliegende Hegeziele und machen diese messbar. Beispielsweise repräsentiert die Menge an Fischen im Bestand, die als Resultat einer Hegemaßnahme entsteht, ein ökologisches oder naturschutzfachliches Ziel, wohingegen die vom Bestand produzierten Fangraten der Angler ein soziales Ziel darstellt. Der Anwender kann zwischen ökologischen/naturschutzfachlichen Hegezielvariablen (die die Entwicklung des Fischbestands abbilden), sozialen Zielen (die die Fangqualität und Anglerzufriedenheit abbilden) sowie ökonomischen Zielen (die den kosteneffizienten Einsatz von Vereinsmitteln und die Nettonutzen der Hegemaßnahmen abbilden) ausgewählt werden. Durch das Anbieten verschiedener Hegezielvariablen kann der Anwender auch Zielkonflikte studieren. Beispielsweise ist es möglich, dass eine bestimmte Hegemaßnahme (z. B. intensiver Besatz von großen Fischen) zwar hohe bestandssteigernde Effekte hat, gleichzeitig aber zu solch hohen Kosten führt, dass die Nettonutzen für den Verein negativ werden. Alle Hegezielvariablen stellen die Situationen im befischten Gleichgewicht dar, d.h. sie repräsentieren langfristig (mindestens 10 Jahre nach Maßnahmenumsetzung), im Durchschnitt erwartbare Resultate.

## Ökologische/naturschutzfachliche Variablen

- Die Variable **Abundanz Gesamtbestand Alter-0+ (Anzahl pro ha)** gibt die numerische Häufigkeit aller Fische der Zielart im Gewässer pro Hektar an (Altersklasse-0 und älter).

- Die Variable **Abundanz Laichfischbestand Alter-2+ (bis 7+) (Anzahl pro ha)** gibt die numerische Häufigkeit aller laichreifen bzw. adulten Fische der Zielart je Hektar im Gewässer an. Das Alter der laichreifen Fische variiert je nach Zielart zwischen Alter 2 und älter (durch das „+“ Zeichen symbolisiert) und Alter 7 und älter (+) (Tabelle 7). Bei nichtreproduzierenden Arten ist der Begriff „laichreif“ etwas irreführend und meint hier den Bestand erwachsener, fangreifer Fische.
- Die Variable **Biomasse Gesamtbestand Alter-0+ (kg pro ha)** gibt die Biomasse aller Fische der Zielart in kg je Hektar im Gewässer an. Das Alter der laichreifen Fische variiert je nach Zielart zwischen Alter 2 und älter (+) und Alter 7 und älter (+) (Tabelle 7).
- Die Variable **Biomasse Laichfischbestand Alter-2+ (bis 7+) (kg pro ha)** gibt die Biomasse aller laichreifen Fische der Zielart im Gewässer je Hektar an. Das Alter der laichreifen Fische variiert je nach Zielart zwischen Alter 2 und älter (+) und Alter 7 und älter (+) (Tabelle 7).

## Soziale Variablen

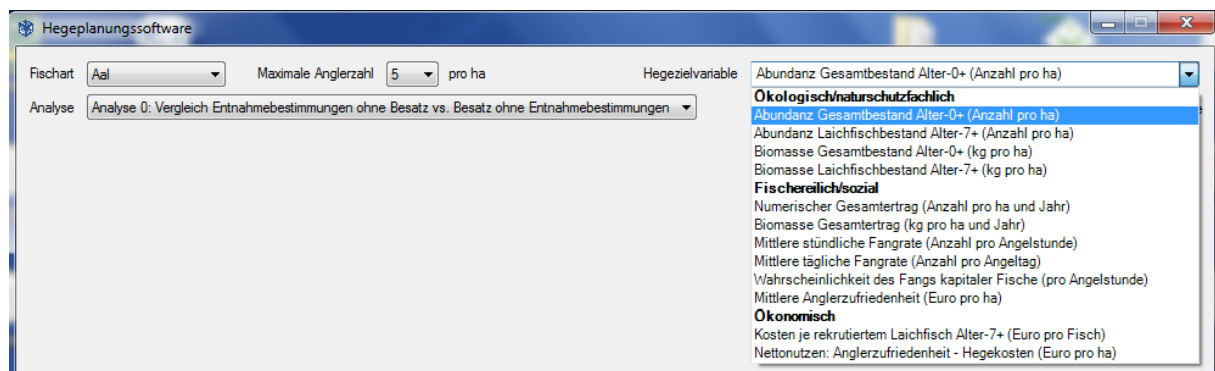
- Die Variable **Numerischer Gesamtertrag (Anzahl pro ha und Jahr)** gibt die Anzahl der gefangenen und von den Anglern des Vereins aus dem Zielgewässer entnommenen Fische pro Hektar und Jahr an (numerischer Ertrag).
- Die Variable **Biomasse Gesamtertrag (kg pro ha und Jahr)** gibt die Biomasse aller gefangenen und von den Anglern des Vereins aus dem Zielgewässer entnommenen Fische der Zielart an (Biomasseertrag).
- Die Variable **Mittlere stündliche Fangrate (Anzahl pro Angelstunde)** gibt die mittlere stündliche Fangrate der Zielart je Angler an.
- Die Variable **Mittlere tägliche Fangrate (Anzahl pro Angeltag)** gibt die tägliche Fangrate der Zielart an (unter der Annahme, dass ein Angeltag 3 Stunden dauert).
- Die Variable **Wahrscheinlichkeit des Fangs kapitaler Fische (pro Angelstunde)** gibt die Wahrscheinlichkeit für den Fang eines kapitalen

Fisches der Zielart je Angelstunde an. Die Definition der Größe eines kapitalen Fisches im Modell finden sich in Tabelle 1.

- Die Variable **Mittlere Anglerzufriedenheit (Euro pro ha)** stellt ein in Euro bewertetes Maß der Qualität des Angelerlebnisses dar. Die Bewertung der Angelqualität folgt mehreren Merkmalen wie Fangrate, Größe der gefangenen Fische, herrschende Fangbestimmungen und Menge an Anglern im Gewässer. Die Berechnung folgt einem sogenannten ökonomischen Wahlmodell, das erlaubt, die nur schwer zwischen einzelnen Anglern vergleichbare Einheit „Anglernutzen“ oder „Anglerzufriedenheit“ in Wert zu setzen und in Euros darzustellen. Diese Inwertsetzung erfolgt durch den Abgleich des vom Angeln generierten Nutzens mit dem Nutzenverlust, den Angler erfahren, wenn sie z. B. weite Anreisewege haben oder hohe Angelkartenpreise zahlen müssen. Details zu den Berechnungsgrundlagen finden sich in Johnston et al. (2010, 2015), für ein Beispiel aus der Aalangelei siehe Dorow et al. (2010) und Beardmore et al. (2011).

## Ökonomische Variablen

- Die Variable **Kosten pro rekrutiertem Laichfisch Alter 2+ (bis 7+) (Euro pro Fisch)** errechnet sich aus den Kosten des Fischbesatz (Entnahmebeschränkungen haben keine monetären Kosten) in Bezug auf die Anzahl der Fische, die die Laichreife bzw. die Fangreife erreichen (Kosten pro rekrutierter Laichfisch = Kosten Besatz/ Anzahl rekrutierter Laichfische). Das Alter der laichreifen bzw. bei nichtreproduzierenden Fischen der fangreifen, adulten Fische variiert je nach Art zwischen 2+ und 7+ (Tabelle 7).
- Die Variable **Nettonutzen (= gesamte Anglerzufriedenheit - Hegekosten in Euro pro ha)** ergibt sich aus der Summe der Anglerzufriedenheit über alle im Gleichgewicht tatsächlich angelnden Angler minus der Hegekosten (für den Fischbesatz).



**Abbildung 32** Darstellung der Benutzeroberfläche des Standardmodus und Schaltfläche für die Auswahl der Hegezielvariablen.

**Tabelle 7** Ungefähres Alter der Fische bei Erreichen der Laich- bzw. der Fangreife. Das im Modell tatsächlich geltende Alter bei Eintritt in die Geschlechtsreife ist abhängig von den herrschenden Wachstumsbedingungen (vor allem Dichte an Konkurrenten) und der erreichten Fischlänge; es variiert entsprechend zwischen einzelnen Modellläufen. Die Laichreife hat im Modell keine biologische Konsequenz bei Arten, die im Modell als nichtreproduzierend angenommen werden (Aal, Karpfen, Regenbogenforelle). Hier ist die Laichreife als Fangreife („mäßig“ bzw. entnahmefähig) aufzufassen. Das Maß dient vor allem der Definition von Unterschranken des Mindestmaßes bei reproduzierenden Beständen (0) sowie zur Visualisierung und längenbasierten Einschätzung ausgewählter Ergebnisse. Zusätzlich wird die Reifungslänge im Vergleich zum im Modell angenommenen kleinsten Mindestmaß (der Anwender kann variable Mindestmaße modellieren).

| Fischart          | Alter | Länge bei Eintritt in die Geschlechtsreife (cm) | Unteres Mindestmaß |
|-------------------|-------|-------------------------------------------------|--------------------|
| Aal               | 7     | 66 bis 75 cm                                    | 33 cm              |
| Bachforelle       | 3     | 26 bis 28 cm                                    | 30 cm              |
| Barsch            | 4     | 18 bis 20 cm                                    | 18 cm              |
| Brasse            | 5     | 23 bis 26 cm                                    | 27 cm              |
| Hecht             | 2     | 37 bis 41 cm                                    | 40 cm              |
| Karpfen           | 2     | 28 bis 52 cm                                    | 37 cm              |
| Regenbogenforelle | 3     | 33 bis 42 cm                                    | 32 cm              |
| Rotaugen          | 3     | 14 bis 19 cm                                    | 17 cm              |
| Zander            | 3     | 37 bis 41 cm                                    | 34 cm              |

**Tabelle 8** Im Modell definierte theoretische Maximallängen und Länge kapitaler Fische aus Anglersicht. Die theoretische Maximallänge ist als Länge definiert, die die Fische ohne Entnahme bei geringer Nahrungskonkurrenz erreichen. In einem befischten Bestand ist es möglich, dass bei hoher fischereilicher Sterblichkeit keine Maximallängen erreicht werden, weil die Fische vorher entnommen werden. Im Modell ist die Maximallänge auch abhängig von der Dichte und damit der Futterkonkurrenz (dichteabhängiges Wachstum).

| Fischart          | Theoretische Maximallänge (cm) | Definition Länge (cm) kapitaler Fische |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Aal               | 100 cm                         | 80 cm                                  |
| Bachforelle       | 90 cm                          | 65 cm                                  |
| Barsch            | 55 cm                          | 40 cm                                  |
| Brasse            | 80 cm                          | 65 cm                                  |
| Hecht             | 120 cm                         | 100 cm                                 |
| Karpfen           | 110 cm                         | 80 cm                                  |
| Regenbogenforelle | 95 cm                          | 70 cm                                  |
| Rotaugen          | 50 cm                          | 35 cm                                  |
| Zander            | 103 cm                         | 80 cm                                  |

**Tabelle 9** Im Modell definierte Mindestmaße bei Simulationen für verschiedene Ausprägungen der Mindestmaße (vor allem Analyse 4 und Analyse 5). Das geringste Mindestmaß orientiert sich an der Länge (und indirekt auch am Alter) bei Eintritt in die Geschlechtsreife und garantiert in der Regel das mindestens einmalige Abfischen bei Mindestmaß oder Entnahmefenster-Regelungen (Tabelle 7). Es entspricht im Modell der Unterschranke des Entnahmefensters (Tabelle 10). In der Praxis finden sich häufig Mindestmaße, die höher sind als das geringste Mindestmaß, um auf Nr. sicher zu gehen oder um lokale Besonderheiten des Wachstums und der Reifung widerzuspiegeln. In Analyse 0 kann der Nutzer sich den gesamten Mindestmaß-Gradienten und seine Wirkung ansehen.

| Fischart          | Geringes Mindestmaß (1/3 der theoretischen Maximallänge) | Mittleres Mindestmaß (1/2 der theoretischen Maximallänge) | Hohes Mindestmaß (2/3 der theoretischen Maximallänge) |
|-------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Aal               | 33 cm                                                    | 50 cm                                                     | 67 cm                                                 |
| Bachforelle       | 30 cm                                                    | 45 cm                                                     | 60 cm                                                 |
| Barsch            | 18 cm                                                    | 28 cm                                                     | 37 cm                                                 |
| Brasse            | 27 cm                                                    | 40 cm                                                     | 53 cm                                                 |
| Hecht             | 40 cm                                                    | 60 cm                                                     | 80 cm                                                 |
| Karpfen           | 37 cm                                                    | 55 cm                                                     | 73 cm                                                 |
| Regenbogenforelle | 32 cm                                                    | 48 cm                                                     | 63 cm                                                 |
| Rotaugen          | 17 cm                                                    | 25 cm                                                     | 33 cm                                                 |
| Zander            | 34 cm                                                    | 52 cm                                                     | 69 cm                                                 |

**Tabelle 10** Im Modell definierte Breiten des Entnahmefensters bei der Simulation verschiedener Ausprägungen des Entnahmefensters in Analyse 5. Die Unterschranke entspricht stets 1/3 der Maximallänge der Fische (0).

| <b>Fischart</b>   | <b>Entnahmefenster<br/>1/3 bis 1/2 der<br/>Maximallänge</b> | <b>Entnahmefenster<br/>1/3 bis 2/3 der<br/>Maximallänge</b> | <b>Entnahmefenster<br/>1/3 bis 5/6 der<br/>Maximallänge</b> |
|-------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Aal               | 33 bis 50 cm                                                | 33 bis 67 cm                                                | 33 bis 83 cm                                                |
| Bachforelle       | 30 bis 45 cm                                                | 30 bis 60 cm                                                | 30 bis 75 cm                                                |
| Barsch            | 18 bis 28 cm                                                | 18 bis 37 cm                                                | 18 bis 46 cm                                                |
| Brasse            | 27 bis 40 cm                                                | 27 bis 53 cm                                                | 27 bis 60 cm                                                |
| Hecht             | 40 bis 60 cm                                                | 40 bis 80 cm                                                | 40 bis 100 cm                                               |
| Karpfen           | 37 bis 55 cm                                                | 37 bis 73 cm                                                | 37 bis 92 cm                                                |
| Regenbogenforelle | 32 bis 48 cm                                                | 32 bis 63 cm                                                | 32 bis 79 cm                                                |
| Rotaugen          | 17 bis 25 cm                                                | 17 bis 33 cm                                                | 17 bis 42 cm                                                |
| Zander            | 34 bis 52 cm                                                | 34 bis 69 cm                                                | 34 bis 86 cm                                                |

### **Auswahl der konkreten Analyse der relativen Wirksamkeit verschiedener Hegemaßnahmen**

Die Hegeplansoftware verfügt über insgesamt sieben Analysemöglichkeiten (Abbildung 33). Jede Analysemöglichkeit wird für die zuvor ausgewählten Hegezielvariablen durchgerechnet und anschließend grafisch visualisiert. Die Hegemaßnahmen werden in ihrer Intensität (z. B. Besatzfischmenge oder Ausprägung von Mindestmaße oder Entnahmefenster) systematisch variiert, um so den gesamten Gradienten an Wirkungen der Schonmaßnahmen bzw. von Besatz bewerten zu können.



## **Analyse 0: Vergleich Entnahmebeschränkungen ohne Besatz vs. Besatz ohne Entnahmebeschränkungen**

Analyse 0 bietet die Möglichkeit, für die jeweils ausgewählte Fischart die Effekte des Fischbesatzes mit Brut, Setzlingen und Laichfischen bzw. die Wirkung der Entnahmebeschränkungen Mindestmaß, Entnahmefenster und tägliche Entnahmebeschränkung isoliert voneinander auf die ausgewählte Hegezielvariable darzustellen (z. B. Effekte von Besatz in Beständen, die kein Mindestmaß kennzeichnet, oder Auswirkungen von Mindestmaßen oder anderen Schonmaßnahmen für Arten, deren Bestände ausschließlich auf Besatz basieren). Bei nichtreproduzierenden Arten (Aal, Karpfen, Regebogenforellen) werden für die Simulationen zu den Entnahmebeschränkungen ohne Besatz entsprechend keine Grafiken generiert, weil bei diesen Arten ohne Besatz keine Bestände vorkommen.

## **Analyse 1: Mindestmaß, 3 Besatzmengen jeweils für Brut/Setzlinge/Laichfische**

Analyse 1 bietet die Möglichkeit, die Effekte von Mindestmaßen in Kombination mit zwei definierten Besatzmengen sowie „Nullbesatz“ jeweils für drei Satzfishgrößen (Brut, Setzlinge und Laichfische) auf die gewünschte Hegezielvariable zu ermitteln.

## **Analyse 2: Entnahmefenster, 3 Besatzmengen jeweils für Brut/Setzlinge/Laichfische**

Analyse 2 bietet die Möglichkeit die Effekte von Entnahmefenstern in Kombination mit zwei definierten Besatzmengen sowie „Nullbesatz“ jeweils für drei Satzfishgrößen (Brut, Setzlinge und Laichfische) auf die gewünschte Hegezielvariable zu ermitteln. Die Unterschranke des Entnahmefensters ist vorgegeben und beträgt 1/3 der Maximallänge der Fischart, was sich in Studien als guter Näherungswert für den Eintritt in die Laichreife erwiesen hat (Froese 2014). Das Obermaß des Entnahmefensters wird variiert und ist grafisch auf der x-Achse angegeben.

## **Analyse 3: Tägliche Entnahmebegrenzung, 3 Besatzmengen jeweils für Brut/Setzlinge/Laichfische**

Analyse 3 bietet die Möglichkeit die Effekte von täglichen Entnahmebegrenzung in Kombination mit zwei definierten Besatzmengen sowie „Nullbesatz“ jeweils für drei Satzfishgrößen (Brut, Setzlinge und Laichfische) auf die gewünschte

Hegezielvariable zu ermitteln. Die Entnahmebeschränkungen variieren von 0 bis 10 Fischen der Zielart pro Tag und Angler.

#### **Analyse 4: Besatz von Brut/Setzlinge/Laichfische, 3 Varianten Mindestmaße**

Analyse 4 bietet die Möglichkeit, die Effekte von Fischbesatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen in Kombination mit jeweils 3 Mindestmaßen ( $1/3$ ,  $1/2$ , und  $2/3$  der theoretisch erreichbaren Maximallänge, 0) sowie einer Komplettschonung (sehr hohes Mindestmaß, was zu totalem Catch&Release angeln führt) auf die gewünschte Hegezielvariable zu ermitteln.

#### **Analyse 5: Besatz von Brut/Setzlinge/Laichfische, 3 Varianten Entnahmefenster**

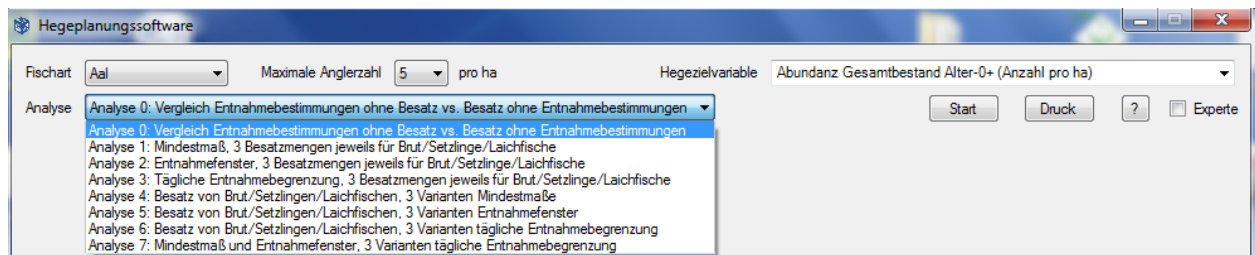
Analyse 5 bietet die Möglichkeit, die Effekte von Fischbesatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen in Kombination mit jeweils 3 Entnahmefenstern ( $1/3$  bis  $1/2$ ,  $1/3$  bis  $2/3$  und  $1/3$  bis  $5/6$  der Maximallänge, Tabelle 10) sowie eines geringen Mindestmaßes ( $1/3$  der Maximallänge) auf die gewünschte Hegezielvariable zu ermitteln.

#### **Analyse 6: Besatz von Brut/Setzlinge/Laichfische, 3 Varianten tägliche Entnahmebegrenzung**

Analyse 6 bietet die Möglichkeit, die Effekte von Fischbesatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen in Kombination mit 3 täglichen Entnahmebegrenzung (1, 3 und 10 Fische pro Tag) sowie „Nullentnahme“ (0 Fische pro Tag) auf die gewünschte Hegezielvariable zu ermitteln.

#### **Analyse 7: Mindestmaß und Entnahmefenster, 3 Varianten tägliche Entnahmebegrenzung**

Analyse 7 bietet die Möglichkeit die Effekte von Mindestmaßen und Entnahmefenstern in Kombination mit drei definierten Entnahmebegrenzungen sowie „Nullentnahme“ auf die gewünschte Hegezielvariable zu ermitteln. Die Unterschranke des Entnahmefensters ist vorgegeben und beträgt  $1/3$  der Maximallänge der Fischart, was sich in Studien als guter Näherungswert für den Eintritt in die Laichreife erwiesen hat (Froese 2004). Das Obermaß des Entnahmefensters wird variiert und ist grafisch auf der x-Achse angegeben.

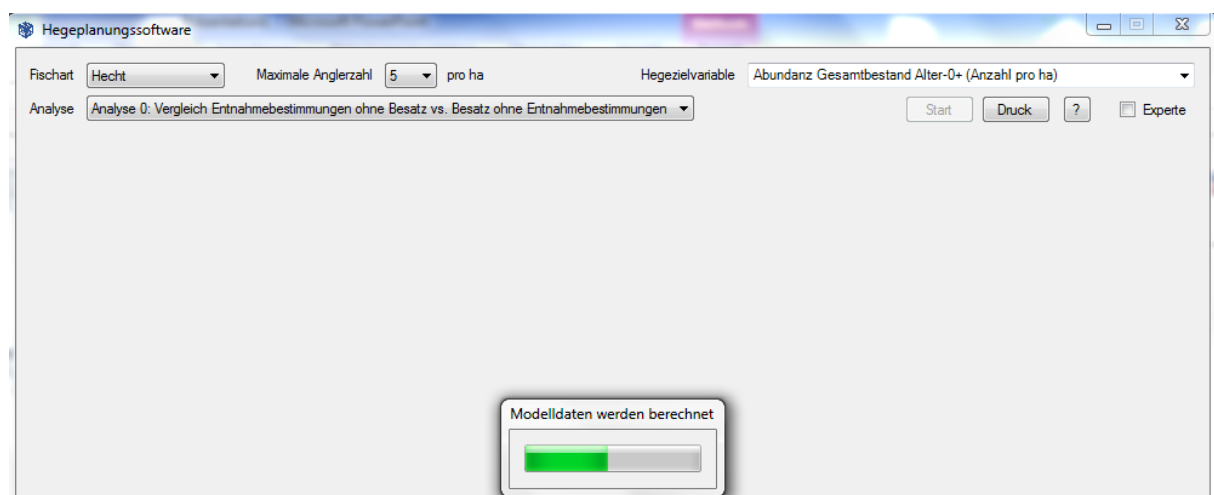


**Abbildung 33** Darstellung der Benutzeroberfläche des Standardmodus und Schaltfläche für die Auswahl der Wirksamkeitsanalysen.

