

Verena NIESEL, Ingrid CHORUS, Eberhard HOEHN, Ralf SUDBRACK, Hartmut WILLMITZER

Ist das Auftreten von problematischen Phytoplanktonorganismen mit einem einfachen statistischen Modell (MOPS) vorhersehbar?

Is the occurrence of problematic phytoplankton species predictable with a simple probability model (MOPS)?

Abstract

The „**Model of Occurrence of Phytoplankton Species**“ (MOPS) enables the prediction of the probable occurrence of problematic phytoplankton species in reservoirs. Problematic species are defined as those which reduce the quality of drinking water through toxic metabolites or taste and odour, or whose mass occurrence requires a high level of treatment. By entering selected relevant lake properties (e. g. trophical status, mean depth, degree of acidification) and the current conditions (e. g. water temperature, pH-value, nutrient concentrations) users can estimate whether the occurrence of a problematic species is probable or not. The MOPS can be used either as prediction tool or as decision support when planning the restoration of lakes and reservoirs. The model is programmed in Visual Basic for Application (VBA), contains a MS Excel-Macro (500 kB), and is available for testing from following e-mail addresses: verena.niesel@uba.de or ingrid.chorus@uba.de.

Keywords: *Asterionella, Fragilaria, Aulacoseira, Cryptomonas, Gymnodinium, Peridinium, Synura, Uroglana, Dinobryon, Microcystis, Planktothrix*, restoration, lakes, phytoplankton blooms

1 Einleitung

Für die Trinkwasseraufbereitung ist die Zusammensetzung des Phytoplanktons in Talsperren von großer Bedeutung. So können Phytoplanktonorganismen und deren Metabolite die Wasserqualität stark reduzieren und damit den technischen und finanziellen Aufwand bei der Trinkwasseraufbereitung maßgeblich beeinflussen. Manche Algen und Cyanobakterien bilden gesundheitsschädliche, z.T. toxische Metabolite (Chorus et al.1992, Fastner et al. 1999), andere produzieren Geruchs- und Geschmacksstoffe (Chorus et al. 1992, Hoehn 2000, Jüttner 2002, Schmidt 2001). Kieselalgen verursachen bei ihrem Massenaufreten das Verstopfen der Filteranlagen in der Wasseraufbereitung (Kriegsmann 1994, Willmitzer 1997), während kleine bewegliche Zellen wie z. B. Arten der Gattung *Cryptomonas* durch

die Filter hindurchgelangen können und dann zu einer Aufkeimung führen können (Bernhard & Clasen 1999).

Das frühzeitige Wissen um das Auftreten von problematischen Phytoplanktonarten in Talsperren ermöglicht den zeitnahen Einsatz von entsprechenden Maßnahmen in der Wasseraufbereitung (Schmidt 2001). Mittelfristig kann mit ökotechnologischen Maßnahmen im Wasserkörper auf das Auftreten von problematischen Arten reagiert werden (Benndorf & Clasen 2001) und längerfristig kann eine Reduzierung der Nährstoffbelastung das Artenspektrum erheblich verändern. Neben der Möglichkeit das Modell als Prognosewerkzeug anzuwenden, kann es auch bei der Planung von ökotechnologischen oder Sanierungsmaßnahmen Verwendung finden, indem die angestrebten Zielwerte in das Modell eingegeben werden und dann überprüft wird, ob mit problematischen Arten zu rechnen ist. Für die Planung von Sanierungsmaßnahmen kann das Modell einerseits als Argumentationshilfe dienen, andererseits aber auch die Möglichkeit einer Verschiebung des Auftretens von einer problematischen Art zur anderen hinweisen.

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung der Talsperren

Insgesamt wurde das Datenmaterial von drei Talsperrenbetreibern und 25 deutschen Mittelgebirgstalsperren ausgewertet. Die Talsperren liegen in Thüringen, Sachsen und Süddeutschland. Sie variieren stark in ihren gewässerspezifischen Parametern. Als Basis für die statistische Auswertung wurden die gewässerspezifischen Parameter in verschiedene Parameterausprägungen gruppiert (Tab. 1.) Der Trophiestatus gibt den allgemeinen Nährstoffstatus der Talsperre wieder, der Versauerungsgrad differenziert zwischen versauert und nicht versauert. Unter den Schichtungseigenschaften wird das hydrografische Regime über das Jahr bezeichnet. Geschichtete Talsperren weisen üblicherweise im Sommer eine thermische Schichtung auf, im Herbst, Winter und Frühjahr sind sie überwiegend durchmisch. Dagegen sind ungeschichtete Talsperren auch im Sommer durchmisch.