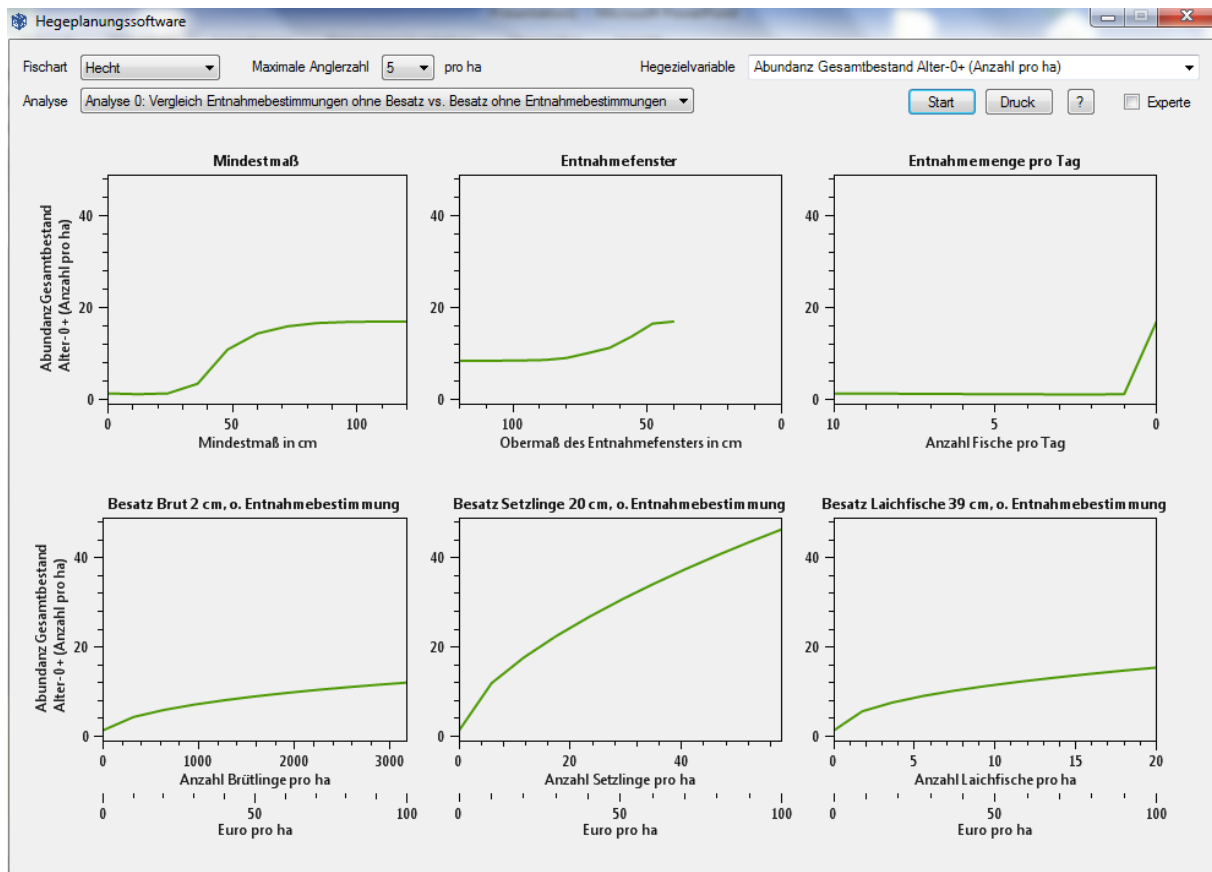
Nachdem die Auswahl getroffen ist, laufen die Simulationen (Abbildung 34) und es werden Grafiken dargestellt (Abbildung 35). Der Anwender kann mit dem Mauszeiger alternative Hegezielvariablen auf Knopfdruck realisieren

### Speichern und Drucken

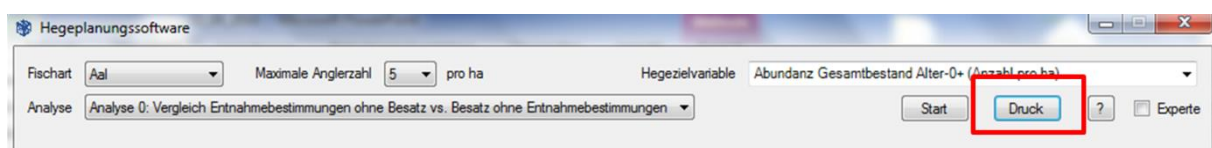
Die Analyseergebnisse können als PDF Datei gespeichert und anschließend gedruckt werden. Hierfür muss die Auswahltaste „Druck“ angesteuert werden (Abbildung 36). Es öffnet sich ein Fenster wo der Anwender ein Verzeichnis auswählen oder erstellen und die Datei unter einem Dateinamen der Wahl speichern kann (Abbildung 37). Die Datei kann nun aus dem gewählten Verzeichnis geöffnet und wie gewohnt gedruckt werden. Wenn der Anwender zwei verschiedene Simulationen vergleichen will, muss die Software entweder mehrfach geöffnet und nebeneinander auf dem Bildschirm angeordnet werden, oder es müssen Simulationsergebnisse gedruckt und dann verglichen werden.



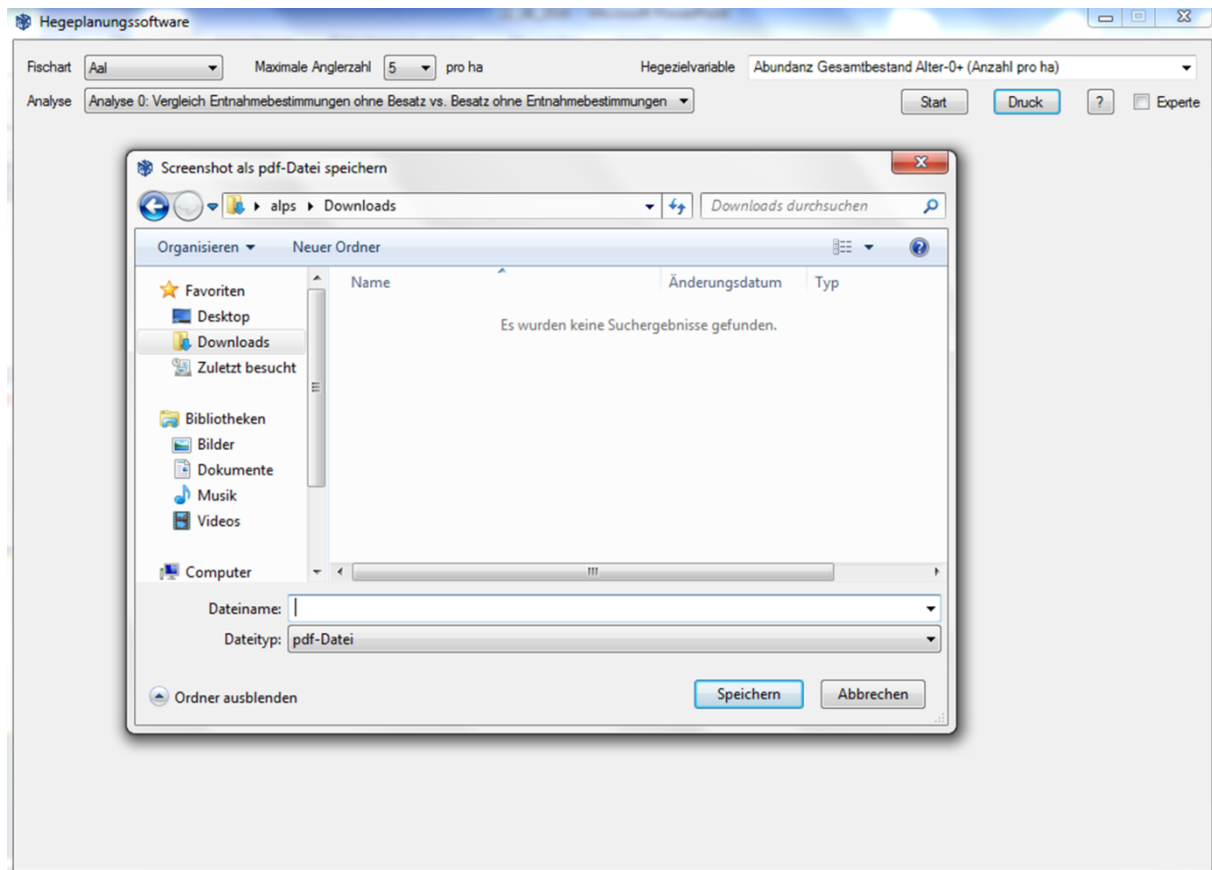
**Abbildung 34** Darstellung der Oberfläche während der Berechnung der Modelldaten. Die Modelle laufen in der Regeln in wenigen Sekunden durch.



**Abbildung 35** Darstellung ausgewählter Grafen nach Beendigung der Modellberechnung sowie das Aufklappen der Schaltfläche der Hegezielvariablen bei Ansteuerung und Betätigung des Mauszeigers. Der Nutzer kann nach dem Modelllauf alle Hegezielvariablen nacheinander visualisieren, die entsprechenden Abbildungen werden je nach Auswahl upgedatet.



**Abbildung 36** Darstellung der Benutzeroberfläche und der Auswahltaste für das Speichern und Drucken der Analyseergebnisse.



**Abbildung 37** Darstellung der Benutzeroberfläche zur Verzeichnis- und Dateinamenauswahl der Analyseergebnisse.

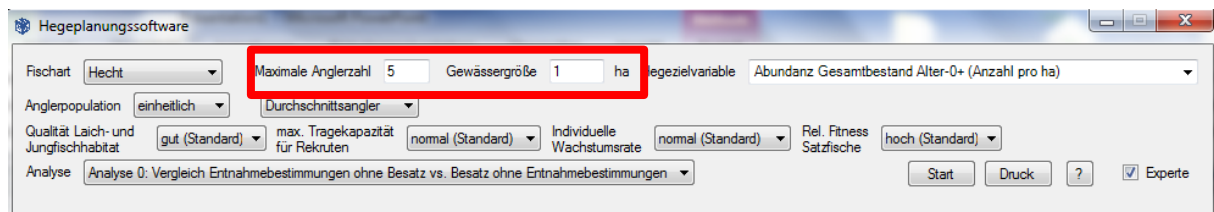
### 6.3.2 Expertenmodus

Der Expertenmodus entspricht dem Standardmodus bei der Auswahl der Fischart, der Hegezielvariablen und den Analysemöglichkeiten zur Wirksamkeitsanalyse. Zusätzlich bietet er aber die Möglichkeit, den herrschenden Angeldruck (über die konkrete Abfrage zur Anglerzahl und Gewässerfläche) und die vermutete oder bekannte Verteilung von drei Anglertypen an dem Gewässer frei zu wählen. Außerdem kann der Nutzer die Qualität des Laich- und Jungfischhabitats, die Tragekapazität des Gewässers und die Fischwachstumsrate variieren. Letztgenannte Einstellmöglichkeiten erlauben die Simulation konkreter lokaler Bedingungen in Bezug auf den Zustand der zu hegenden Gewässer. Schließlich besteht die Möglichkeit, aus einer von vier Fitnesskategorien für die Satzfisher auszuwählen, um die häufig nachweisbaren Leistungsunterschiede zwischen Satz- und Wildfische repräsentieren zu können. In diesem Kapitel wird ausschließlich auf die Zusatzfunktionen des Expertenmodus eingegangen. Generelle Funktionen der

Hegeplansoftware, die auch im Standardmodus verfügbar sind, finden sich unter Kapitel 6.3.1.

### Maximale Anglerzahl

Der Nutzer hat die Möglichkeit, den Angeldruck frei zu bestimmen, jedoch ist die maximale Anglerzahl auf (höchst unrealistische) 100 Angler pro Hektar begrenzt (Abbildung 38). Der Nutzer kann so vor Ort herrschende Anglernaufkommen genauer bestimmen als das im Standardmodus möglich ist. Wie auch im Standardmodus, beträgt die Dauer eines Angeltages 3 Stunden, und ein Angler angelt 20 Tage im Jahr.

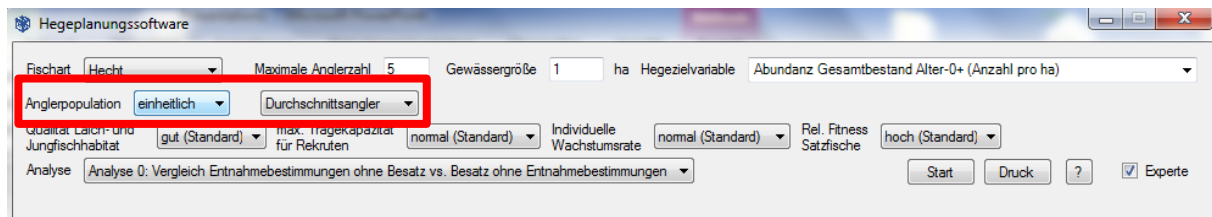


**Abbildung 38** Darstellung der Benutzeroberfläche im Expertenmodus und Eingabefelder für die maximale Anglerzahl und die Gewässergröße.

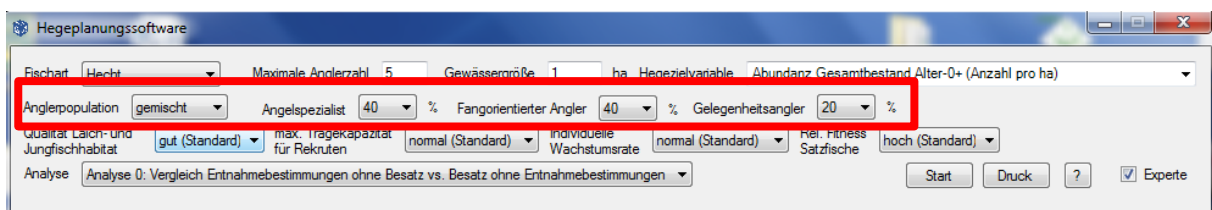
### Zusammensetzung der Anglerpopulation

Die Anglerpopulation kann entweder einheitlich aus Durchschnittsanglern (das sind Angler, deren Vorlieben und Verhaltensweisen einem empirisch gemessenen Durchschnittsvereinsangler in Niedersachsen entsprechen, (vgl. Arlinghaus et al. 2014, 2015) oder einheitlich (d. h. zu 100%) aus einem von drei auswählbaren Anglertypen (Angelspezialist, Gelegenheitsangler oder fangorientierter Angler) bestehen. Diese Auswahl lässt sich unter dem Menüpunkt Anglerpopulation und dem Unterpunkt „einheitlich“ einstellen (Abbildung 39). Darüber hinaus kann der Nutzer unter dem Unterpunkt „gemischt“ eine Anglerpopulation definieren, die sich aus verschiedenen Anglertypen zusammensetzt, z. B. weil die lokale Anglerpopulation bekanntermaßen aus bestimmten Anglertypen besteht. Entsprechend sind die jeweiligen Prozentsätze von Angelspezialisten, Gelegenheitsanglern und fangorientierten Anglern für die entsprechende Zielart einzustellen (Abbildung 40). Die Vorlieben der einzelnen Anglergruppen und damit ihr Verhalten unterscheiden sich je nach Zielfischart in Abhängig der Anglertypen; die entsprechenden Parameter wurden an niedersächsischen Anglern quantitativ erhoben und kalibriert (Tabelle 11).

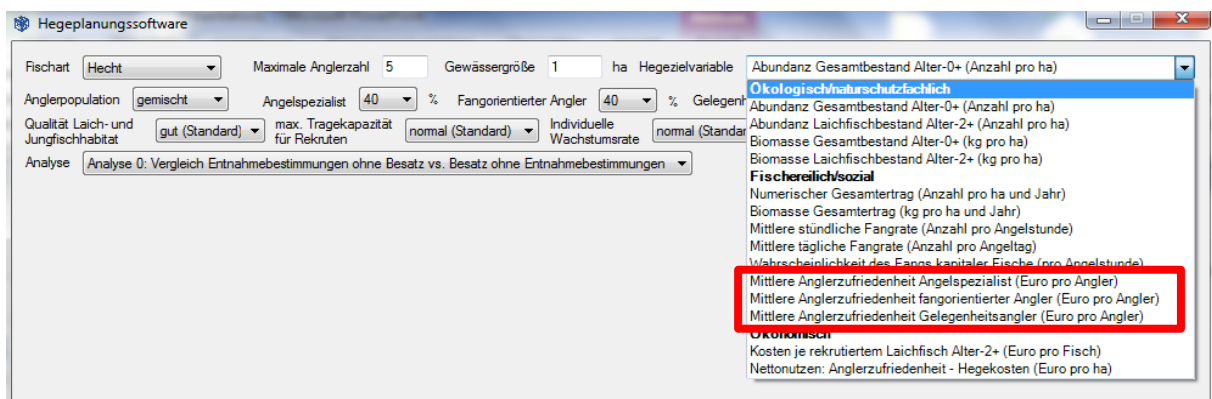
Wird eine Anglerpopulation aus mehr als einem Anglertyp gemischt definiert, finden sich unter den Hegezielvariablen Angaben zur mittleren Anglerzufriedenheit für jeden der drei Anglertypen separat aufgeführt (Abbildung 41).



**Abbildung 39** Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltfläche für die Auswahl der Anglertypen.



**Abbildung 40** Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltflächen für die Definition der Zusammensetzung der Anglerpopulation nach Typen.



**Abbildung 41** Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltflächen für die Auswahl der Hegezielvariable „anglertypspezifische Anglerzufriedenheit“.

Ein Wort noch zu den Anglertypen. Die Existenz verschiedener Anglertypen innerhalb einer Anglerpopulation ist wohl bekannt. Unterschiedliche Anglertypen charakterisieren unterschiedliche Ansprüche an die Angelgewässer z. B. in Bezug auf die Erwartung der Fangmenge und der Größe der gefangenen Fische sowie der Akzeptanz von die Entnahme beschränkenden Bestimmungen oder des Überfüllungsgrad des Gewässers mit Angelkollegen. Die drei Anglertypen, die im Modell einstellbar sind, folgen grob gesprochen der Anglerspezialisierungstheorie.

Entsprechend unterscheidet man Anglerspezialisten, fangorientierte Angler und Angelgeneralisten. Je nach Fischart charakterisiert unterschiedliche Anglertypen in Abhängigkeit des Spezialisierungsgrads unterschiedliche Erwartungen, die entsprechend zu unterschiedlichem Verhalten führen. In den meisten Fällen tendieren Angelspezialisten dazu, stärker als andere Angler von der Verfügbarkeit großer, kapitaler Fische zu profitieren. Tendenziell sind Angelspezialisten auch aufgeschlossener gegenüber restriktiverer Entnahmebestimmungen. Fangorientierte Angler sehnen sich nach hohen Fang- und Entnahmemengen, sie lehnen in der Regel restriktive Fangbeschränkungen ab und bevorzugen Besatz. Der Gelegenheitsangler hat weniger ausgeprägte Vorlieben in Bezug auf die Fänge und angelt in der Regel weniger intensiv als die anderen Anglertypen. Je nach Zielart weichen die gerade ausgeführten Beschreibungen mehr oder weniger ab. Beispielsweise ist ein hochspezialisierter Aalangler nicht zwangsläufig an großen Aalen interessiert, sondern stärker an einer hohen Entnahmemenge räucherfähiger mittlerer Fische. Die in Tabelle 11 dargestellten drei Anglertypen basieren auf tatsächlich gemessenen Vorlieben niedersächsischer Angler. Es wurde versucht, mit einem einfachen Label die drei verschiedenen Anglertypen für die verschiedenen Arten zu bezeichnen. Im Modell sind die tatsächlichen Vorlieben aber durchaus komplexer als in Tabelle 11 gerafft zusammengefasst. Auch wurde festgestellt, dass die untersuchten niedersächsischen Angler in der Mehrheit eine recht starke Entnahmeorientierung kennzeichnet, so dass der reine „Angelspezialist“, der sich nur dem Fang von kapitalen Fischen auf Basis der Catch&Release Angelei verschreibt, im Modell nicht vorkommt. Statt dessen werden die Mehrheitsverhältnisse so gut es ging in drei Anglertypen zusammengefasst, aus denen der Anwender seine Anglerpopulation vor Ort zusammensetzen kann.



**Tabelle 11 Kurzcharakterisierung der einzelnen Anglertypen im Modell.**

| <b>Fischart</b> | <b>Angelspezialist</b>                                                                                                                            | <b>Fangorientierter Angler</b>                                                                                                                                                       | <b>Gelegenheitsangler, Naturgenießer</b>                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Aal             | Starke Fang- und Entnahmeorientierung, reagieren sehr stark auf sich veränderte Fangaussichten und Beschränkungen der Entnahme über Bestimmungen. | Aalangler, die vglw. indifferent auf Veränderungen der Fangbestimmungen reagieren.                                                                                                   | Reagieren stark auf hohe Mindestmaße und hören dann auf zu Angeln. |
| Bachforelle     | Kapitalenjäger, mögen keine überfüllte Gewässer.                                                                                                  | Sehnen sich nach ruhigen, aber fanghäufigen Erlebnissen, mögen keine täglichen Fangbeschränkungen, dafür aber Besatz.                                                                | Reagieren vor allem auf Erhöhungen der Mindestmaße mit Ablehnung.  |
| Barsch          | Fangorientierte Angler, gerne auch Kapitale, weniger Aversion gegenüber Regularien als die anderen drei Anglertypen.                              | Stark fangorientiert, aber nicht unbedingt an kapitalen Fischen interessiert. Haben mit einer hohen Präsenz von anderen Anglern weniger Probleme als die beiden anderen Anglertypen. | Mögen keine hohen Mindestmaße und keine überfüllte Gewässer.       |
| Brasse          | Fangorientierte Angler, gerne auch Kapitale, weniger Aversion gegenüber Regularien als die                                                        | Stark fangorientiert, aber nicht unbedingt an kapitalen Fischen interessiert. Haben mit einer hohen Präsenz von anderen                                                              | Mögen keine hohen Mindestmaße und keine überfüllte Gewässer.       |

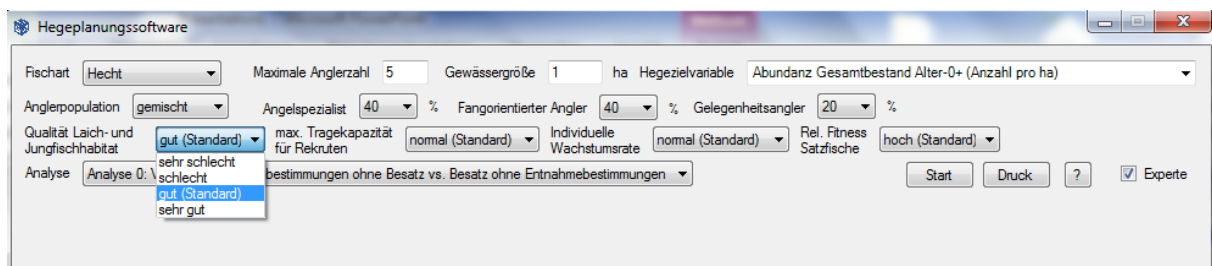
|                   |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                         |                                                                                                                                   |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | anderen drei Anglertypen.                                                                                                                                                                | Anglern weniger Probleme als die beiden anderen Anglertypen.                                                                            |                                                                                                                                   |
| Hecht             | Sehnen sich nach kapitale Fischen, sind aber auch sensitiv gegenüber Mindestmaßerhöhungen, weil die großen Tiere durchaus auch entnommen werden wollen.                                  | Reagieren sensibel auf Veränderungen der Fänge (auch Fischgröße), Beschränkungen und Überfüllung.                                       | Reagieren weniger auf Veränderungen der Fänge, aber stark auf tägliche Fangbeschränkungen und Überfüllung.                        |
| Karpfen           | Kapitalenjäger, inkl. starke Reaktion auf Veränderung der Durchschnittsgröße, sind aber keine typischen Catch&Release Trophäenangler, die in der Anglerschaft die Minderheit darstellen. | Keine ausgeprägte Vorliebe zum Karpfen, reagieren aber stärker auf Veränderungen der Fangaussichten als die anderen beiden Anglertypen. | Gelegenheitsangler auf Karpfen, ist aber keine Zielfischart, reagieren aber auf Besatzveränderungen mit Reduktion der Beangelung. |
| Regenbogenforelle | Interesse an großen und möglichst vielen Forellen im Fang.                                                                                                                               | Reagiert stärker auf Veränderungen der Größe und Überfüllung als die anderen beiden Anglertypen.                                        | Reagiert sensibel auf Änderungen der Fangraten und reagiert stark auf erhöhte Mindestmaße.                                        |
| Rotauge           | Fangorientierte Angler, gerne auch Kapitale, weniger Aversion gegenüber                                                                                                                  | Stark fangorientiert, aber nicht unbedingt an kapitalen Fischen interessiert. Haben mit einer hohen                                     | Mögen keine hohen Mindestmaße und keine überfüllte Gewässer.                                                                      |

|        |                                                                                             |                                                                                                                            |                                                                                                        |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Regularien als die anderen drei Anglertypen.                                                | Präsenz von anderen Anglern weniger Probleme als die beiden anderen Anglertypen.                                           |                                                                                                        |
| Zander | Reagiert sensibel auf Überfüllung und Veränderung aller Fangmerkmale (Fangmenge und Größe). | Reagiert vor allem auf Erhöhungen der Mindestmaße und Veränderungen der Fangrate, weniger auf die Änderung der Fischgröße. | Kein gesteigertes Interesse am Zander, wenn aber darauf geangelt wird, ist die Größe durchaus wichtig. |

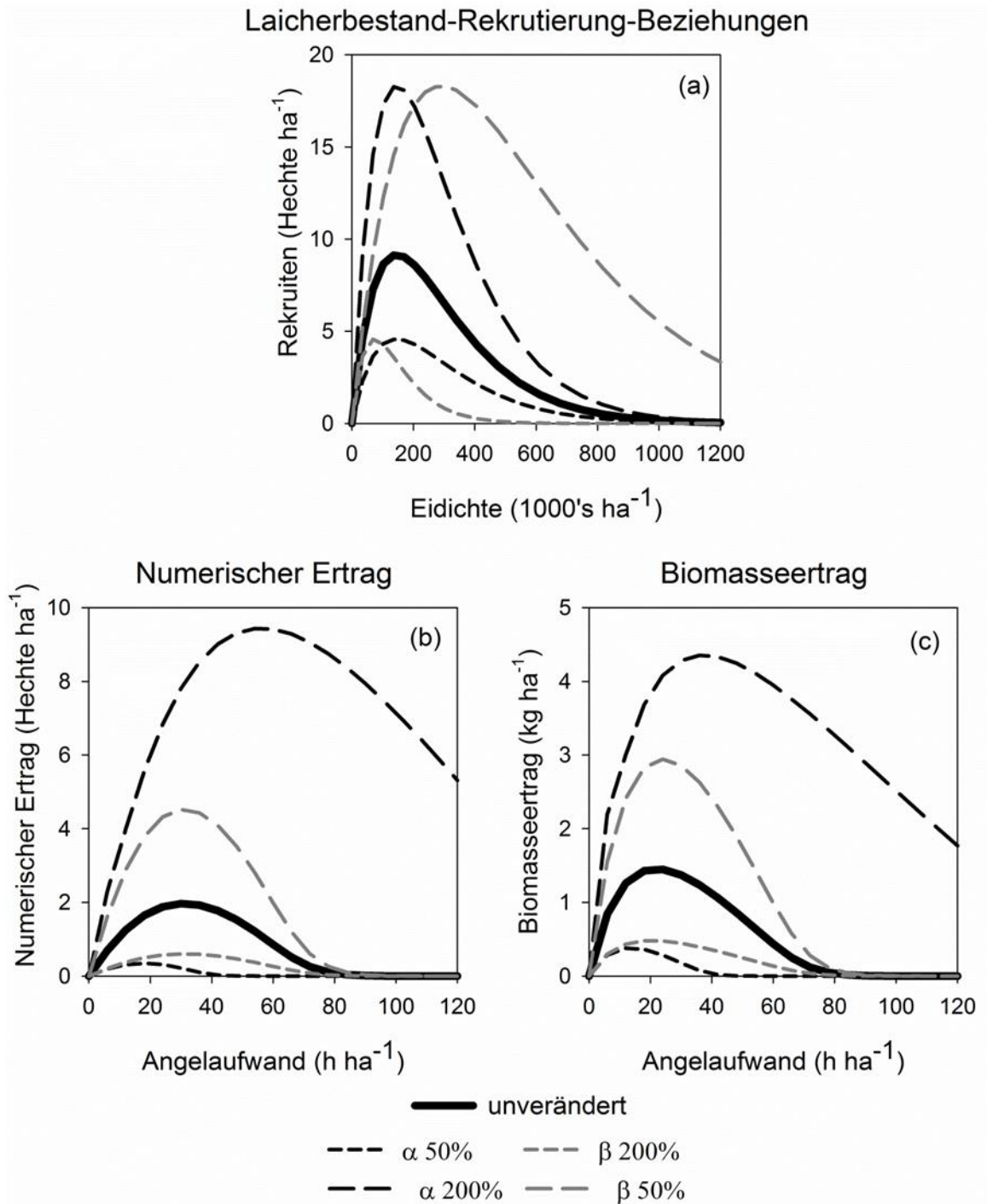
### Qualität Laich- und Jungfischhabitat

Um dem Anwender auch Simulationen für verschiedene ökologische Gewässerbedingungen zuzulassen und indirekt auch die Bewertung der Wirksamkeit lebensraum aufwertender Maßnahmen im Vergleich zu Fischbesatz zu ermöglichen, können Simulationen für vier Abstufungen der Qualität des Laich- und Jungfischhabitats durchgeführt werden (Kategorien: sehr gut, gut, schlecht, sehr schlecht, Abbildung 42). „Gut“ ist hierbei die Standardeinstellung und entspricht der im Standardmodus verwendeten Kategorie. Die Habitatqualität für Jungfische variiert die Überlebensrate nach der Geburt bis zur Rekrutierung in den Fang. Ganz konkret erlaubt die Simulation die Veränderung der Steigung der Laicherbestands-Rekrutierungsbeziehung (was dem Parameter  $\alpha$  in der Laicherbestand-Rekrutierungsbeziehung entspricht, siehe Kapitel 1 und Abbildung 43a). Wenn die Steigung nahe des Ursprungs erhöht wird (entspricht einem erhöhten  $\alpha$ , was gegenüber der Standardeinstellung eine Veränderung von „Gut“ auf „Sehr Gut“ entspricht), wird der Bestand produktiver, es werden mehr Rekruten bei der gleichen Laicherbiomasse im Gewässer hervorgebracht (Abbildung 43a). Eine Steigerung von  $\alpha$  entspricht konzeptionell der Schaffung und Aufwertung von Laich- und Jungfischlebensräumen. Flacht hingegen die Kurve nahe des Ursprungs ab (geringere Steigung, entspricht einem verringertem  $\alpha$ , entspricht der Einstellung „schlecht“ oder „sehr schlecht“ im Vergleich zu „gut“ als Standardeinstellung),

verringert sich die Produktivität des Bestands. Konzeptionell entspricht dies einer Verschlechterung der natürlichen Verlaichungs- und Aufwuchsbedingungen, z. B. aufgrund des Gewässeraus- und verbaus. Im Modell werden die vier Einstellungsstufen folgendermaßen repräsentiert: Ausgehend von der Standardeinstellung „gut“ (Faktor 1) bedeutet eine Verbesserung der Qualität des Laich- und Jungfischhabitats auf „sehr gut“ eine Steigerung der Rekrutierung um den Faktor 2 (100%ige Verbesserung der Jungfischproduktivität), wohingegen die Habitatqualität bei der Einstellung „schlecht“ auf den Faktor 0,75 abgewertet wird (25%ige Verschlechterung der Jungfischproduktivität) und bei der Einstellung „sehr schlecht“ auf den Faktor 0,5 (50%ige Verschlechterung der Jungfischproduktivität gegenüber der Standardeinstellung, vgl. Wirkung in Abbildung 43a). Auch bei einer „sehr schlechten“ Qualität der Brut- und Jungfischlebensräume findet noch auf bescheidenen Niveau eine natürliche Verlaichung und ein natürliches Aufkommen von Fischen statt.



**Abbildung 42** Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltfläche für die Auswahl der Qualität des Laich- und Jungfischhabitats.

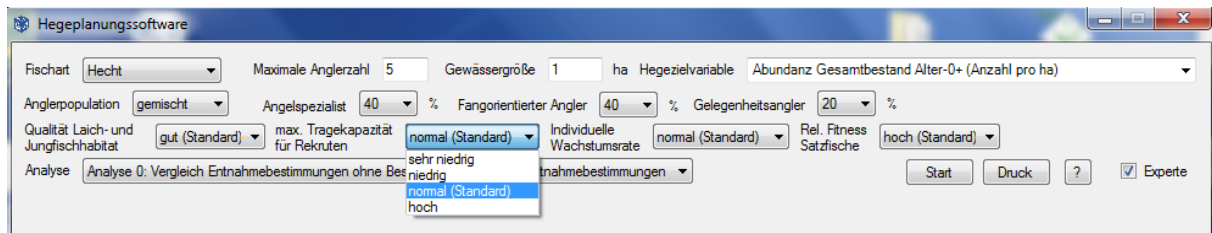


**Abbildung 43**

Ertragskurven und numerischer Ertrag von Hechten in Abhängigkeit verschiedener Produktivitäten (dargestellt über Variationen in der Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung) und in Abhängigkeit unterschiedlicher Angelaufwände auf Hecht in dem Hechtmodell von Johnston et al. (2013). Die Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung folgt Ricker (1954) und hat die Form  $R = \alpha S e^{\beta S}$ , wobei  $\alpha$  die maximale Überlebensrate nach der Geburt bis zur Rekrutierung (hier Altersklasse 1) bei geringer Laicherabundanz  $S$  ist,  $\beta$  ist die inverse Laicherdichte, die die Rekrutierung maximiert; dieser Parameter beschreibt die Stärke der Dichteregulation, die das Überleben der Nachkommen bestimmt. Eine alternative Beschreibung von  $\beta$  ist die Rate des Rückgangs der Rekruten/Laicher mit der Zunahme der Laicherdichte, was für kannibalistische Arten wie den Hecht typisch ist.

## Tragekapazität

Für die Tragekapazität, d. h. die maximale Menge an heranwachsenden Fischen, die das Gewässer ernähren kann, kann der Nutzer wieder vier Kategorien (hoch, normal, niedrig, sehr niedrig) auszuwählen (Abbildung 44). „Normal“ ist Standardeinstellung und entspricht der im Standardmodus verwendeten Kategorie. Die Tragekapazität stellt die Rate des Rückgangs der Rekruten je Laichtier mit zunehmender Laicherdichte in der Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung dar (was im Modell durch den Parameter  $\beta$  der Laicherbestands-Rekrutierungsbeziehung gesteuert wird, siehe Kapitel 1 und Abbildung 43a). Konzeptionell bedeutet dies, dass die Dichteabhängigkeit der Rekrutierung und damit auch die maximale Höhe der Rekrutierung durch den Parameter  $\beta$  vorbestimmt wird, wohingegen die Steigung der Laicherbestand-Rekrutierungs-Beziehung nahe des Ursprungs (was ein besseres Maß der Produktivität des Bestands ist, weil es das Erreichen des Maximums beschleunigt) unabhängig von  $\beta$  ist (Abbildung 43a). Zum Vergleich: sowohl die Steigung der Laicherbestand-Rekrutierungsbeziehung als auch die maximale Rekrutierung hängen beide von  $\alpha$  ab. Wenn man den Grad der Dichteabhängigkeit verringert (reduziertes  $\beta$ ), erhöht sich die maximale Rekrutierung und damit die Tragekapazität. Erhöht sich beispielsweise die Tragekapazität durch die Reduzierung von  $\beta$  von „normal“ auf „hoch“ (d. h. Abnahme der Dichteabhängigkeit) bedeutet dies, dass das Gewässer maximal mehr Fische ernähren kann (daher der Begriff Tragekapazität). Entsprechend reduziert sich die maximale Menge an natürlich aufkommenden Fischen von „normal“ auf „niedrig“ oder „sehr niedrig“ durch die Erhöhung von  $\beta$  (d. h. Zunahme der Dichteabhängigkeit, Abbildung 43a). Eine Veränderung der Tragekapazität wird durch Änderungen der Jungfischlebensräume sowie durch Veränderung der Nährstoffgehalte ausgelöst. Ausgehend von der Standardeinstellung „normal“ (Faktor 1) bedeutet im Modell eine Erhöhung der Tragekapazität auf „hoch“ eine Erhöhung auf den Faktor 2, wohingegen die Tragekapazität bei der Einstellung „niedrig“ auf den Faktor 0,75 verringert wird und bei der Einstellung „sehr niedrig“ auf den Faktor 0,5.

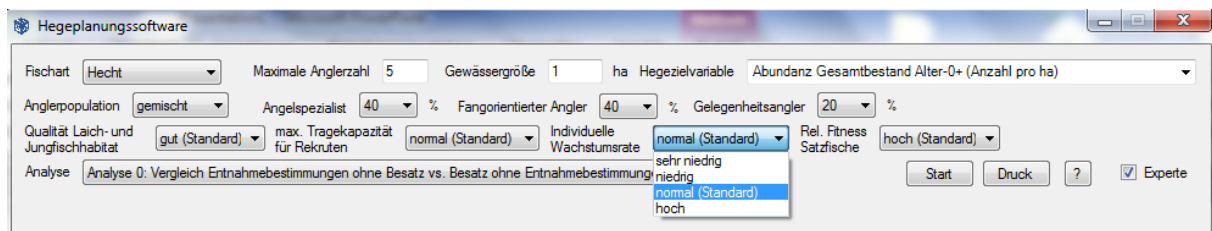


**Abbildung 44 Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltfläche für die Auswahl der Tragekapazität.**

## Individuelle Wachstumsrate

Für die individuelle Wachstumsrate der Zielart kann der Nutzer erneut aus vier Kategorien (hoch, normal, niedrig, sehr niedrig) auswählen (Abbildung 45). Damit sollen natürlicherweise vorherrschende Unterschiede im Nahrungsaufkommen zwischen Gewässern abgebildet werden. Normal ist im Modell die Standardeinstellung, was auch der im Standardmodus verwendeten Wachstumsgeschwindigkeit entspricht. Ändert man die Wachstumsrate von normal auf hoch, wachsen die Fische besser (z. B. weil es sich um ein nährstoffreiches Gewässer handelt). Ansonsten flacht die Wachstumskurve ab, z. B. wenn man produktive und weniger produktive Gewässer vergleichen will. Ausgehend von der Standardeinstellung „normal“ (Faktor 1) bedeutet eine Erhöhung der individuellen Wachstumsrate auf „hoch“ eine Erhöhung auf den Faktor 1,2, wohingegen die individuelle Wachstumsrate bei der Einstellung „niedrig“ auf den Faktor 0,75 verringert wird und bei der Einstellung „sehr niedrig“ auf den Faktor 0,5. Es ist wichtig zu bemerken, dass es sich bei der Variation der individuellen Wachstumsrate im Modell um eine Variation der maximal möglichen juvenilen Wachstumsgeschwindigkeit der Fische unter optimalen Bedingungen ohne Futterarmut handelt. Die juvenile Wachstumsrate bestimmt dann auch die Wachstumsrate der Adulten und die maximal erreichbare Fischlänge im Adultstadium (Lester et al. 2004). Bei hohen Dichten und entsprechender Futterkonkurrenz verringert sich die Wachstumsgeschwindigkeit im Modell für alle vier Kategorien gleichermaßen. Bei Futterarmut (hohe Dichte an Konkurrenten) wächst also sowohl ein Bestand, dessen Wachstumsrate als „sehr niedrig“ eingeschätzt wird, als auch ein Bestand, den eine „hohe“ Wachstumsrate kennzeichnet, weniger schnell als unter guten Futterbedingungen (geringe Dichte an Konkurrenten). Anders ausgedrückt. Die individuelle Wachstumsrate, die in vier Kategorien einstellbar ist, bestimmt die gewässerabhängig unterschiedliche grundsätzliche Wachstumsrate, während alle

Bestände in allen Gewässer im Modell dichteabhängigen Wachstumsprozessen unterliegen (vgl. Kapitel 1).



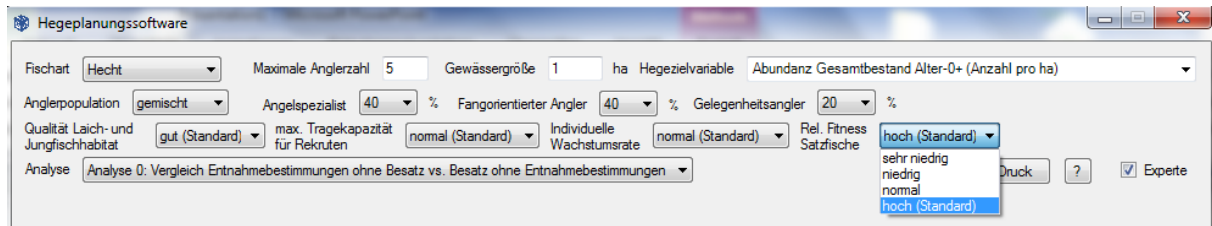
**Abbildung 45** Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltfläche für die Auswahl der individuellen Wachstumsrate.

### Relative Fitness der Satzffische

Da Satzffische meist eine erhöhte Sterblichkeit und eine reduzierte Reproduktionsfähigkeit gegenüber Wildfischen kennzeichnet (Lorenzen et al. 2012), kann der Anwender auch Reduktionen der relativen Fitness der Satzffische in Bezug auf Überleben und Larvenproduktion vorsehen. Für die relative Fitness der Satzffische kann der Nutzer aus vier Kategorien (hoch, normal, niedrig, sehr niedrig) auszuwählen (Abbildung 46). Hoch ist die Standardeinstellung, die auch im Standardmodus verwendet wird. Die Leistungsfähigkeit (Überleben und Reproduktion) von Satzffischen ist dann identisch zu denen von Wildfischen (Faktor 1). Die natürliche Fitness von Satzffischen reduziert sich im Vergleich zu den Wildfischen, wenn die Satzffische aus geografisch entfernten Regionen kommen oder beim Abstreichen die natürliche Partnerwahl umgangen wird. Auch reduziert sich die Fitness der Satzffische dadurch, dass in der Fischzucht völlig andere Selektionsbedingungen anzutreffen sind. Auch die Haltungsbedingungen und die Aufzuchtdauer in Fischzuchten haben Einfluss auf die Leistungsfähigkeit im Freiland. Eigene Studien an Laichhechten, die besetzt wurden, haben z. B. gezeigt, dass Satzhechte eine um die Hälfte reduzierte Reproduktionsleistung haben (Arlinghaus et al. 2015). Vergleichbare Daten liegen insbesondere auch zu Salmoniden vor (Araki et al. 2007; Christie et al. 2014). Es ist daher ratsam, wenn der Anwender die relative Fitness der Satzffische standardmäßig auf normal, niedrig oder sehr niedrig und nicht auf „hoch“, insbesondere bei reproduzierenden Arten. Ausgehend von der Standardeinstellung „hoch“ (Faktor 1) bedeutet eine Änderung der relativen Fitness auf „normal“ eine Verringerung auf den Faktor 0,9, bei der Einstellung „niedrig“ auf den Faktor 0,75 und bei der Einstellung „sehr niedrig“ auf den Faktor 0,5. Diese



Faktoren betreffen im Modell alle Arten von Überlebensraten (Brut, Jungfische, Adulti) sowie die von den Fischen geleistete Reproduktionsrate.



**Abbildung 46** Darstellung der Benutzeroberfläche und Schaltfläche für die Auswahl der relativen Fitness der Satzffische.

## 6.4 Anwendungsbeispiele

In diesem Unterkapitel werden abschließend ausgewählte Analysemöglichkeiten der Hegeplanungssoftware für die Zielarten Hecht (beispielhaft für eine natürlich reproduzierende Fischart) und Karpfen (beispielhaft für eine nicht natürlich reproduzierende Fischart) jeweils für den Standard- und Expertenmodus dargestellt. Aufgrund der Vielzahl an Analysemöglichkeiten, die die Hegeplanungssoftware bietet, wird an dieser Stelle nur ein kleiner Ausschnitt an Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die Beispiele sind darauf angelegt, die relative Wirksamkeit unterschiedlicher Hegevorgehen basierend auf Fischbesatz und Schonbestimmungen für zwei extreme Beispielarten zu analysieren, um den Anwendungsbereich des Modells zu illustrieren. Die Ergebnisse werden kurz gewertet, um die Aussagekraft der getätigten Simulationen zu unterstützen.

Frei nach dem Motto, dass alle Modelle falsch sind, aber einige nützlich, wird nochmals darauf hingewiesen, dass die Modellanwendbarkeit insbesondere auf relative Aussagen zur langfristigen (!) Wirksamkeit der Maßnahmen begrenzt ist und dass es unmöglich ist, ganz konkrete Prognosen für ganz konkrete Gewässerbedingungen im nächsten Jahr abzuleiten. Das Modell kann insbesondere helfen, die Umsetzungsplanung aus Abbildung 12 und konkret die Schritte „Prognose Ergebnisse“, „Abwägung für und wider bestimmte Maßnahmen“ und „Entscheidung für auszuprobierende Maßnahmen“ der lernfähigen Hege und Pflege aus Abbildung 13 in Kapitel 2 zu durchlaufen. Kurz gesagt – der Anwender kann mit dem Modell die in der Hege prinzipiell einsetzbaren Maßnahmen eingrenzen und Prognosen über erwartete Ergebnisse erhalten, die sodann in der Praxis überprüft werden sollten (möglichst durch Vorher-Nachher-Kontroll-Intervention Vorgehen, indem Wirkungen

in Maßnahmengewässern mit Wirkungen in unbeeinflussten Vergleichsgewässern untersucht werden). Um die Hegeplanungssoftware situationsgerecht für die Hege der Gewässer und der Zielfischarten zu nutzen, wird dem Anwender nahegelegt, sich in einem ersten Schritt Hegeziele zu setzen (siehe auch Kapitel 5). Je nach gewählter Hegezielvariable (naturschutzfachlich/ökologisch, sozial oder ökonomisch) können und werden sich geeignete Hegemaßnahmen in Sinne einer Erfolgsbewertung deutlich unterscheiden, wie in den folgenden Beispielen illustriert werden wird.

Es ist wichtig zu verstehen, dass in dem Modell angenommen wird, dass ein ausgewählte Maßnahme (z. B. Besatz) jährlich wiederholt erfolgt, bis die Fischpopulation in der Wechselwirkung mit Anglern einen neuen befischten Gleichgewichtszustand erreicht. Dieser Gleichgewichtszustand wird in den Ergebnisabbildungen dargestellt und ist in der Regel nach 10 bis 20 Jahren erreicht, je nach Langlebigkeit der Art.

### **6.4.1 Standardmodus**

#### **Hecht**

Im ersten Beispiel soll für den Hecht die generelle Eignung von verschiedenen Entnahmebestimmungen im Vergleich zu Besatzmaßnahmen mit unterschiedlichen Fischgrößen und Besatzmengen für eine ökologisch/naturschutzfachlichen Variable, verschiedene fischereilich/soziale Variablen und eine ökonomische Variable simuliert werden. Wie zuvor angedeutet, unterscheidet sich die Bewertung, ob eine Hegemaßnahmen als erfolgreich angesehen wird oder nicht stark je nach Hegeziel. Übrigens sind unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe (die in den Hegezielen quantitativ abgebildet werden) der Hauptgrund, warum unterschiedliche Personen oder Interessensgruppen häufig dieselbe Maßnahme unterschiedlich bewerten. Es ist daher wichtig, sich zu vergegenwärtigen, wie unterschiedlich einzelne Hegemaßnahmen auf unterschiedliche Hegezielvariablen (Zielfunktionen bzw. Bewertungsmaßstäbe) wirken.

Vor diesem Hintergrund ist die Software ein Werkzeug zur Umsetzung der lernfähigen Hege und Pflege (Kapitel 2, vgl. auch Abbildung 47). Konkret muss sich

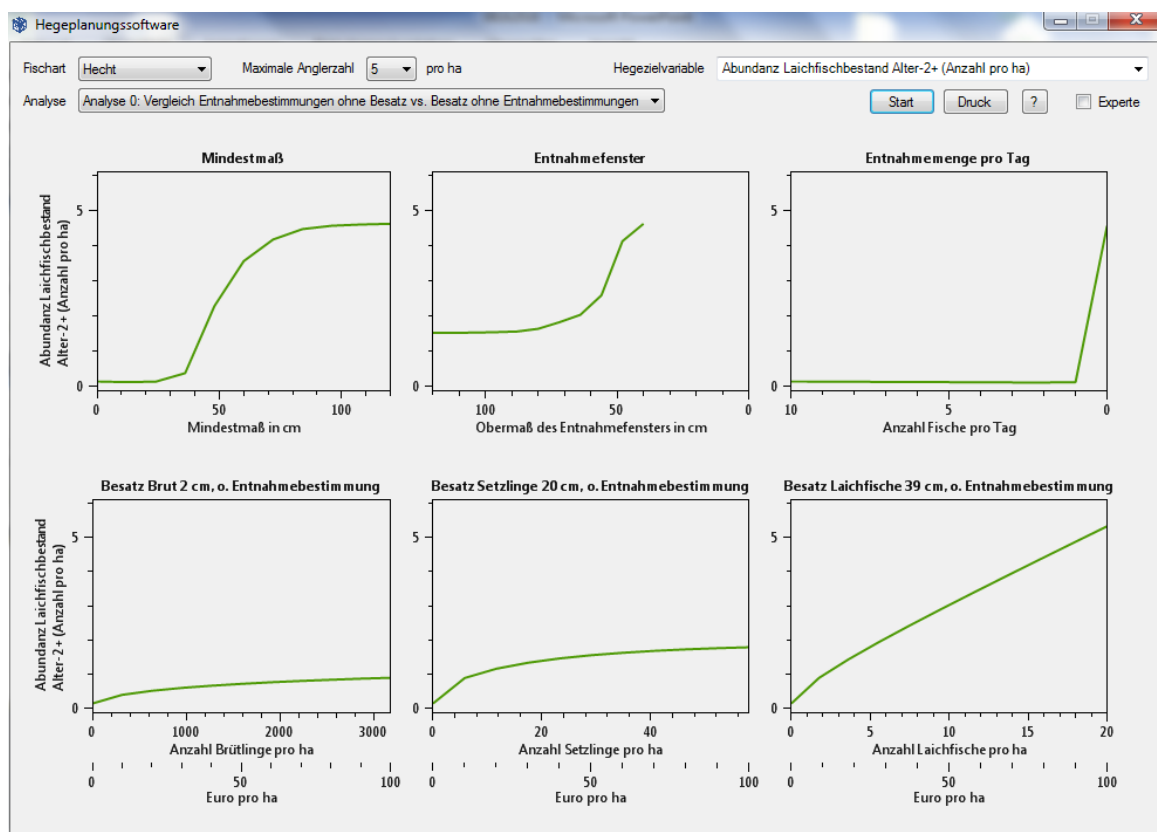
der Nutzer Gedanken über seine Hegeziele machen und darüber, nach welchen Kriterien die Zielerreichung bewertet werden soll. Beispielsweise kann ein fischereiliches Hegeziel die Erhöhung der Fänge der Angler sein, dessen Erfolg als Resultat veränderter Hegemaßnahmen man anhand der Bewertungskriterien „Fänge pro Stunde“, „numerischer Ertrag pro ha“ und „Fangwahrscheinlichkeit des Fanges kapitaler Fische“ einschätzen möchte. Die Bewertungskriterien entsprechen in der Software den verschiedenen Hegezielvariablen. Entsprechende Entscheidungen muss der Durchführende der lernfähigen Hege und Pflege zunächst treffen und über die Software einstellen (das entspricht den roten Schritte 1 und 2 in Abbildung 47).



**Abbildung 47** Darstellung des Ablaufs der lernfähigen Hege und Pflege. In rot werden drei relevante Schritte aufgezeigt, die mit der Wahl von Zielen, damit verbundenen Hegezielvariablen (Bewertungskriterien) und Simulationsergebnissen (Erwartung, Prognose, Ergebnisse) zur Wirkung unterschiedlicher Hegemaßnahmen.

Nach Festlegung von Zielen und Bewertungskriterien zur Zielerreichung steht die Ableitung von Erwartungen zur relativen Wirksamkeit von Maßnahmen an (Hypothesen). Die Grundprognose (3. Schritt Abbildung 47) zur relativen Effektivität von Fischbesatz beim Hecht auf die naturschutzfachliche Zielvariable „Bestandserhöhung“, die sich aus den empirischen Studien von Besatzfisch ergibt, ist, dass Hechtbrutbesatz nur dann die Bestände steigert, wenn keine natürliche

Rekrutierung erfolgt (Hühn et al. 2014). Junghechtbesatz einsömmeriger Hechte sollte kurzfristig die Bestände steigern, ohne aber den Adultfischbestand (und die Anglerfänge als soziale Variable) substantiell zu erhöhen (Arlinghaus et al. 2015). Das Einsetzen laichreifer Hechte sollte hingegen den Adultfischbestand (ökologisches Ziel) und damit verbunden die Fänge (soziales Ziel) steigern (Arlinghaus et al. 2015). Da die relativen Effekte von Besatz auf die Bestände gering sind, Besatz aber teuer ist, ist die letzte Annahme, dass aus ökonomischer Sicht Hechtbesatz in der Regel ineffizient („Geldverschwendung“) ist.



**Abbildung 48** Simulationsergebnisse für die Effekte der Entnahmebeschränkungen Mindestmaß, Entnahmefenster und tägliche Entnahmebegrenzung sowie Besatz unterschiedlicher Intensität mit Hechtbrut, Hechtsetzlingen und Hechtlaichfischen auf die Abundanz von Laichfischen (Anzahl pro ha).

Um diese Prognosen zu prüfen, wird im Standardmodus die Fischart Hecht ausgewählt. Beispielhaft dient ein maximales Angleraufkommen von 5 Anglern pro ha. Als *ökologisch/naturschutzfachliche Hegezielvariable* dient im Beispiel die Anzahl (Abundanz) von Laichfischen, die 2 Jahre und älter sind, pro Hektar (Abbildung 48). Im ökologisch/naturschutzfachlichen Szenario wird eine hohe Anzahl von Laichfischen als Resultat der Hege angestrebt. Nun kann die relative Wirksamkeit verschiedener Entnahmebestimmungen und verschiedener Besatzmaßnahmen

hinsichtlich ihrer generellen Eignung zum Erreichen des Hegeziels simuliert werden. Hierfür wird Analyse 0 verwendet (Abbildung 48).

Die oberste Reihe an Abbildungen stellt die Simulationsergebnisse für die drei Entnahmebestimmungen (Mindestmaß, Entnahmefenster und tägliche Entnahmebegrenzung) dar, während die untere Reihe die Simulationsergebnisse für den Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen darstellt (Abbildung 48). Zu beachten sind die relativen Wirkungen der Hegemaßnahmen und die Trends über den Gradienten. Wo genau (z. B. bei welchem exakten Mindestmaß) ein Maximum oder ein Minimum auftritt, ist hingegen (weitgehend) irrelevant, da – nochmal zur Erinnerung – das Modell **keine konkreten zahlenmäßigen Prognosen** zulässt. Es ist also unmöglich abzuleiten, dass in jedem Hechtbestand aller Vereine in Deutschland ein Mindestmaß von ca. 70 cm (Abbildung 48) die Abundanz an Laichfischen maximiert. Je nach herrschenden ökologischen Bedingungen kann dieser Wert kleiner oder größer als der in der Abbildung 48 dargestellt ausfallen. Ebenso ohne Aussagekraft ist die konkrete Höhe der prognostizierten Abundanz der Laichfische (z. B. 5 Laichhechte pro ha), weil diese absolute Quantität von den im Modell getroffenen Parametern der Hechtbiologie abhängig ist, die sich stark von Gewässer zu Gewässer unterscheiden können (vgl. Kapitel 1, vor allem die Laicherbestand-Rekrutierungsbeziehung und damit verbundene Prognosen der absoluten Hechtbestandshöhe und der Erträge). Diese Varianz ändert die qualitativen Ergebnisse nicht (z. B. Mindestmaß ist Besatz überlegen oder mit steigenden Mindestmaßen passiert XY), jedoch die quantitativen Prognosen. Also kann mit dem Modell mit großer Sicherheit ausgesagt werden, dass langfristig nach ca. 10 bis 20 Jahren ansteigende Mindestmaße die Laichfischanzahl maximieren und dass selbst intensiver Besatz mit Laichhechten von 100 Euro pro ha die Laichfischanzahl, die bei mittleren bis hohen Mindestmaßen in Beständen erwartet werden können, nicht übertreffen kann (Abbildung 48). Möglicherweise würde noch stärkerer Besatz mit Laichhechte die Bestandshöhe weiter steigern, im Modell wird aber nur ein Geldeinsatz von 100 Euro pro ha modelliert.

Geht man die einzelnen Hegemaßnahmen im Detail durch, sieht man, dass das Modell für **Mindestmaße** vorhersagt, dass die Abundanz der Laichfische im mittleren Bereich der Mindestmaße stark ansteigt und dann ein Plateau zu erreicht, ab dem die Laichfische nicht weiter erhöht werden können. Dies zeigt, dass bei dem

eingestellten Anglerdruck von maximal 5 Anglern pro Hektar bei mittleren Mindestmaßen die (befischte) Tragekapazität des Gewässers für Laichfische erreicht ist.

Beim **Entnahmefenster** führt eine Erhöhung der Obergrenze (d. h. Liberalisierung der Entnahme) wie zu erwarten zu einer sinkenden Abundanz der Laichfische (bei ganz offenen Fenstern wirkt ein Entnahmefenster wie ein geringes Mindestmaß), bevor sich diese auf einem im Vergleich zu mittleren bis hohen Mindestmaßen niedrigerem Niveau einpendeln. Wichtig zu bemerken ist, dass in der Hegezielvariable Abundanz der Laichfische keine Unterscheidung unterschiedlicher Größen im Bestand getroffen wird, es wird also nicht abgebildet, wie viele Größenklassen im Laichfischbestand vertreten sind. Bei dieser Variable ist ein Entnahmefenster in der Regel dem Mindestmaß überlegen (Gwinn et al. 2015). Allerdings schonen Entnahmefenster vor allem wenig häufige Großfische (sowie die unreifen Tiere unterhalb der Unterschranke = Mindestmaß des Entnahmefensters), während sie zu scharfer Befischung der abundanten, mittelalten Fische im „Küchenfenster“ führen, so dass der verstärkte Schutz der alten Tiere bei einer Betrachtung der Gesamtabundanz von Laichfischen der Altersklasse 2 oder älter nicht ins Gewicht fällt und entsprechend (hohe) Mindestmaße in dieser Variable besser wirken als Entnahmefenster. Auch zu berücksichtigen ist, dass die Unterschranke des Entnahmefensters sehr gering angelegt ist (bei einem Drittel der Maximallänge, Tabelle 10). Würde man die Unterschranke erhöhen, werden sich auch die Ergebnisse ändern. In einer künftigen Version der Software soll diese Möglichkeit integriert werden.

Eine **tägliche Entnahmebegrenzung** von 1 Hecht pro Tag führt bereits zu einem starken Rückgang der Laichfischabundanz. Dies ist darin begründet, dass die Analyse 0 keine Kombination von Schonmaßnahmen zulässt; der mit der täglichen Entnahmebegrenzung befischte Hechtbestand erfährt also keinen Schutz durch die zusätzliche Implementierung von Mindestmaßen oder Entnahmefenstern, was zu einer raschen Rekrutierungsüberfischung und dem Zusammenbruch des Hechtbestands führt.

Betrachtet man nun die untere Reihe der Abbildung 48 stellt man fest, dass der **Besatz** mit Hechtbrut und Junghechten (Setzlingen) egal in welcher Intensität (zur besseren Vergleichbarkeit zwischen den Satzfischgrößen in Euro pro ha

standardisiert, ebenso angegeben sind die entsprechenden Individuenzahlen) zwar zu einer Erhöhung der Laichfischbestände führt, jedoch die Abundanz deutlich niedriger ist als durch die Hege über Entnahmebegrenzungen wie Mindestmaße oder Entnahmefenster. Der Besatz mit Laichfischen hingegen führt mit steigenden Besatzzahlen zu einer Erhöhung der Laichhectabundanz, die höhere Maximalwerte erreicht als über Mindestmaße oder Entnahmefenster möglich.

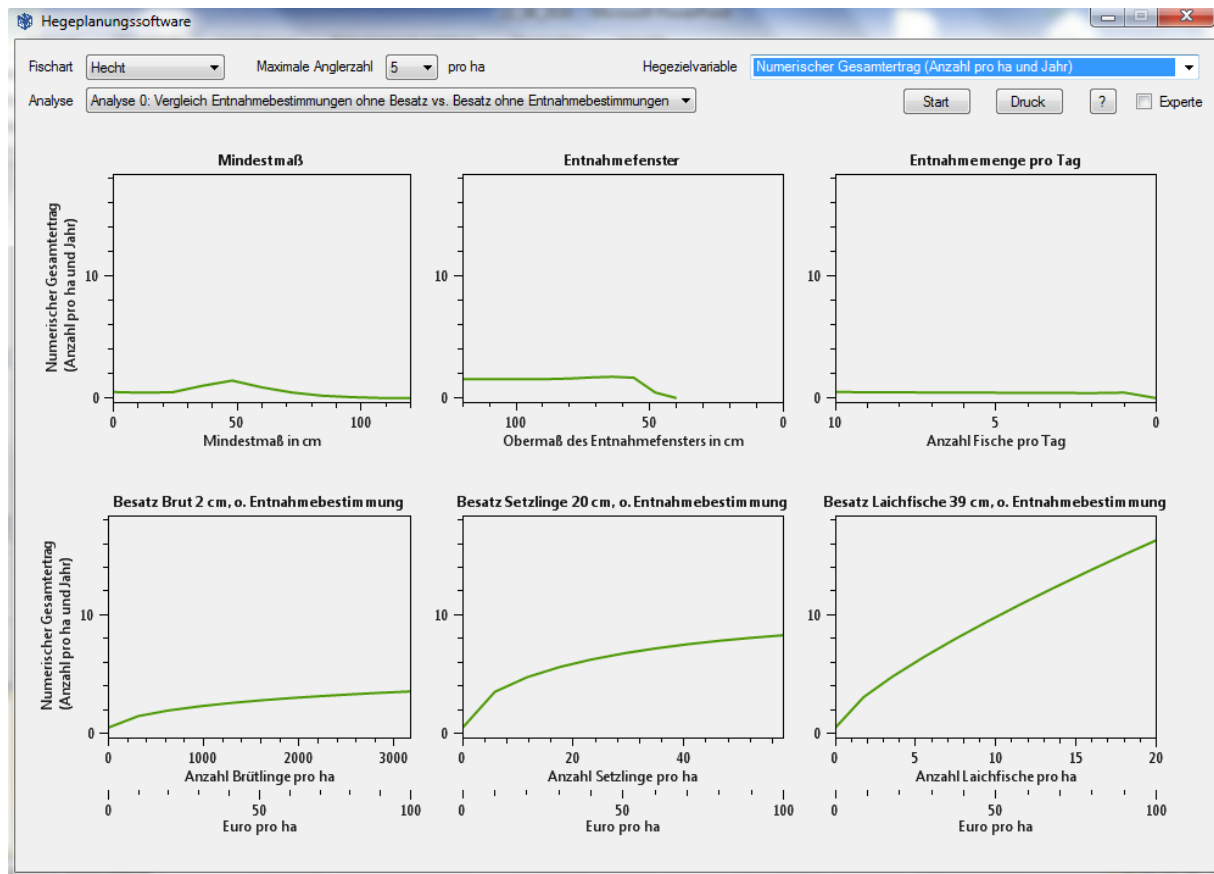
**Ergebnis: Ein rein naturschutzfachlich orientiertes Hechtmanagement würde die Kontrolle der Fischereisterblichkeit über Mindestmaße oder Entnahmefenster als favorisierte Hegevorgehen identifizieren und bei Besatz vor allem auf den Besatz von Laichfischen zurückgreifen. Um das Ziel einer hohen Laichhectabundanz zu erreichen, eignen sich im vorliegenden Fall drei Maßnahmen: mittlere Mindestmaße, ein konservatives Entnahmefenster oder der (starke) Besatz mit Laichhechten.**

Ausgehend von diesem Beispiel wird nun das Hegeziel auf ein *soziales Hegeziel* geändert, während alle anderen Einstellungen zunächst beibehalten werden.

Als erste *soziale Hegezielvariable* dient im Beispiel der numerische Gesamtertrag, d.h. die Anzahl der entnommenen Hechte pro ha und Jahr. Dieser ist bei Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen höher als bei der Implementierung von Entnahmebestimmungen (Abbildung 49). Bei Besatz mit Brut und Setzlingen nimmt der Anstieg des numerischen Gesamtertrags mit steigenden Besatzzahlen ab, was auf eine erhöhte dichteabhängige Sterblichkeit hinweist. Hingegen steigt der numerische Gesamtertrag bei Besatz mit Laichhechten auch bei hohen Besatzdichten weiter an, da die natürliche Sterblichkeit bei Laichfischen gering ist. Dies führt zu einer Fischerei, die den Charakter einer Put-and-Take Hechtfischerei entspricht.

Auch innerhalb der Entnahmebestimmungen lassen sich Unterschiede im numerischen Gesamtertrag feststellen, auch wenn diese vglw. gering ausfallen. So führen Entnahmefenster über einen weiten Längenbereich der Oberschranke zu einem etwas höheren numerischen Gesamtertrag als Mindestmaße, während nur ein sehr kleines Mindestmaß zu einer leichten Erhöhung des numerischen

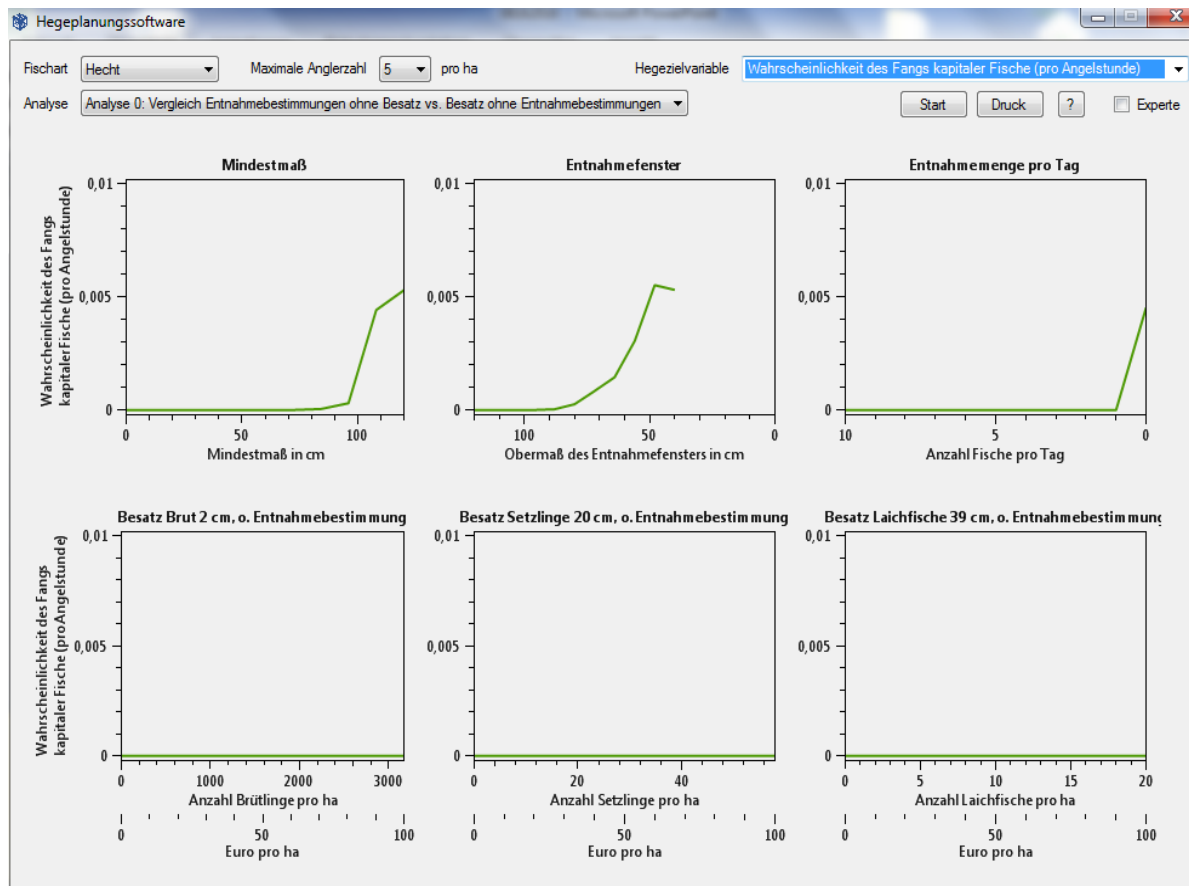
Gesamtertrags führt. Die Entnahmebegrenzung als alleinige Entnahmebestimmung führt unter dem gegebenen Angeldruck von 5 Anglern pro ha zu einem deutlich geringeren numerischen Gesamtertrag als andere Hegemaßnahmen.



**Abbildung 49** Simulationsergebnisse für die Effekte der Entnahmebeschränkungen Mindestmaß, Entnahmefenster und tägliche Entnahmebegrenzung sowie Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen auf den numerischen Gesamtertrag (Anzahl pro ha und Jahr) bei einem Angeldruck von 5 Angler pro ha.

Sehen wir uns nun die Wahrscheinlichkeit des Fanges kapitaler Fische über 100 cm Totallänge pro Angelstunde an. Welche Maßnahme ist hier besonders erfolgversprechend (Abbildung 50)?





**Abbildung 50** Simulationsergebnisse für die Effekte der Entnahmebeschränkungen Mindestmaß, Entnahmefenster und tägliche Entnahmebegrenzung sowie Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen auf die Wahrscheinlichkeit des Fangs kapitaler Hechte über 100 cm Totallänge bei einem Angeldruck von 5 Angler pro ha.

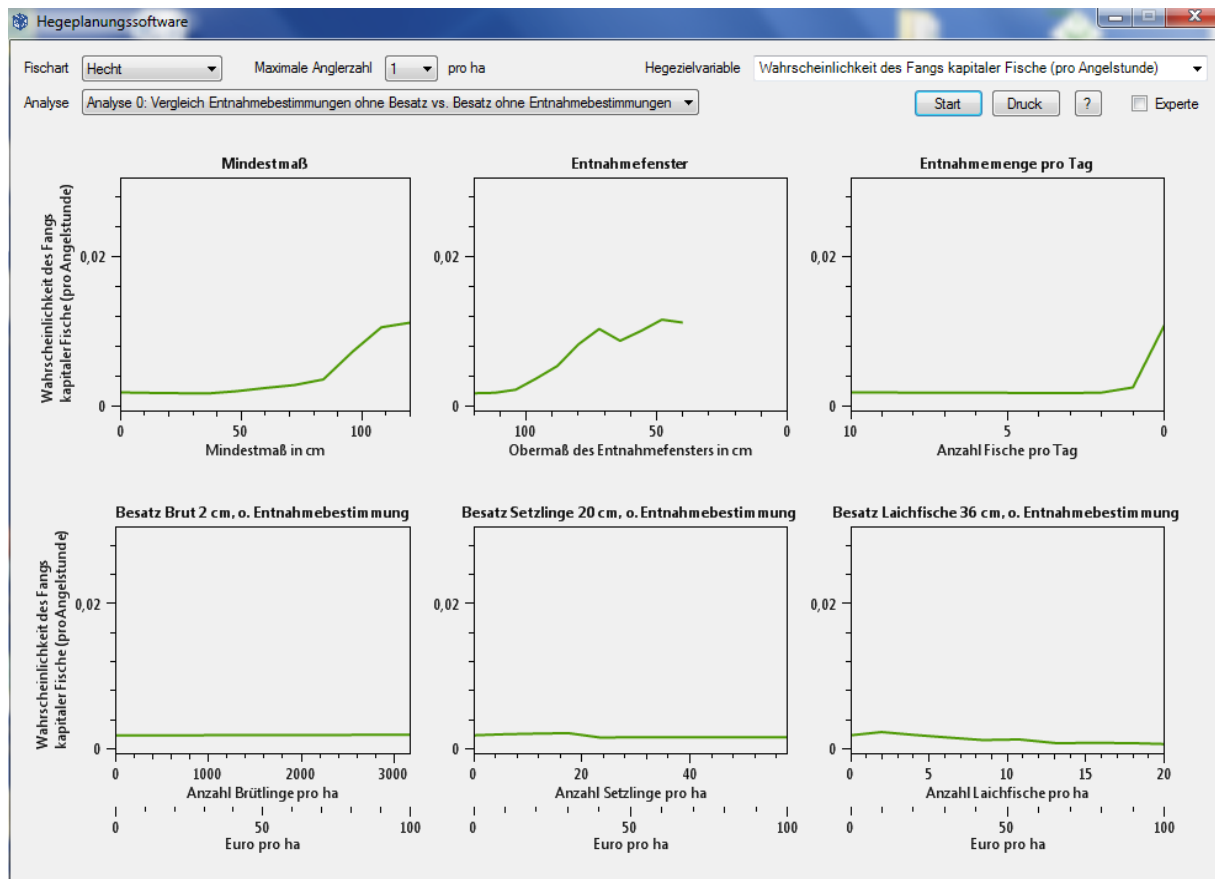
Es zeigt sich, dass unter den voreingestellten Rahmenbedingungen (hoher Angeldruck von 5 Anglern pro ha) die Wahrscheinlichkeit für den Fang kapitaler Fische insgesamt gering ist, weil die wenigsten Tiere es schaffen, sehr groß zu werden, es sei denn die Schonmaßnahmen führen zu einer totalen Catch&Release Fischerei (z. B. Mindestmaß > 100 cm, sehr enges Entnahmefenster von 40 bis 50 cm oder eine tägliche Fangbegrenzung < 1 Fische pro Tag, Abbildung 50). Insbesondere Besatz hat auf die Fangwahrscheinlichkeit von kapitalen Ausnahmefischen überhaupt keinen Effekt. Von allen Maßnahmen wirken vor allem moderate Entnahmefenster fangsteigernd in Bezug auf Trophäen (z. B. 40 bis 75 cm), vor allem im Vergleich zu Mindestmaßen, die erst bei einer Komplettschonung der Hechte durch höchste Mindestmaß in Bezug auf die Zahl der Kapitalen im Fang wirksam werden.

Ein Grund, warum die verschiedenen Schonmaße solch geringe Wirkung auf den Fang kapitaler Hechte haben, ist, dass der Grundangeldruck mit fünf Anglern pro ha

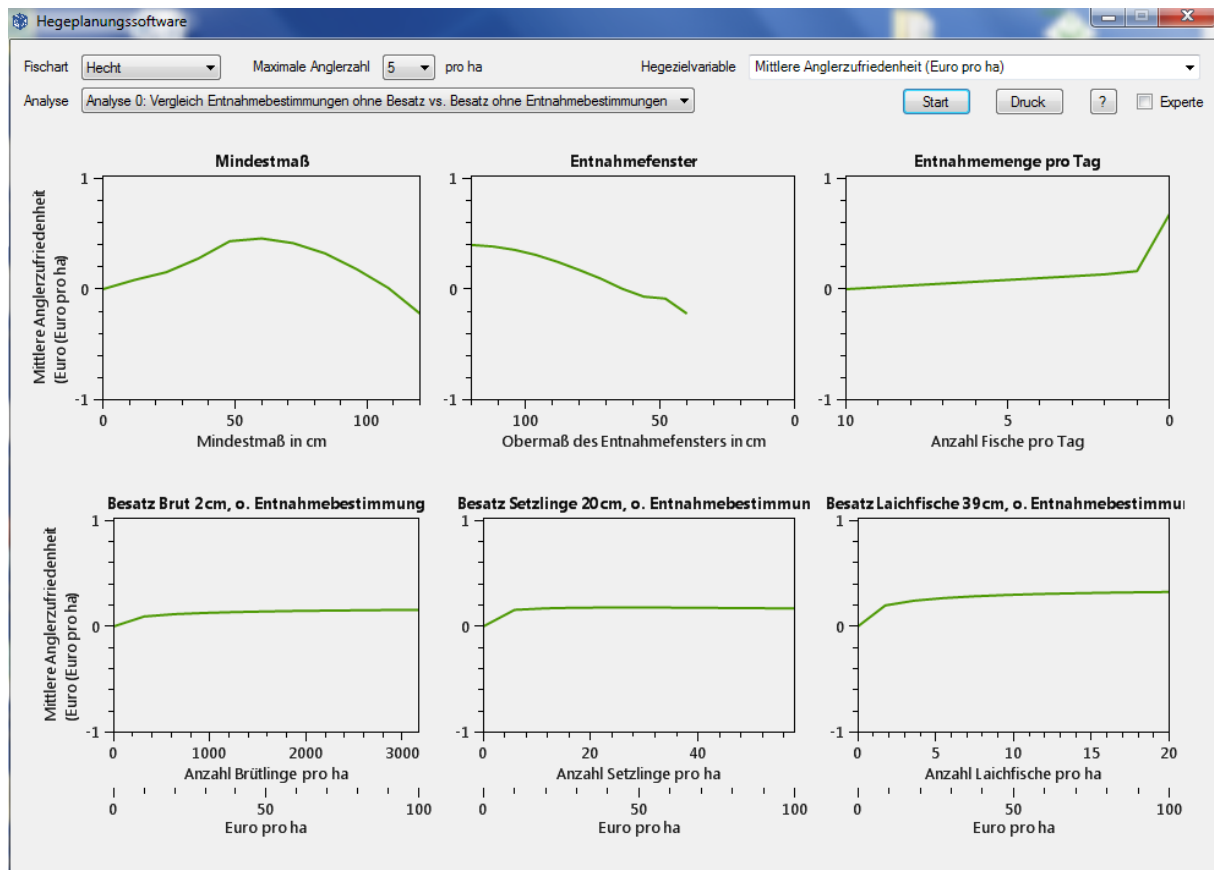
bereits sehr hoch ist. Der Bewirtschafter kann die fischereiliche Sterblichkeit natürlich auch durch die Limitierung der Anglerzahl reduzieren. Der entsprechende Effekt ist sichtbar, wenn man die maximale Anglerzahl auf 1 Angler pro ha reduziert und das Modell erneut laufen lässt (Abbildung 51). Hier sieht man schön, dass vor allem mittlere Oberschranken des Entnahmefensters gute Wirkungen auf die Fangwahrscheinlichkeit kapitaler Fische entfalten.

**Ergebnis: Aus fischereilicher Sicht sind in Bezug auf den numerischen Ertrag und die Fangwahrscheinlichkeit kapitaler Fische Entnahmefenster bessere Fangbestimmungen als Mindestmaße. In Bezug auf den numerischen Ertrag wirken auch Besatzmaßnahmen mit größeren Fischen ertragssteigernd. Tatsächlich wird der größte numerische Ertrag wenig überraschend beim Besatz sehr großer Laichhechte erreicht. Im Vergleich dazu sind isoliert eingesetzte tägliche Fangbeschränkungen wirkungslos.**

Als nächste *soziale Hegezielvariable* wird die Anglerzufriedenheit betrachtet. Hierfür wird die Hegezielvariable „Mittlere Anglerzufriedenheit (in Euro pro Angler)“ gewählt. Zur Erinnerung: die Anglerzufriedenheit bewertet alle am Gewässer herrschenden Angelbedingungen über die Anglerzufriedenheit im Gleichgewicht, also Fangaussichten (Fangrate, Fang großer Fische), Überfüllungsgrad sowie herrschende Fangbestimmungen (ein stark entnahmeorientierter Angler wird sehr strenge Fangbestimmungen ablehnen und entsprechend unzufrieden sein). Die Darstellung in Euroeinheiten heisst nicht, dass irgendwie Lizenzgebühren oder Ähnliches erhoben werden. Statt dessen ist Berechnung der Anglerzufriedenheit in Euro ein Trick, um später Nettonutzenanalysen anstellen zu können (Gegenüberstellung von tatsächlichen Kosten der Hege in Bezug auf die erreichte Anglerzufriedenheit).



**Abbildung 51** Simulationsergebnisse für die Effekte der Entnahmebeschränkungen Mindestmaß, Entnahmefenster und tägliche Entnahmebegrenzungen sowie Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen auf die Wahrscheinlichkeit des Fangs kapitaler Hechte > 100 cm bei einem Anglerdruck von 1 Angler pro ha.

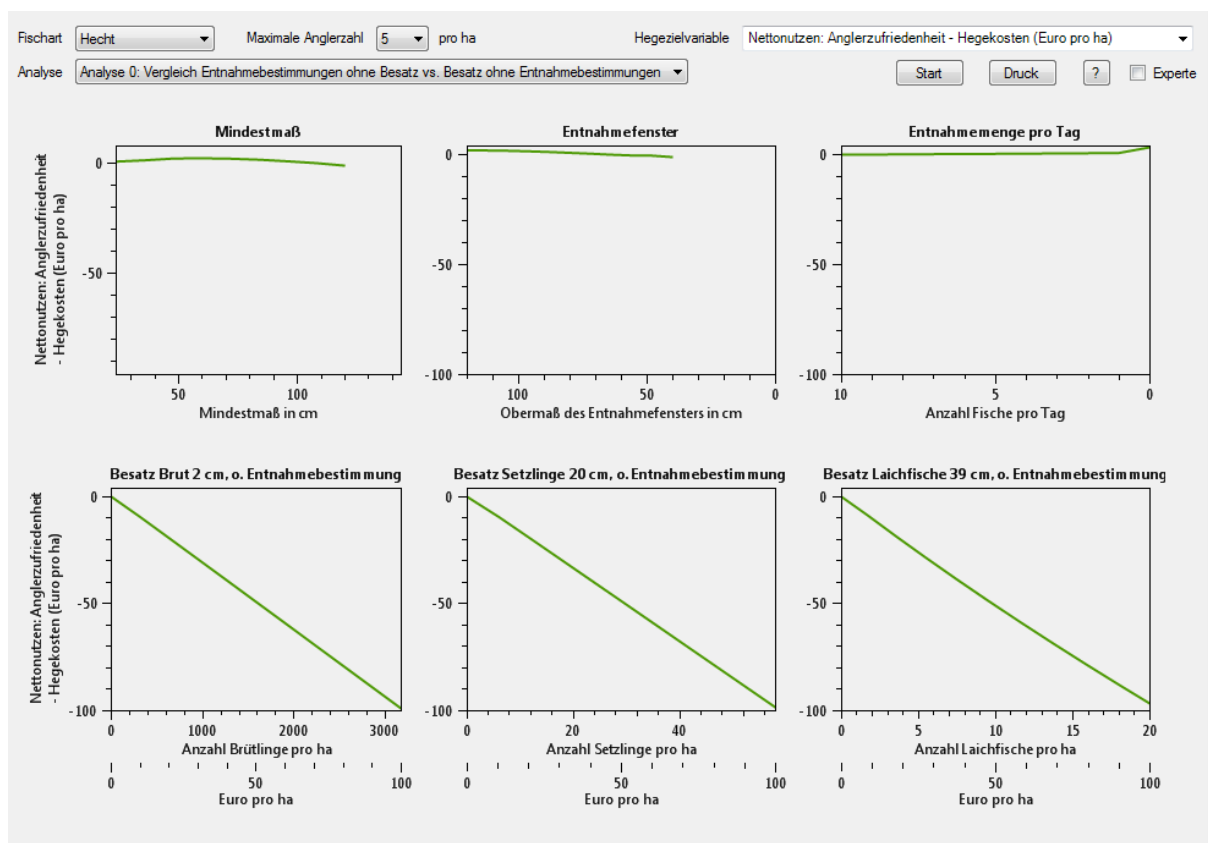


**Abbildung 52** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der mittleren Anglerzufriedenheit (Euro pro ha) bei Mindestmaß, Entnahmefenster und täglicher Entnahmebegrenzung sowie Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen beim Hecht.

Die höchste mittlere Anglerzufriedenheit wird bei einem mittleren Mindestmaß, einer hohen Obergrenze des Entnahmefensters (d. h. Liberalisierung der Entnahme) oder einer sehr restriktiven Entnahmebegrenzung von <1 Hecht pro Angeltag erzielt (z. B. umsetzbar über eine jährliche Entnahmebegrenzung, Abbildung 52). Hingegen ist die Anglerzufriedenheit bei Besatz mit Brut, Setzlingen und auch mit Laichhechten geringer als einer Bewirtschaftung über angemessen gewählte längenbasierte Schonbestimmungen.

**Ergebnis: Hechtbesatz macht Angler nicht glücklicher als eine Hege über moderate Schonbestimmungen, die einen Kompromiss zwischen Schutz und Nutzung (Entnahme) erlauben. Entnahmefenster und Mindestmaße können – richtig gewählt – ähnlich zufriedene Angler hervorbringen.**

Nun wird als letzte Hegezielvariable beim Hechtbeispiel eine *ökonomische Hegezielvariable* gewählt und der Nettonutzen [Anglerzufriedenheit – Hegekosten (Euro pro ha)] betrachtet (Abbildung 53). Da die Implementierung von Entnahmebestimmungen nicht mit monetären Kosten verbunden ist, ist der Nettonutzen über weite Längenbereiche (Mindestmaß und Entnahmefenster) oder Entnahmebegrenzungen neutral oder positiv. Für Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen hingegen sinkt der Nettonutzen mit steigenden Besatzzahlen, was sich aus der geringen Anglerzufriedenheit und den hohen Besatzkosten erklärt. In einer rein auf ökonomische Gesichtspunkte ausgerichteten Hege ist der Besatz mit Hechten also nicht ratsam und Entnahmebestimmungen als Hegeinstrumente vorzuziehen.



**Abbildung 53** Simulationsergebnisse zur Ermittlung des Nettonutzens (Euro pro ha) bei Mindestmaß, Entnahmefenster und täglicher Entnahmebegrenzung sowie Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen beim Hecht.

## Abschlussbewertung

Die gerade durchgeführten Simulationen führen zu Ergebnissen (3. Schritt in Abbildung 47), die nun in den nächsten beiden Schritten der lernfähigen Hege und Pflege münden: der Abwägung von Für und Wider und die finale Entscheidung für ein Vorgehen (Abbildung 54). Wir haben es also mit einer Abschlussbewertung im Rahmen der Umsetzungsplanung (vgl. Kapitel 2) zu tun.



**Abbildung 54** Darstellung der Schritte fünf und sechs der lernfähigen Hege und Pflege (in rot), die die Abschlussbewertung der durchgeführten Simulationen und die Entscheidung für ein Vorgehen umfassen.

In den dargestellten Szenarien wurde deutlich, dass die favorisierte Hegemaßnahme von den Hegezielen und den damit verbundenen Bewertungsmaßstäben abhängig ist. So eignete sich z. B. der Besatz mit Laichfischen im ersten Szenario zum Erreichen des ökologischen Hegeziels einer hohen Abundanz von Laichfischen oder auch im zweiten Szenario zum Erreichen eines hohen numerischen Ertrags, wohingegen der Besatz mit Laichfischen zum Erreichen anderer sozialer und ökonomischer Hegeziele nur bedingt geeignet oder ungeeignet war. Mittlere und

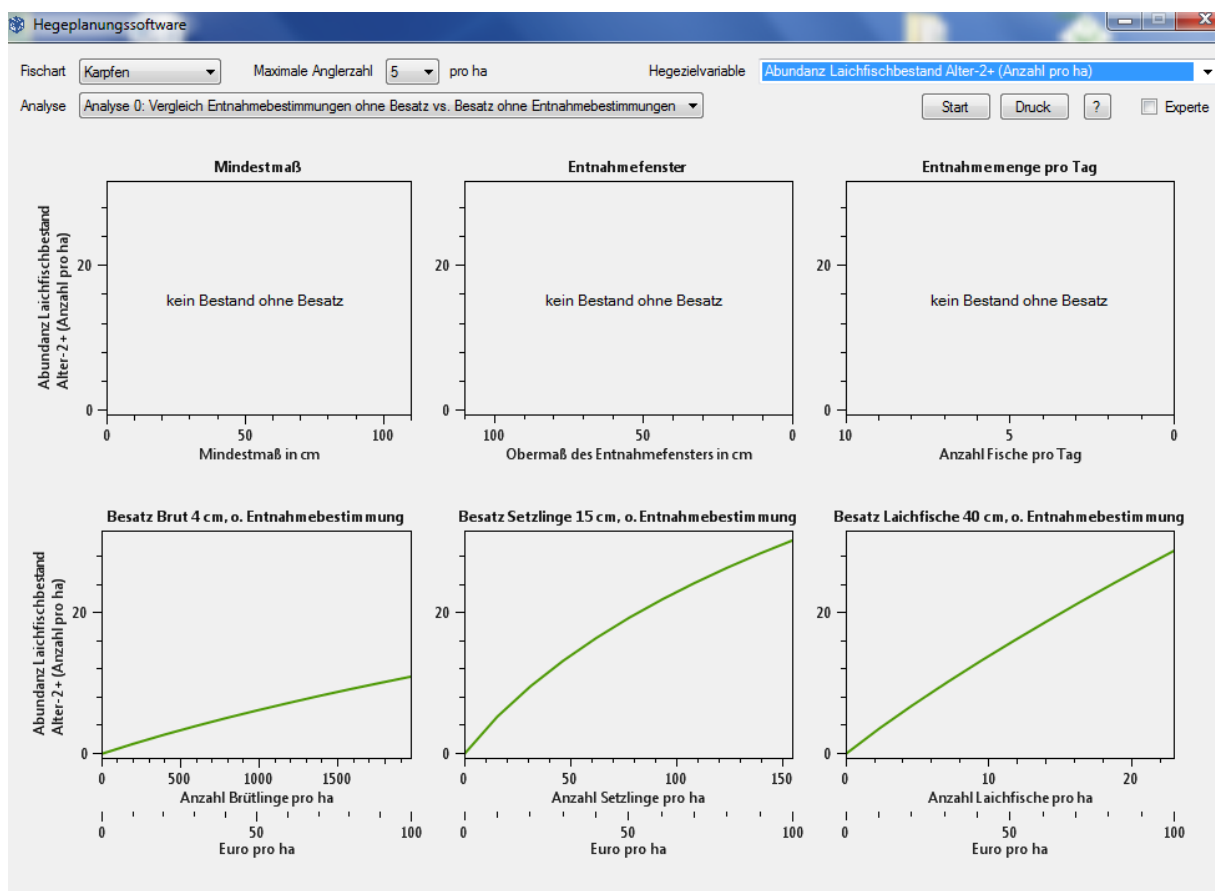
hohe Mindestmaße wurden als beste Maßnahmen im ökologischen Szenario identifiziert, wohingegen Entnahmefenster etwas bessere fischereiliche (Fänge) und ähnliche soziale Ergebnisse produzierten wie Mindestmaße. Tägliche Entnahmebeschränkungen wurden isoliert von anderen Maßnahmen als wenig erfolgversprechend identifiziert. Als weitere Möglichkeit der Hege wurde die Limitierung der Anglerzahl bei der Fangwahrscheinlichkeit kapitaler Fische als erfolgversprechend identifiziert. Aus den Analysen kann geschlussfolgert werden, dass bei der Bewirtschaftung des Hechts unter rekrutierenden Bedingungen Schonmaße und die Kontrolle des Aufwands deutlich günstigere Hegevorgehen darstellen sollten als Fischbesatz. Im Rahmen der Hege und Pflege sollte daher besonders wert darauf gelegt werden, in praktischen Versuchen in den Vereinsgewässern die relative Wirksamkeit von Mindestmaßen und Entnahmefenstern mit und ohne täglichen Fangbeschränkungen sowie die relative Wirksamkeit von Aufwandsbeschränkungen im Vergleich zur Hege über Schonmaße ohne Aufwandslimitierungen zu untersuchen, da diese Kombination zum Teil ähnliche Wirkungen zeigten und die Überlegenheit der einen über die andere Vorgehensweise unbedingt lokal zu überprüfen ist. Aus diesen Überlegungen erfolgt nun die Entscheidung, welche Hegevorgehen umgesetzt werden (Abbildung 54). Daran schließt sich natürlich die Erfolgskontrolle an (Kapitel 2).

Die hier am Beispiel des Hechts getroffenen Aussagen treffen mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf andere reproduzierende Arten wie Zander, Bachforelle oder Weissfische (Plötze, Blei) zu. Der Anwender kann diese Aussage durch entsprechende Simulationen überprüfen. Wer sich für die Wirkung kombinierter Hegemaßnahmen interessiert, kann auf die Analysen 1 bis 6 zurückgreifen.

## **Karpfen**

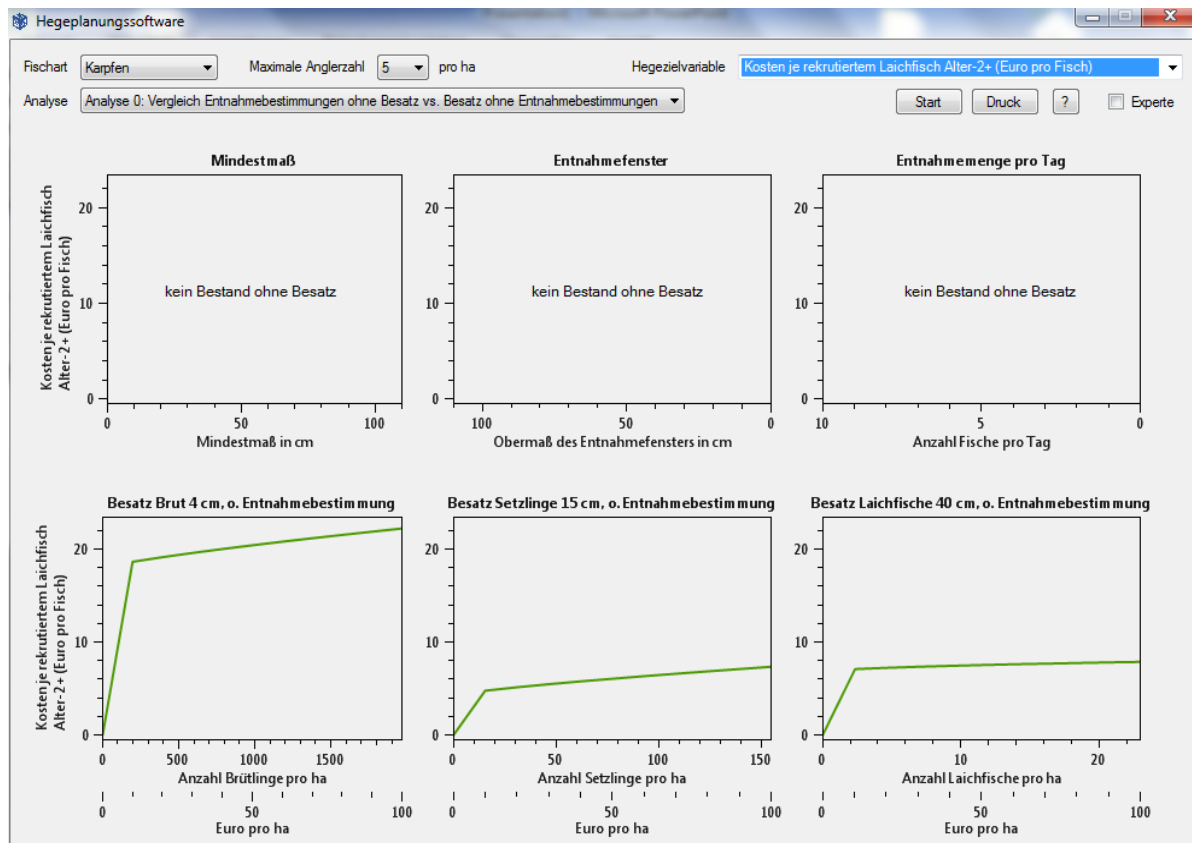
Im zweiten Beispiel soll anhand von Karpfen zuerst die Effektivität und Wirtschaftlichkeit des Besatzes einer im Zielgewässer nicht natürlich rekrutierenden Art betrachtet werden (Anmerkung: es gibt immer mehr Belege für natürliches Aufkommen von Karpfen auch in heimischen Gewässern, allerdings ist das Aufkommen sporadisch und nicht flächendeckend, im Modell wird angenommen, dass der Karpfen nicht natürlich aufkommt). Erneut werden verschiedene Hegezielvariablen vergliche. Für die Betrachtung der Effektivität und

Wirtschaftlichkeit wird wie beim Hecht zunächst Analyse 0 und ein mittlerer Angeldruck von 5 Anglern pro ha gewählt. Als Hegezielvariable wird zunächst die Abundanz der Laichfische [Abundanz Laichfischbestand Alter-2+ (Anzahl pro ha)] simuliert und anschließend die Kosten pro Rekrut berechnet [Kosten pro rekrutiertem Laichfisch Alter-2+ (Euro pro Fisch)]. Es ist zu bemerken, dass der Begriff „Laichfische“ bei nicht rekrutierenden Arten etwas irreführend ist und als entnahmefähige Adultfische interpretiert werden sollte, da in Deutschland auch für Karpfen gesetzliche Mindestmaße gelten, die zu einer Unterscheidung zwischen nicht entnahmefähigen (Jung)Fischen und entnahmefähigen (Adult) Fischen führen.



**Abbildung 55** Abundanz adulter, entnahmefähiger (Laich)Karpfen (Anzahl pro ha) beim Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen.





**Abbildung 56 Kosten pro rekrutiertem adulten Karpfen beim Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen.**

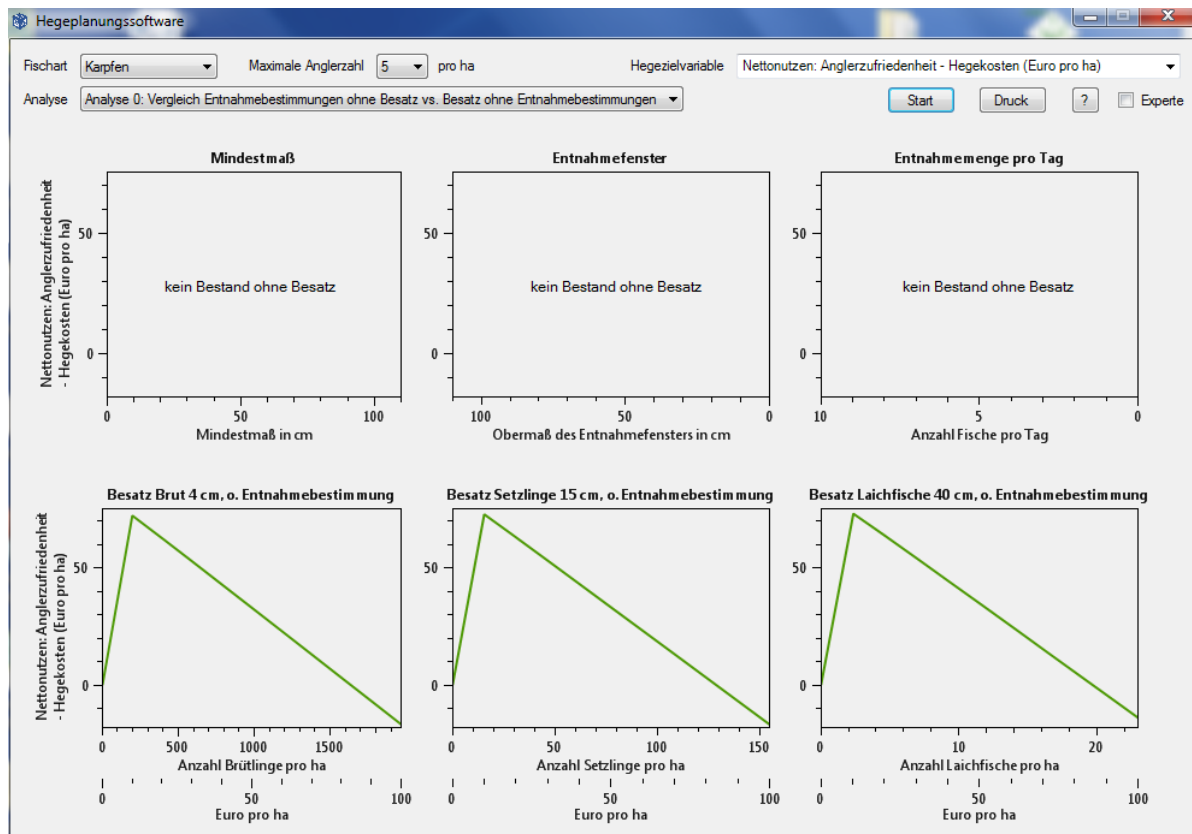
Wie bereits unter 6.3 erwähnt, werden für nicht natürlich im Gewässer reproduzierende Fischarten wie den Karpfen bei „Nullbesatz“ und einer ausschließlichen Hege über Mindestmaße und andere Schonbestimmungen keine Abbildungen generiert (Abbildung 55 und Abbildung 56, obere Reihe), da es ohne (jährlichen) Besatz langfristig keinen Bestand dieser Fischarten im Gewässer gibt. Daher gibt es keine Alternativen zum Besatz, sollten diese Arten aus fischereilichen Gründen im Gewässer erhalten werden.

Die Wirkung von Besatz kann folgendermaßen zusammengefasst werden: Bei gleichen Besatzkosten je ha kann eine höhere Anzahl an Brütlingen besetzt werden verglichen mit Setzlingen oder adulten Fischen (Abbildung 55, untere Reihe). Aufgrund der hohen größenabhängigen natürlichen Sterblichkeit von Brut (über Fraßverluste durch Raubdruck von Räubern wie Hechten) verbleibt jedoch nur ein kleiner Teil der als Brut besetzten Karpfen im Bestand. Entsprechend steigert Karpfenbrutbesatz den Bestand entnahmefähiger „Laich“karpfen weniger als das beim Besatz größerer Lebensstadien der Fall ist (Abbildung 55, untere Reihe). Bei

gleichem Kostenansatz führt Besatz mit Setzlingen und adulten Fischen zu ähnlich hohen Abundanzen von adulten Karpfen (Abbildung 55). Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in den Kosten pro Rekrut wieder (Abbildung 56). Durch die hohe Sterblichkeit während des Hereinwachsens in den Bestand sind die Kosten pro rekrutiertem adulten, entnahmefähigen Fisch bei Besatz von Karpfenbrut deutlich höher als bei Besatz mit Setzlingen (ca. 15 cm) oder adulten Fischen (ca. 40 cm). Im Vergleich dazu sind die Kosten je Rekrut für Besatz mit Setzlingen und adulten Fischen in diesem Beispiel ähnlich (Abbildung 56). Bemerkenswert ist, dass vorliegende Simulation eine in der Praxis weitverbreite Fehlannahme revidiert – der Besatz von Jungfischen, vor allem von Fischbrut, ist in der Regel weniger kosteneffizient in Bezug auf die daraus erwachsenen adulten Bestände als der Besatz größerer Fische. Intuitiv handeln viele Angelvereine bereits nach diesem Prinzip, weil in der Praxis verstärkt auch größere Satzische und nicht etwa Fischbrut zur Anwendung kommt.

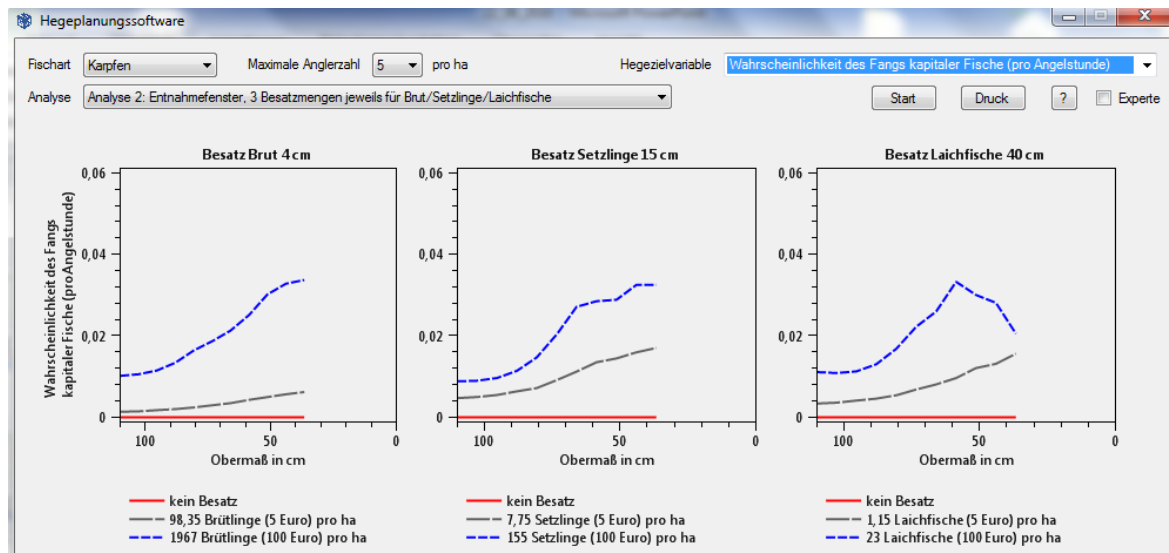
An dieser Stelle wird dem Anwender der Software nahegelegt, bei der finalen Entscheidung über die optimale Karpfengröße bei Besatz lokale Gegebenheiten in die Besatzentscheidungen mit einfließen zu lassen, die von der Hegeplanungssoftware nicht berücksichtigt werden können. So kann beispielsweise starkes Kormoranaufkommen zu einer besonders hohen Sterblichkeit von Setzlingen führen, die höher ist, als in der größenabhängigen Sterblichkeit im Modell vorgesehen. Das würde dafür sprechen, kormoranresistente Satzkarpen den Vorzug zu geben, selbst wenn das Modell ähnliche Ergebnisse beim Besatz mit Setzlingen von ca. 15 cm Totallänge und adulten Karpfen von ca. 40 cm Totallänge verspricht. Die Hegeplanungssoftware kann hier nur Leitlinien aufzeigen, die lokale Gewässerkenntnis und die damit verbundene Bewertung der Modellszenarien aber nicht ersetzen.

Betrachtet man nun den Nettonutzen [Anglerzufriedenheit – Hegekosten (Euro pro ha)], so wird deutlich, dass dieser bei geringem Karpfenbesatz maximiert wird (Abbildung 57). Hohe Karpfenbesatzmengen resultieren jedoch in einem negativen Nettonutzen.



**Abbildung 57** Nettonutzen für den Besatz mit Brut, Setzlingen und Laichfischen beim Karpfen.

Schauen wir uns nun eine *soziale Hegezielvariable* an. Dazu wählen wir beispielhaft die Analyse 2 (Entnahmefenster, 3 Besatzmengen jeweils für Brut, Setzlinge und Laichfische). Als Hegezielvariable wird die Wahrscheinlichkeit für den Fang kapitaler Karpfen pro Angelstunde simuliert.



**Abbildung 58**     **Wahrscheinlichkeit des Fangs kapitaler Karpfen bei zwei verschiedenen Besatzdichten sowie „Nullbesatz“.**

Die Wahrscheinlichkeit des Fanges kapitaler Karpfens über 80 cm steigt mit der Besatzmenge an, vor allem beim Brut- und Setzlingsbesatz (Abbildung 58). Mit der Liberalisierung der Entnahme (steigende Obermaße für die Entnahmefenster) reduziert sich die Zahl kapitaler Fische im Bestand deutlich durch Überfischung (Abbildung 58). Sehr hohe Laichkarpfenmengen bei eingeschränkter Entnahme (enges Fangfenster) reduzieren ebenfalls die Zahl kapitaler Karpfen im Bestand über Wachstumsdepressionseffekte durch die limitierte Nahrung. Die zunächst steigende Wahrscheinlichkeit für den Fang eines kapitalen Fisches mit reduziertem Obermaß liegt an der stärkeren Schonung der grossen Fische. Wenn allerdings überhaupt keine Entnahme einsetzt, führt die hohe Dichte an Fischen zu Nahrungsknappheit, die das Wachstum beschränkt und die Zahl kapitaler Tiere auch bei hohen Laichfischbesatzmengen reduziert sich wieder. Hier haben wir es mit einem Beispiel von Überbesatz bei ansonsten geringer fischereilicher Sterblichkeit durch das sehr enge Entnahmefenster zu tun.

## Abschlussbewertung

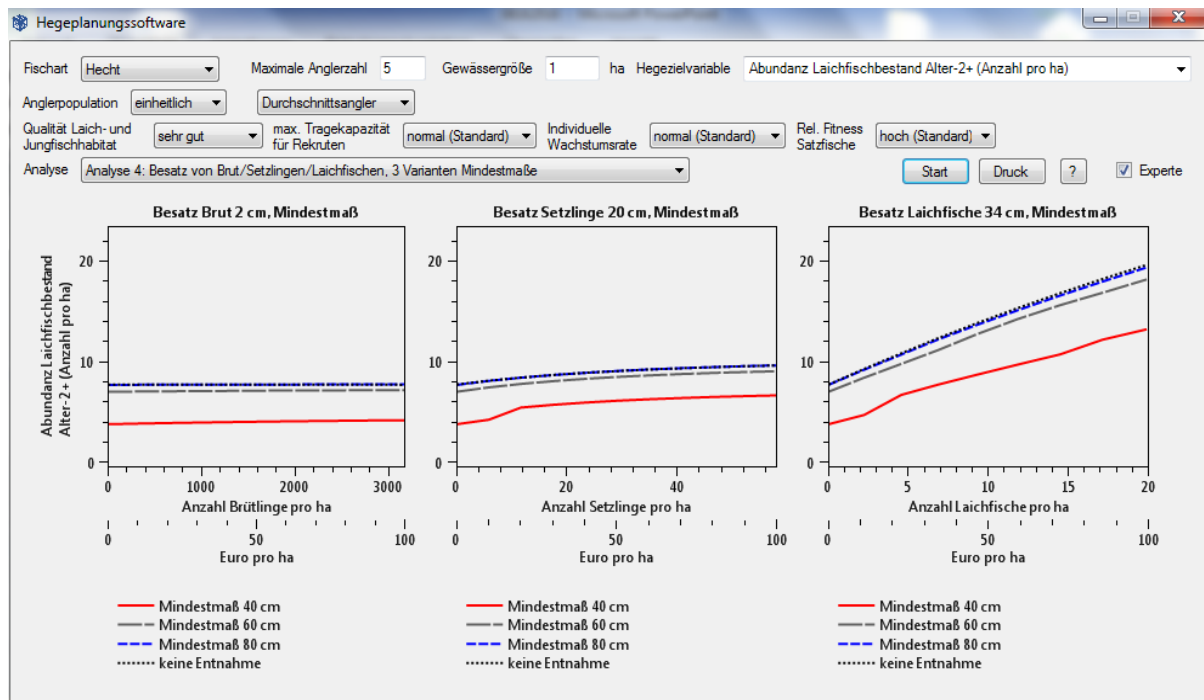
Der Besatz mit Karpfen ist aus fischereilicher Sicht alternativlos und insbesondere bei größeren Karpfen kosteneffizient. Zu hohe Besatzmengen führen schnell zu negativen Nettonutzen und sollten entsprechend aus ökonomischer Sicht vermieden werden. Hohe Besatzmengen gekoppelt mit Schonbestimmungen steigern die

Wahrscheinlichkeit des Fangs kapitaler Fische, jedoch muss Überbesatz vermieden werden, um das Wachstumspotential zu erhalten.

### **6.4.2 Expertenmodus**

#### **Hecht**

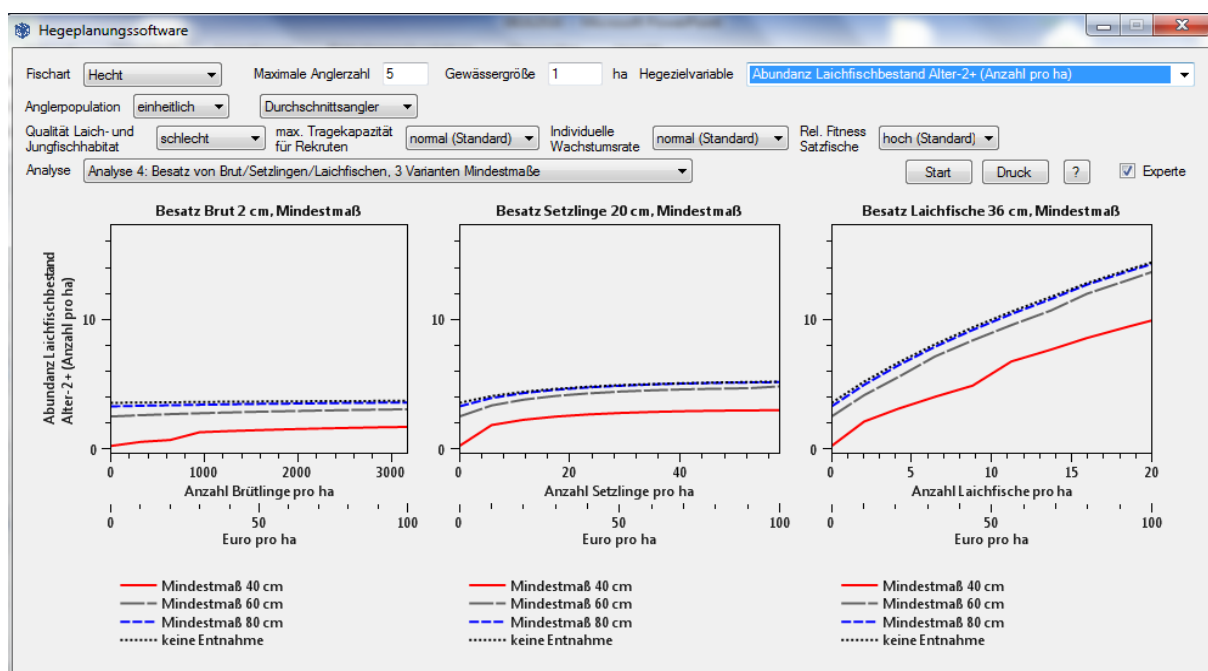
Abschließend sollen anhand des Expertenmodus einige weitere Beispiele zur Anwendbarkeit der Hegeplanungssoftware vorgestellt werden. Im Expertenmodus wird dem Anwender insbesondere ermöglicht, alternative Zustände der Gewässer im Sinne der Qualität der Jungfischlebensräume und der Tragekapazität sowie konkrete Angleraufkommen und Zusammensetzungen der Anglerschaft im lokalen Verein zu berücksichtigen. Im folgenden Szenario soll 1) ein Gewässer mit schlechter und 2) sehr guter Qualität des Laich- und Jungfischhabitats hinsichtlich der Erfolgsaussichten von Besatz unter drei verschiedenen Mindestmaßen verglichen werden, damit auch die weiterführenden Kombinationsmöglichkeiten der Analysen 1 bis 6 im Detail gewürdigt werden. Konkret steht die Frage im Raum, ob die relative Wirksamkeit von Besatz mit abnehmender Laich- und Jungfischqualität steigt. Obwohl das theoretisch erwartbar ist, zeigen empirische Daten von Besatzfisch nur geringe Effekte der Habitatqualität auf die Wirksamkeit, es sei denn, es findet gar keine natürliche Verlaichung statt (Arlinghaus et al. 2015). Es soll geprüft werden, ob dieses empirische Ergebnis im Modell abgebildet wird. Es wird beispielhaft Analyse 4 gewählt und als Hegezielvariable die Abundanz Laichfischbestand Alter-2+ (Anzahl pro ha) vorgegeben. Simuliert wird weiter eine einheitlich zusammengesetzte Anglerpopulation, die aus sogenannten Durchschnittsanglern besteht. Der Angeldruck ist erneut maximal 5 Anglern pro ha (der Anwender kann hier aber auch ganz konkrete Anglerzahlen und Gewässergrößen vorsehen, die lokalen Bedingungen entsprechen).



**Abbildung 59**     **Simulationsergebnisse zur Ermittlung der Abundanz von Laichfischen (Anzahl pro ha) des Hechts bei sehr guter Qualität des Laich- und Jungfischhabitats in Abhängigkeit verschiedener Besatzintensitäten von Brut, Setzlingen Laichfischen in Kombination mit 3 verschiedenen Mindestmaßen sowie einer Komplettschonung des Bestands.**

In Abbildung 48 und Abbildung 60, die auf Simulationen mit sehr guter Qualität der Laich- und Jungfischhabitats basieren, wurde ein maximaler Laichhechtbestand bei hohen Mindestmaßen von ca. 5 Hechte pro ha prognostiziert. In einem Gewässer mit schlechter Qualität des Laich- und Jungfischhabitats und hohen Mindestmaßen (z. B. 80 cm) wird hingegen maximal ein Bestand von 2 Hechten pro ha erreicht (Abbildung 59). Da auf dem Gewässer immer noch maximal 5 Durchschnittsangler pro ha angeln, ist bei einem niedrigen Mindestmaß von 40 cm der natürliche Bestand an Laichhechten im befischten Zustand noch viel geringer und maximal 1 Hecht pro ha (Abbildung 59). Dies zeigt die Wirkung der Variable „Qualität des Laich- und Jungfischhabitats“, die gemäß den Erläuterungen in Kapitel 6.3 den Grad der natürlichen juvenilen Sterblichkeit darstellt, eindrucksvoll auf. Entsprechend steigt bei Besatz mit Brut und Setzlingen zunächst die Abundanz der Laichhechte, aber das auch nur vergleichsweise schwach (Abbildung 59). Insbesondere führen in einem degradierten Gewässer bereits geringe Besatzdichten zu einem Erreichen der (gegenüber dem natürlichen Zustand eingeschränkten) Tragekapazität, d. h. selbst hohen Besatzdichten mit Brut und Setzlingen führen aufgrund fehlender Ressourcen zu keinem weiteren Anstieg der Laichhechtabundanz (Abbildung 59 linke

Abbildungen). Die von Junghechtbesatz erwartbaren Adulthechtbestände sind daher auch in degradierten Gewässern stets geringer als die, die durch eine Erhöhung der Mindestmaße auf 60 oder 80 cm zu erwarten sind (Abbildung 59). Der Besatz mit Laichhechten steigert in Kombination mit Mindestmaßen die Laichhechtabundanz stärker, da diese bereits die Flaschenhalse im juvenilen Stadium durchlebt haben (Abbildung 59/60). Der Anstieg der Laichhechtabundanz ist aber kein Effekt, der auf gesteigerte Reproduktion hinweist, sondern die besetzten Laichfische stellen entsprechend unmittelbar einen gesteigerten Bestand, der abfischbar ist. Dieses Szenario entspricht wie bereits zuvor für sehr gute Laichqualitäten ausgeführt im Grunde einer Put-and-Take Fischerei auf Hecht.



**Abbildung 60** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der Abundanz von Laichfischen (Anzahl pro ha) des Hechts bei schlechter Qualität des Laich- und Jungfischhabitats in Abhängigkeit verschiedener Besatzintensitäten von Brut, Setzlingen Laichfischen in Kombination mit 3 verschiedenen Mindestmaßen sowie einer Komplettschonung des Bestands.

Zum Vergleich: Bei sehr guter Qualität des Laich- und Jungfischhabitats (Abbildung 60) ist der natürliche Bestand an Laichhechten auf einem deutlich höheren Niveau (ca. 9 Hechte pro ha, wenn keine Entnahme erfolgt) als in einem Gewässer mit schlechter Laich- und Jungfischhabitatqualität (ca. 1 Hecht pro ha) (Abbildung 59). Von besonderer Bedeutung ist nun der qualitative Vergleich der relativen Effekte des Brut- und Junghechtbesatzes in Gewässern mit sehr guter (Abbildung 60) und mit schlechter (Abbildung 59) Habitatqualität. Diese ist qualitativ identisch, das heisst, im Einklang mit den praktischen Besatzexperimenten zu Hechten aus dem

Besatzfischprojekt (Arlinghaus et al. 2015) steigert Junghechtbesatz die Bestände adulter Fische nicht oder nur marginal, und die relative Wirksamkeit von Mindestmaßerhöhungen sind deutlich höher. Lediglich der Besatz mit Laichhechten ist sowohl bei guten wie bei schlechten Lebensraumbedingungen geeignet, den Adultfischbestand signifikant zu erhöhen. Absolut ist der Steigerungseffekt bei einer sehr guten Habitatqualität deutlich größer (von 9 auf 19 Laichhechten pro ha ohne Entnahme, Abbildung 60) als bei einer schlechten (von 1 auf 12 Laichhechte pro ha ohne Entnahme, Abbildung 59). Relativ gesehen ist der Steigerungseffekt durch Laichhechtbesatz bei einer schlechten Habitatqualität aber deutlich höher (12-fache Erhöhung) verglichen mit der Situation bei einer sehr guten Habitatqualität (ca. 2 fache Erhöhung von 9 auf 19 Hechten pro Hektar). Insgesamt würde in diesem Beispiel aber eine Aufwertung des Laich- und Jungfischhabitats (z. B. durch Schaffung von Einständen) zu ähnlichen Bestandserhöhungen führen (von 1 auf 9 Hechte pro ha, ohne Entnahme) wie ein hochintensiver Laichhechtbesatz in schlechten Habitaten (von 1 auf 12 Hechte pro ha), ohne dass dem Verein jedes Jahr Besatzkosten entstehen würden, um diese Bestandshöhen langfristig absichern zu können. Ökonomisch gesehen sind die Nettonutzen des Besatzes von Hechten stets negativ sowohl bei sehr guter wie bei schlechter Habitatqualität (Abbildung 61, Abbildung 62). Erhöhte Mindestmaße erhöhen sowohl bei schlechter als auch bei sehr guter Laich- und Jungfischhabitatqualität die Abundanz der Laichhechte, jedoch verringert sich die relative Zunahme der Abundanzen mit steigenden Mindestmaßen mit abnehmender Laichqualität.



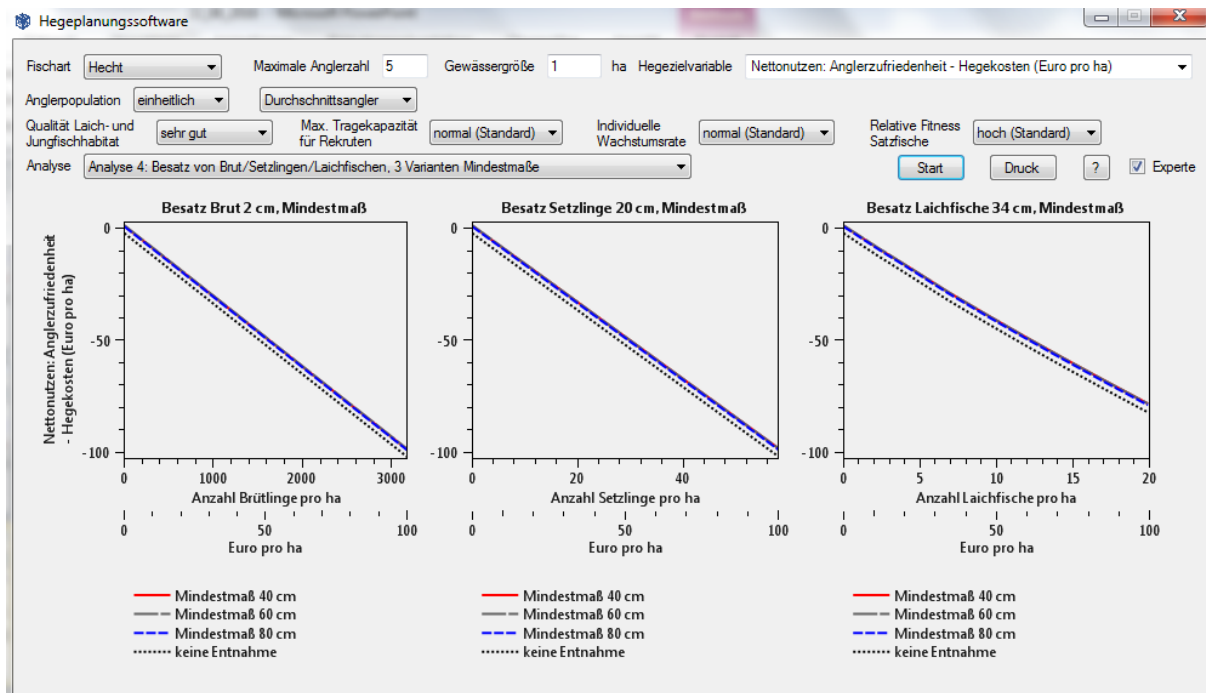


Abbildung 61 Nettonutzen des Besatzes von Hechten bei sehr guter Habitatqualität.

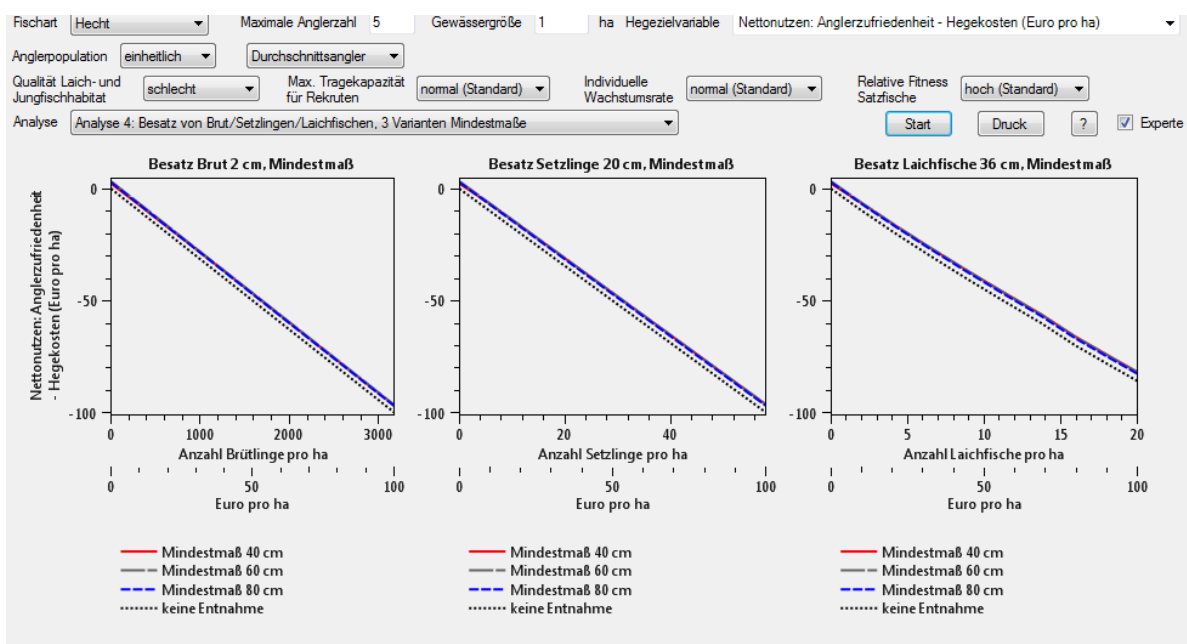
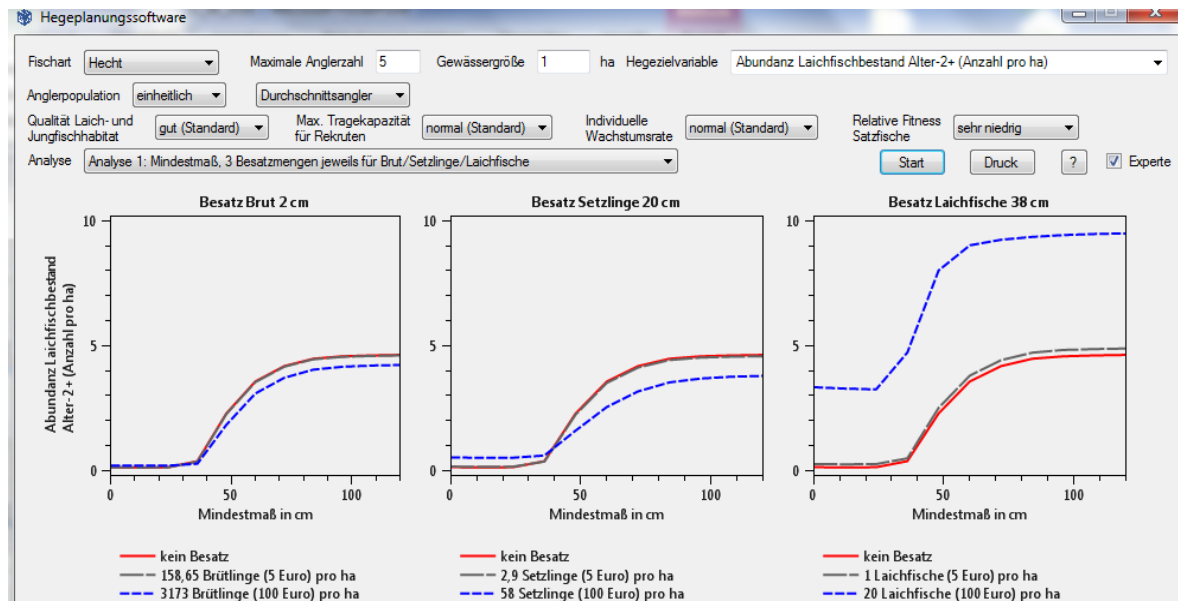


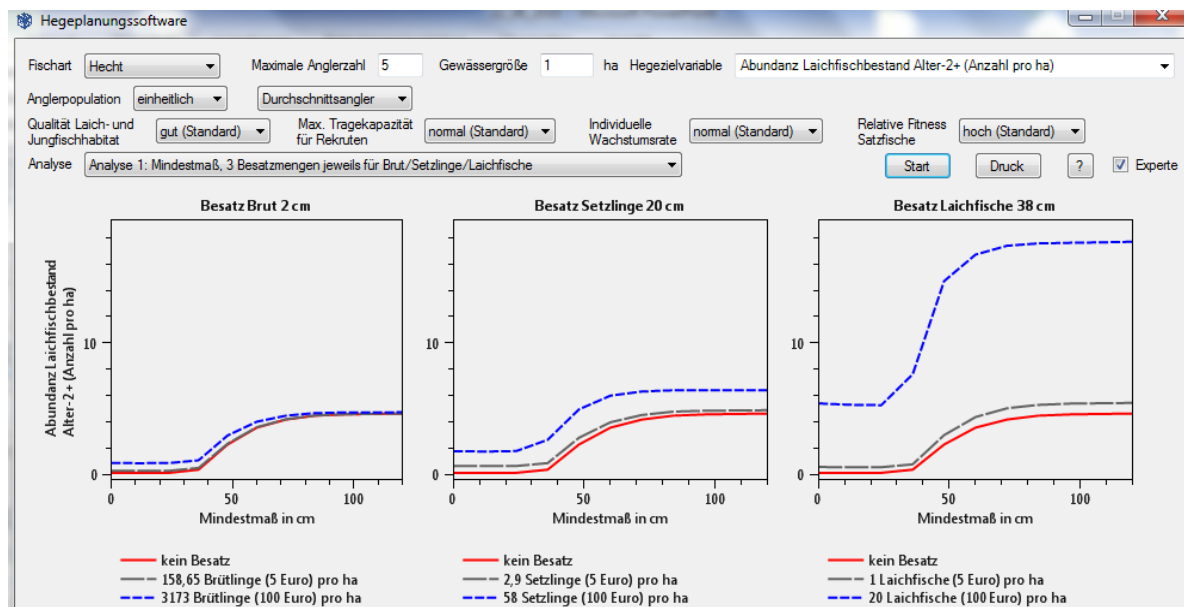
Abbildung 62 Nettonutzen des Besatzes von Hechten bei schlechter Habitatqualität.

In einem weiteren Beispiel sollen die Unterschiede in den Wirkungen von Besatz bei Hechten mit hoher und sehr niedriger relativer Fitness der Satzische simuliert werden. Hierfür wird Analyse 1 (Mindestmaß, 3 Besatzmengen jeweils für Brut, Setzlinge und Laichfische) verwendet und als Hegezielvariable dient wiederum die

Abundanz der Laichhechte im Alter von 2 Jahren oder älter. Für alle anderen Einstellungen werden die Standardeinstellungen verwendet.



**Abbildung 63** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der Abundanz von Laichfischen (Anzahl pro ha) des Hechts bei sehr niedriger Fitness in Abhängigkeit verschiedener Mindestmaße von Brut, Setzlingen und Laichfischen in Kombination mit 2 verschiedenen Besatzdichten sowie „Nullbesatz“.



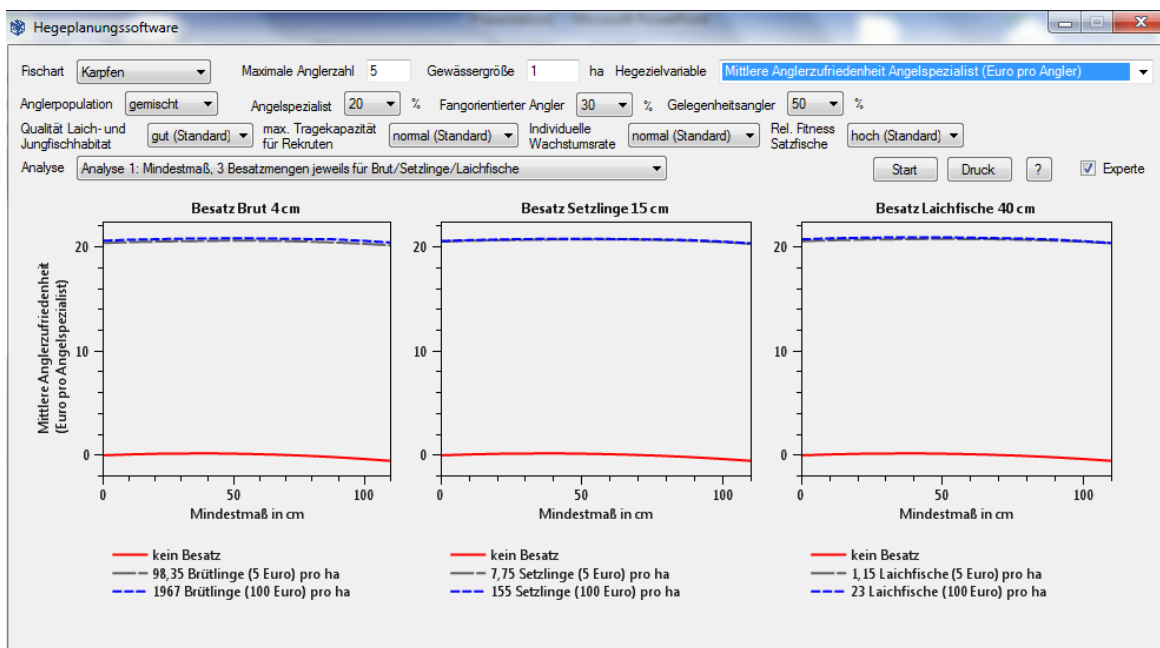
**Abbildung 64** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der Abundanz von Laichfischen (Anzahl pro ha) des Hechts bei hoher Fitness in Abhängigkeit verschiedener Mindestmaße von Brut, Setzlingen und Laichfischen in Kombination mit 2 verschiedenen Besatzdichten sowie „Nullbesatz“.

Der Besatz einer hohen Anzahl von Brut und Setzlingen mit sehr niedriger relativer Fitness der Satzfisher führt zu einer gegenüber einer ausschließlichen Hege über Mindestmaße reduzierten Abundanz von Laichhechten, während bei geringen Besatzmengen von Brut und Junghechten genauso viele Laichfische entstehen wie bei Mindestmaßen ohne Besatz der Fall (Abbildung 63). Hingegen führt der Besatz einer hohen Anzahl von Laichhechten auch bei sehr geringer Fitness zu einer Steigerung der Abundanz von Laichhechte (Abbildung 63). Der Besatz von Brut mit hoher relativer Fitness resultiert in keiner nennenswerten Veränderung der Abundanz von Laichfischen, während der Besatz von fitten Setzlingen und Laichfischen zu einem Anstieg der Laichhechtabundanz beiträgt (Abbildung 64), insbesondere bei hohen Laichfischdichten. (Abbildung 65). Hinsichtlich der Wirkung von Mindestmaßen auf die Abundanz von Laichfischen sind diese qualitativ ähnlich ungeachtet der relativen Fitness der Satzfisher. Ab einem Mindestmaß von 70 cm kommt es in diesem Beispiel zu keiner weiteren Bestandssteigerung, d. h. die (befischte) Tragkapazität des Gewässers ist erreicht.

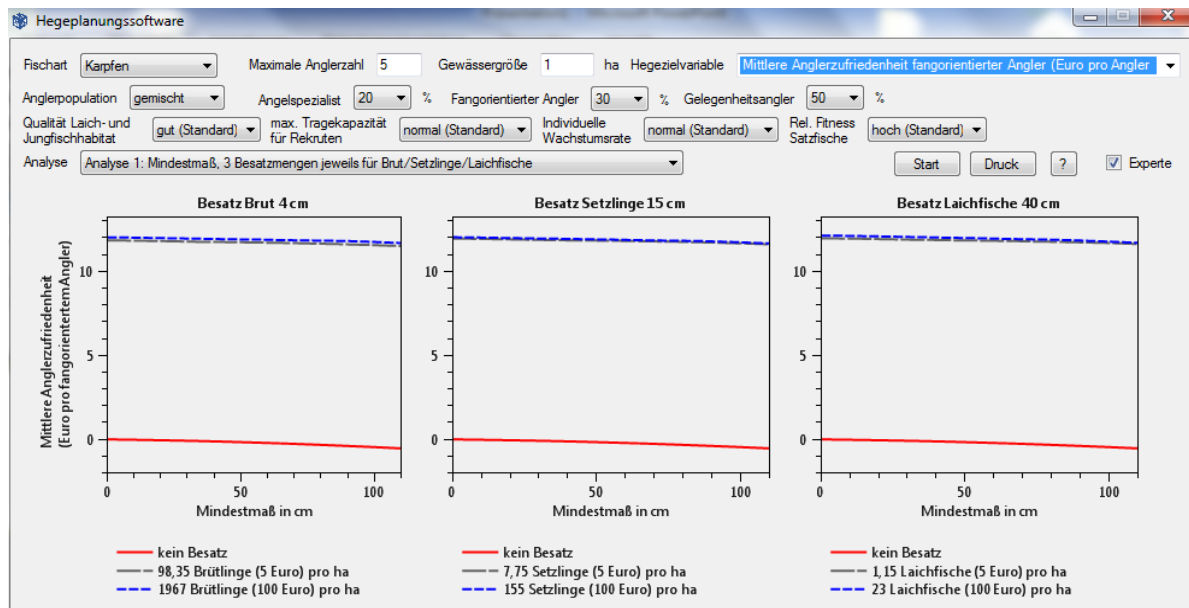
**Ergebnis: Schon geringe Fitnessdepressionen können selbst geringe Erfolgsaussichten von Besatz zunichte machen. Dieses Beispiel zeigt aus fischereilicher Sicht die Wichtigkeit der Verwendung von Satzfisher mit hoher relativer Fitness auf. Der Besatz von Fischen mit geringer Fitness, zum Beispiel Satzfisher gebietsfremder Populationen, kann hingegen selbst geringe Bestandssteigerungen durch Besatz verhindern oder überdies zu einem Rückgang der Hechtabundanz insgesamt führen, sobald sich die unfitten Fische im Besatzgewässer natürlich fortpflanzen, das aber zu einem geringen Grade tun als die Wildfische. Da im Grunde alle Satzfisher eine geringere Fitness haben im Vergleich zu Wildfischen, sollte der Anwender stets bei allen Satzfishersimulationen eine geringe Fitness der Satzfisher einstellen, gerade in natürlich reproduzierenden Beständen. Andernfalls wird die Erfolgsaussicht von Besatz überschätzt.**

## Karpfen

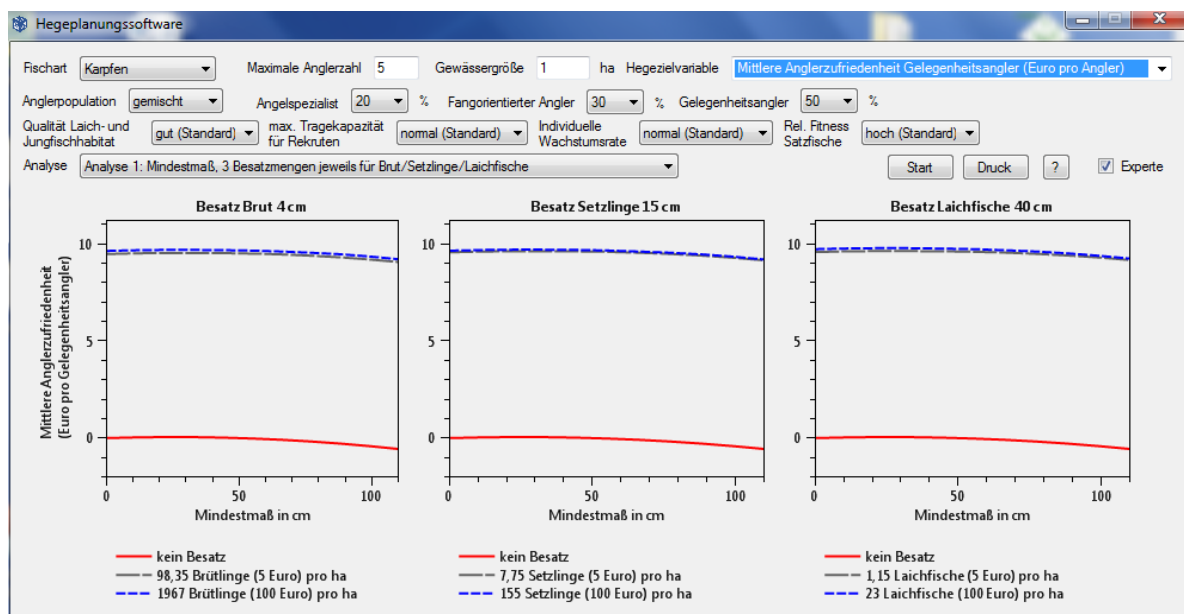
Schließlich soll am Beispiel des Karpfens im Expertenmodus dargestellt werden, wie unterschiedliche Hegevorgehen auf unterschiedliche Anglertypen wirken können. Für den Karpfen soll dazu die mittlere Anglerzufriedenheit einer gemischten Anglerpopulation in Abhängigkeit von Mindestmaßen und 3 verschiedenen Besatzdichten (inkl. Nullbesatz) modelliert werden. Hierfür wird Analyse 1 genutzt. Die simulierte Anglerpopulation besteht zu 20% aus Angelspezialisten, zu 30% aus fangorientierten Karpfengängern und zu 50% aus Gelegenheitskarpfengängern. Alle anderen Einstellungen bleiben bei den Standardeinstellungen. Als Hegezielvariable wird nacheinander die mittlere Anglerzufriedenheit Angelspezialist (Euro pro Angler), die mittlere Anglerzufriedenheit fangorientierter Angler (Euro pro Angler) und die mittlere Anglerzufriedenheit für Gelegenheitsangler (Euro pro Angler) dargestellt.



**Abbildung 65** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der mittleren Anglerzufriedenheit für Angelspezialisten (Euro pro ha) in Abhängigkeit des Mindestmaßes und 2 verschiedener Besatzdichten sowie Nullbesatz bei Karpfen.



**Abbildung 66** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der mittleren Anglerzufriedenheit für fangorientierte Karpfenangler (Euro pro ha) in Abhängigkeit des Mindestmaßes und 2 verschiedenen Besatzdichten sowie Nullbesatz.



**Abbildung 67** Simulationsergebnisse zur Ermittlung der mittleren Anglerzufriedenheit für Gelegenheitskarpfenangler (Euro pro ha) in Abhängigkeit des Mindestmaßes und 2 verschiedenen Besatzdichten sowie Nullbesatz.

Aufgrund der fehlenden natürlichen Reproduktion von Karpfen beträgt die mittlere Anglerzufriedenheit bei „Nullbesatz“ für alle Anglertypen 0 Euro, weil es ohne einen

Karpfenbestand auch keine positive Anglerzufriedenheit geben kann (Abbildung 65, Abbildung 66, Abbildung 67). Die mittlere Anglerzufriedenheit steigt bei jedem Anglertyp durch Besatz an, weil alle Angler durch Karpfenbesatz bessergestellt sind als ohne Besatz. Die Menge eingesetzter Karpfen hat fast keinen Einfluss auf die Anglerzufriedenheit – es zählt, dass überhaupt Karpfen ausgesetzt werden, nicht wie viele genau. Die Ausprägung der Mindestmaße hat auch nur geringe Effekte auf die Anglerzufriedenheit, sie nimmt aber mit steigendem Schonungsgrad (und reduzierter Möglichkeit der Mitnahme von Karpfen) tendenziell ab (Abbildung 65, Abbildung 66, Abbildung 67). Besonders deutlich wird aber der unterschiedliche „Belohnungsgrad“, den das Angeln unterschiedlichen Anglertypen stiftet. Vor allem unterscheidet sich die mittlere absolute Anglerzufriedenheit stark von Anglertyp zu ab; sie nimmt vom Angelspezialist über den fangorientiertem Angler bis zum Gelegenheitsangler deutlich in absoluten Einheiten ab (Abbildung 65, Abbildung 66, Abbildung 67): Angelspezialisten, die den Fang größerer Fische bevorzugen, profitieren also von dem Aufbau eines Karpfenbestands besonders, gefolgt von den fangorientierten Anglern. An letzter Stelle steht der Gelegenheitsangler, der zwar auch von Karpfenbesatz profitiert, aber nicht so stark wie die anderen beiden Anglertypen.

**Ergebnis: Karpfenbesatz ist alternativlos und macht alle Angler glücklicher, insbesondere profitieren die Karpfenspezialisten und die stark entnahmeorientierten Karpfenangler.**

Mit diesem Beispiel möchten wir die Vorstellung der Hegeplansoftware abschließen und dazu ermuntern, sie für die lernfähige Hege und Pflege rege einzusetzen. Die Software bietet eine hohe Flexibilität in der Wirksamkeitsanalysen. Es ist möglich, dass künftige Versionen leichte Anpassungen erfahren werden, es lohnt sich daher der regelmäßige Blick auf [www.ifishman.de](http://www.ifishman.de), wo Updates gepostet werden.

## **Danksagung**

Die Autoren danken den folgenden Personen für substantielle Beiträge zu den Inhalten dieses Skripts, der Hegeplansoftware und bei der redaktionellen Abfassung:

Andreas Mühlbradt, Eva-Maria Cyrus, Fiona Johnston, Ben Beardmore, Thilo Pagel und Daniel Hühn. Die Schrift entstand im Rahmen des Umsetzungsprojekts „Vermittlung und Umsetzung von Prinzipien guter fischereilicher Praxis zur Unterstützung einer auf Nachhaltigkeit orientierten Transformation des Angelfischereimanagements unter besonderer Berücksichtigung des Fischbesatzes (Kurtitel Besatzfisch 2.0)“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm für Sozial-ökologische Forschung (SÖF, Forschung für Nachhaltigkeit, [www.fona.de](http://www.fona.de), Förderkennzeichen 01UU1501). Frau Claudia Müller vom Projektträger DLR und Frau Buttgerit vom Forschungsverbund Berlin e.V. gebühren hohe Anerkennung und großer Dank für die stets konstruktive administrative Zusammenarbeit.

## Literaturverzeichnis

Allen, M.S., Miranda, L.E., Brock, R.E. (1998). Implications of compensatory and additive mortality to the management of selected sportfish populations. *Lakes & Reservoir Management*, 3: 67-79.

Allen, M.S., Ahrens, M., Hansen, M.J., Arlinghaus, R. (2013). Dynamic angling effort influences the value of minimum-length limits to prevent recruitment overfishing. *Fisheries Management and Ecology*, 20: 247–257.

Anderson, C.N.K., Hsieh, C.H., Sandin, S.A., Hewitt, R., Hollowed, A., Beddington, J., May, R.M., Sugihara, G. (2008). Why fishing magnifies fluctuations in fish. *Nature*, 452: 835-839.

Araki, H., Cooper, B., Blouin, M.S. (2007). Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318: 100-103.

Arlinghaus, R. (2006a). Der unterschätzte Angler: Zukunftsperspektiven für die Angelfischerei in Deutschland. Stuttgart, Kosmos.

Arlinghaus, R. (2014). Eine kritische Auseinandersetzung mit der Darstellung tierschutzwidriger anglerischer Praktiken ohne Verwertungsabsicht in den Massenmedien. *Fischer & Teichwirt*, 65: 12-17.

Arlinghaus, R., Cooke, S.J., Lyman, J., Policansky, D., Schwab, A., Suski, C., Sutton, S.G., Thorstad, E.B. (2007). Understanding the complexity of catch-and-release in recreational fishing: an integrative synthesis of global knowledge from historical, ethical, social, and biological perspectives. *Reviews in Fisheries Science*, 15: 75-167.

Arlinghaus, R., Matsumura, S., Venturelli, P. (2008). Größenselektive Angelfischerei und ihre möglichen populationsdynamischen Auswirkungen: eine Herausforderung für die fischereiliche Bewirtschaftung? *VDSF-Schriftenreihe Fischerei & Naturschutz*, 10: 83-104.

Arlinghaus, R., Matsumura, S., Dieckmann, U. (2010). The conservation and fishery benefits of protecting large pike (*Esox lucius* L.) by harvest regulations in recreational fishing. *Biological Conservation*, 143: 1444-1459.

Arlinghaus, R., Beardmore, B., Riepe, C., Meyerhoff, J., Pagel, T. (2014). Species-specific preferences of German recreational anglers for freshwater fishing experiences, with emphasis on the intrinsic utilities of fish stocking and wild fishes. *Journal of Fish Biology*, 85: 1843–1867.

Arlinghaus, R., Cyrus, E.M., Eschbach, E., Fujitani, M., Hühn, D., Johnston, F.D., Pagel, T., Riepe, C. (2015). Hand in Hand für eine nachhaltige Angelfischerei: Ergebnisse und Empfehlungen aus fünf Jahren praxisorientierter Forschung zu Fischbesatz und seinen Alternativen. *Berichte des IGB*, 28.

Arlinghaus, R., Pagel, T., Hühn, T., Rapp, T. (2016a). Einheitsfanganalysen als praxisnahes Hilfsmittel zur Abschätzung der Fischbestandsentwicklung in Binnengewässern. *Fischerei & Fischmarkt in Mecklenburg-Vorpommern* 2, 30-41.

Arlinghaus, R., Lorenzen, K., Johnson B.M., Cooke, S.J., Cowx, I.G. (2016b). Management of freshwater fisheries: addressing habitat, people and fishes. pp 557-579. *In: J.F. Craig [ed.]. Freshwater Fisheries Ecology*. Wiley Blackwell, Oxford, U.K.

Arlinghaus, R., Alós, J., Beardmore, B., Díaz, A.M., Eschbach, E., Hagemann, R., Hühn, D., Johnston, F., Klefoth, T., Lübke, K., Matsumura, S. (im Druck). Hechtbestandsmanagement in der Angelfischerei – Möglichkeiten und Grenzen der Hege über Besatz, Habitatmanagement und veränderte Fang- und Entnahmebestimmungen. *Der Hecht – Fisch des Jahres*, DAFV, Berlin.

Baer, J. 2008. Untersuchungen zur Optimierung des Besatz- und Bestandsmanagements von Bachforellen (*Salmo trutta* L.), Shaker Verlag, 130 S.

Baer, J., George, V., Hanfland, S., Lemcke, R., Meyer, L., Zahn, S. (2007). Gute fachliche Praxis fischereilicher Besatzmaßnahmen. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e. V., Heft 14.

Barthelmes, D. (1981). *Hydrobiologische Grundlagen der Binnenfischerei*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

Beardmore, B., Haider, W., Hunt, L.M., Arlinghaus, R. (2011). The importance of trip context for determining primary angler motivations: Are more specialized anglers more catch-oriented than previously believed? *North American Journal of Fisheries Management*, 31: 861-879.

Botsford, L.W., Holland, M.D., Field, J.C., Hastings, A. (2014). Cohort resonance: a significant component of fluctuations in recruitment, egg production, and catch of fished populations. *ICES Journal of Marine Science*, 71: 2158-2170.

Brockmark, S., Johnsson, J.I. (2010). Reduced rearing density increases social dominance, postrelease growth, and survival in brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67: 288-295.

Brämick, U., Lemcke, R. (2003). Regional application of a fish yield estimation procedure to lakes in north-east Germany. *Limnologica*, 33: 205-213.

Camp, E.V., Larkin, S.L., Ahrens, R.N.M., Lorenzen, K. (2016). Trade-offs between socioeconomic and conservation management objectives in stock enhancement of marine recreational fisheries. *Fisheries Research*, im Druck.



- Carlson, A.K. (2016). Trophy northern pike: The value of experimentation and public engagement. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24: 153-159.
- Casselman, J.M. (1975). Sex ratios of Northern Pike, *Esox lucius* Linnaeus. *Transactions of the American Fisheries Society*, 104: 60-63.
- Chilcote, M.W., Goodson, K.W., Falcy, M.R. (2011). Reduced recruitment performance in natural populations of anadromous salmonids associated with hatchery-reared fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68: 511-522.
- Christie, M.R., Marine, M.L., French, R.A., Blouin, M.S. (2012). Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 109: 238-242.
- Christie, M.R., Ford, M.J., Blouin, M.S. (2014). On the reproductive success of early-generation hatchery fish in the wild. *Evolutionary Applications*, 7: 883–896.
- Clark, C.N., Fraser, D.J., Purchase, C.F. (2016) Lifelong and carry-over effects of early captive exposure in a recovery program for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Animal Conservation*, 19: 350-359.
- Dorow, M., Arlinghaus, R. (2011). A telephone-diary-mail approach to survey recreational fisheries on large geographical scales, with a note on annual landings estimates by anglers in northern Germany. *American Fisheries Society Symposium*, 75: 319–344.
- Edeline, E., Carlson, S.M., Stige, L.C., Winfield, I.J., Fletcher, J.M., James, J.B., Haugen, T.O., Vøllestad, L.A., Stenseth, N.C. (2007). Trait changes in a harvested population are driven by a dynamic tug-of-war between natural and harvest selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, 104: 15799-15804.
- Edeline, E., Le Rouzic, A., Winfield, I.J., Fletcher, J.M., James, J.B., Stenseth, N.C., Vøllestad, L.A. (2009). Harvest-induced disruptive selection increases variance in fitness-related traits. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 276: 4163-4171.
- Emmrich, M., Schällicke, S., Hühn, D., Lewin, C., Arlinghaus, R., (2014). No differences between littoral fish community structure of small natural and gravel pit lakes in the northern German lowlands. *Limnologica*, 46: 84–93.
- FAO (2012). *Recreational Fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries 13*, FAO, Rome, Italy.
- Francis, R.C., Hixon, M.A., Clarke, M.E., Murawski, S.A., Ralston, S. (2007). Ten commandments for ecosystem-based fisheries scientists. *Fisheries*, 32: 217-233.
- Frauenstein, A. (2012). Bedeutung der Körperlänge für die Ei- und Larvengröße sowie der Reproduktionserfolg beim Hecht. Bachelorarbeit, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Froese, R. (2004). Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. *Fish and Fisheries*, 5: 86-91.
- Froese, R., Winker, H., Gascuel, D., Sumaila, U.R., Pauly, D. (2016) Minimizing the impact of fishing. *Fish and Fisheries*, 17: 785-802.
- Geldhauser, F. (2006). Catch and Release – kritische Anmerkungen. *VDSF Schriftenreihe Fischerei & Naturschutz*, 8: 33-43.

- Gwinn, D.C., Allen, M.S., Johnston, F.D., Brown, P., Todd, C.R., Arlinghaus, R. (2015). Rethinking length-based fisheries regulations: the value of protecting old and large fish with harvest slot. *Fish and Fisheries*, 16: 259-281.
- Heath, D.D., Heath, J.W., Bryden, C.A., Johnson, R.M., Fox, C.W. (2003). Rapid evolution of egg size in captive salmon. *Science*, 299: 1738-1740.
- Heermann, L., Emmrich, M., Heynen, M., Dorow, M., König, U., Borcherting, J., Arlinghaus, R. (2013). Explaining recreational angling catch rates of Eurasian perch, *Perca fluviatilis*: the role of natural and fishing-related environmental factors. *Fisheries Management and Ecology*, 20: 187–200.
- Hilborn, R. (2007). Defining success in fisheries and conflicts in objectives. *Marine Policy*, 13: 153-158.
- Hsieh, C.H., Yamauchi, A., Nakazawa, T., Wang, W.F. (2010). Fishing effects on age and spatial structures undermine population stability of fishes. *Aquatic Sciences*, 72: 165-178.
- Hühn, D., Lübke, K., Skov, C., Arlinghaus, R. (2014). Natural recruitment, density-dependent juvenile survival, and the potential for additive effects of stock enhancement: an experimental evaluation of stocking northern pike (*Esox lucius* L.) fry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71: 1508–1519.
- Jackson, G., Ryan, K.L., Green, T.J., Pollock, K.H., Lyle, J.M. (im Druck). Assessing the effectiveness of harvest tags in the management of a small-scale, iconic marine recreational fishery in Western Australia. *ICES Journal of Marine Science*.
- Johnston, F.D., Arlinghaus, R., Dieckmann, U. (2010). Diversity and complexity of angler behaviour drive socially optimal input and output regulations in a bioeconomic recreational-fisheries model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 67: 1507-1531.
- Johnston, F.D., Arlinghaus, R., Dieckmann, U. (2013). Fish life history, angler behaviour and optimal management of recreational fisheries. *Fish and Fisheries*, 14: 554–579.
- Johnston, F.D., Beardmore, B., Arlinghaus, R. (2015). Optimal management of recreational fisheries in the presence of hooking mortality and noncompliance-predictions from a bioeconomic model incorporating a mechanistic model of angler behavior. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72: 37-53.
- Kotakorpi, M., Tiainen, J., Olin, M., Lehtonen, H., Nyberg, K., Ruuhijärvi, J., Kuparinen, A. (2013). Intensive fishing can mediate stronger size-dependent maternal effect in pike (*Esox lucius*). *Hydrobiologia*, 718: 109–118.
- Knösche, R., Zahn, S., Fladung, E., Ebel, H. (1998). Ordnungsgemäße fischereiliche Bewirtschaftung natürlicher Gewässer unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im norddeutschen Tiefland. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg, Potsdam.
- Larsen, M.H., Johnsson, J.I., Näslund, J., Thomassen, S.T., Aerestrup, K. (2016) Reduced rearing density increases postrelease migration success of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73: 804-810.
- Le Bris, A., Pershing, A.J., Hernandez, C.M., Mills, K.E., Sherwood, G.D. (2015). Modelling the effects of variation in reproductive traits on fish population resilience. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 2590-2599.

Lester, N.P., Shuter, B.J., Abrams, P.A. (2004) Interpreting the von Bertalanffy model of somatic growth in fishes: the cost of reproduction. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 271: 1625-1631.

Lester, N.P., B.J. Shuter, P. Venturelli & D. Nadeau. 2014. Life-history plasticity and sustainable exploitation: a theory of growth compensation applied to walleye management. *Ecological Applications*, 24: 38-54.

Lorenzen, K. (2005). Population dynamics and potential of fisheries stock enhancement: practical theory for assessment and policy analysis. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 360: 171-189.

Lorenzen, K., Beveridge, M.C.M., Mangel, M. (2012). Cultured fish: integrative biology and management of domestication and interactions with wild fish. *Biological Reviews*, 87: 639–660.

Matsumura, S., Arlinghaus, R., Dieckmann, U. (2011). Assessing evolutionary consequences of size-selective recreational fishing on multiple life-history traits, with an application to northern pike (*Esox lucius*). *Evolutionary Ecology*, 25: 711-735.

Mattern, J. (2015). *Praxishandbuch Gewässerwart – Hege und Pflege von Gewässern*. Kosmos, Stuttgart.

Mehner, T., Arlinghaus, R., Berg, S., Dörner, H., Jacobsen, L., Kasprzak, P., Koschel, R., Schulze, T., Skov, C., Wolter, C., Wysujack, K. (2004). How to link biomanipulation and sustainable fisheries management: a step-by-step guideline for lakes of the European temperate zone. *Fisheries Management and Ecology*, 11: 261-275.

Minns, C.K., Randall, R.G., Moore, J.E., Cairns, V.W (1996). A model simulating the impact of habitat supply limits on northern pike, *Esox lucius*, in Hamilton Harbour, Lake Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 20-34.

Pierce, R.B. (2010). Long-term evaluations of length limit regulations for northern pike in Minnesota. *North American Journal of Fisheries Management*, 30: 412-432.

Radomski, P.J., Grant, G.C., Jacobson, P.C., Cook, M.F. (2001). Visions for recreational fishing regulations. *Fisheries* 26: 7-18.

Rapp, T., Hallermann, J., Cooke, S.J., Hetz, S.K., Wuertz, S., Arlinghaus, R. (2012). Physiological and behavioural consequences of capture and retention in carp sacks on common carp (*Cyprinus carpio* L.), with implications for catch-and-release recreational fishing. *Fisheries Research*, 125–126: 57– 68.

Rapp, T., Hallermann, J., Cooke, S.J., Hetz, S.K., Wuertz, S., Arlinghaus, R. (2014). Consequences of air exposure on the physiology and behavior of caught-and-released Common Carp in the laboratory and under natural conditions. *North American Journal of Fisheries Management*, 34: 2, 232–246.

Richard, A., Dionne, M., Wang, J., Bernatchez, L. (2013). Does catch and release affect the mating system and individual reproductive success of wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)? *Molecular Ecology*, 22: 187-200.

Ricker, W.E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 11: 559-623.

Riepe, C., Arlinghaus, R. (2014). Einstellungen der Bevölkerung in Deutschland zum Tierschutz in der Angelfischerei. *Berichte des IGB*, 27: 1-198.

Rogers, M., Allen, M.S., Brown, P., Hunt, T., Fulton, W., Ingram, B.A. (2010). A simulation model to explore the relative value of stock enhancement versus harvest regulations for fishery sustainability. *Ecological Modelling*, 221: 919–926.

Schäperclaus, W. (1960). Fischereiwirtschaftslehre (Seen- und Flusswirtschaft). In: Wundsch, H.H. (Hrsg.), *Fischereikunde: Eine Einführung für die Praxis* (2. Aufl.). Neumann Verlag, Radebeul und Berlin, 154-194.

Seekell, D.A. (2011). Recreational freshwater angler success is not significantly different from a random catch model. *North American Journal of Fisheries Management*, 31: 203-208.

Seekell, D.A., Brosseau, C.J., Cline, T.J., Winchombe, R.J., Zinn, L.J. (2011). Long-term changes in recreational catch inequality in a trout stream *North American Journal of Fisheries Management*, 31: 1110-1115.

Simon, J. (2013). Vergleichende Untersuchungen des Wachstums, der Kondition und der Überlebensrate von Glasaalen und vorgestreckten Aalen in kleinen Seen nach Besatz. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.

Simon, J., Dörner, H. (2014). Survival and growth of European eels stocked das glass- and farm-sourced eels in five lakes in the first years after stocking. *Ecology of Freshwater Fish*, 23: 40-48.

Tesch, F.W. (1959). Kritische Betrachtungen zum Mindestmaß bei Nutzfischen. *Deutsche Fischereizeitung*, 5: 131-139.

Tesch, F.W., Wehrmann, L. (1982). *Die Pflege der Fischbsetände und –gewässer: eine Anleitung für die Praxis*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Tiainen, J., Olin, M., Lehtonen, H. (2014). The effects of size-selective fishing on pike populations. pp 3-6. In: Valkonen, N. [ed.]. *Perspectives on sustainable fisheries management – case examples from Sweden and Finland*. Future Missions Oy, Joensuu, Finland.

Thériault, V., Moyer, G.R., Jackson, L.S., Blouin, M.S., Banks, M.A. (2011). Reduced reproductive success of hatchery coho salmon in the wild: insights into most likely mechanisms. *Molecular Ecology*, 20: 1860-1869.

Venturelli P.A., Murphy, C.A., Shuter, B.J., Johnston, T.A., deGroot, P.Jv.C., Boag, P.T., Casselman, J.M., Montgomerie, R., Wiegand, M.D., Leggett, W.C. (2010). Maternal influences on population dynamics: evidence from an exploited freshwater fish. *Ecology*, 91: 2003-2012.

Walters, C.J. (1986) *Adaptive management of renewable resources*. New York, Mc Graw Hill.

Walters, C.J., Martell, S.J.D. (2004). *Fisheries Ecology and Management*. Princeton University Press, Princeton.

Young, K.A. (2013). The balancing act of captive breeding programmes: salmon stocking and angler catch statistics. *Fisheries Management and Ecology*, 20: 434-444.

Zeiske, W., Plomann, J. (1982). *Fisch- und Gewässerkunde*. Sportverlag Berlin, Leipzig.