Tab. 1 Parameterausprägungen der gewässerspezifischen Parameter und deren Anzahl innerhalb der ausgewerteten Talsperren

Parameter	Parameterausprägung
Trophie	oligotroph (6) mesotroph (incl. oligo-mesotroph und mesotroph-eutroph, 9) eutroph, hypertroph (10)
Schichtung	geschichtet (22) ungeschichtet (3)
Versauerung	versauert (6) nicht versauert (19)
Mittlere Tiefe	< 10 m (flach, 9) >= 10 m (16)

2.2 Phytoplanktondaten

Das Phytoplankton wurde in verschiedenen Laboren mittels Umkehrmikroskop gezählt und vermessen (Utermöhl 1958) und ist als Biovolumen pro Liter ($\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$) in die Datenbank eingegangen. Die Bestimmung der Arten erfolgte in den verschiedenen Laboren auf Grundlage wiederholter Qualitätssicherungen im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (www.trinkwassertalsperren.de, Hoehn et al. 1998). Die Bewertung einer Art oder Gattung als Problemtaxon basiert auf den Erfahrungen und individuellen Einschätzung der Biologinnen und Biologen des Arbeitskreises Biologie (Tab. 2). Einige taxonomisch schwer zu differenzierende Arten wurden auf Gattungsebene zusammengefasst (Chrysophyceen, *Cryptomonas*, *Microcystis*, *Synura* und *Uroglena*). Bei den *Microcystis*-Arten wurde davon ausgegangen, dass die verschiedenen Arten meist zu ähnlichen Zeiten auftreten und mit Ausnahme von *M. wesenbergii* durchweg potentiell toxisch sind, so dass hier keine Unterscheidung notwendig war.

Tab. 2 Phytoplanktonarten und deren Problematik in der Wasseraufbereitung

Gattung	Art	Problem in der Wasseraufbereitung	Schwellenwert [$\text{mm}^3 \text{l}^{-1}$]
<i>Asterionella</i>	<i>formosa</i>	Filterverstopfung	> 0,5
<i>Aulacoseira</i>	<i>italica</i>	Filterverstopfung	> 0,5
<i>Fragilaria</i>	<i>crotonensis</i>	Filterverstopfung	> 0,5
<i>Cryptomonas</i>	<i>erosa</i> , <i>hantzschii</i> , <i>marssonii</i> , <i>obovata</i> , <i>ovata</i> , <i>phaseolus</i> , <i>pyreniodifera</i> , <i>reflexa</i> , <i>rostrata</i> , <i>sp.</i> , <i>rostratiformis</i> , <i>tetrapyrenoides</i> , <i>tetrapyrenoidosa</i>	Aufkeimung	> 0,5
<i>Gymnodinium</i>	<i>uberrimum</i>	Aufkeimung	> 0,5
<i>Dinobryon</i>	<i>cylindricum</i> , <i>bavaricum</i> , <i>sociale</i> , <i>divergens</i>	Metabolitproduktion	> 0
<i>Microcystis</i>	<i>aeruginosa</i> , <i>delicatissima</i> , <i>elachista</i> v. <i>planctonica</i> , <i>pulverea</i> , <i>sp.</i>	Metabolitproduktion	> 0
<i>Peridinium</i>	<i>cinctum</i> , <i>willei</i>	Metabolitproduktion	> 0
<i>Planktothrix</i>	<i>rubescens</i>	Metabolitproduktion	> 0
<i>Synura</i>	<i>uvella</i> , <i>sp.</i>	Metabolitproduktion	> 0
<i>Uroglena</i>	<i>americana</i> , <i>botrys</i> , <i>skujae</i> , <i>uplandica</i> cf. <i>americana</i> , <i>volvox</i> , <i>sp.</i>	Metabolitproduktion	> 0

Die Biomassen, ab denen das Auftreten der Arten für die Wasseraufbereitung problematisch ist, variieren. Daher wurden unterschiedliche Biomassenschwellen angenommen, ab denen sie jeweils als „problematische Art“ eingestuft wurden. Für Arten, die durch Filterverstopfung oder Erhöhung des Aufkeimungspotenzials die Aufbereitung stören, wurde ein Schwellenwert von $> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ gesetzt. Die Produktion von Inhaltsstoffen kann schon bei sehr geringen Biomassen erfolgen. So beeinträchtigen Geruchs- und Geschmacksstoffe z.T. bereits im Konzentrationsbereich von ng l^{-1} die Trinkwasserqualität. Daher wurde für diesen Arten der

Schwellenwert auf $> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ gesetzt. Für die Arten mit einem hohen Schwellenwert basiert die Datenauswertung auf Proben mit einer Biovoluminakonzentration $> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$. Bei Schwellenwerten $> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ erfolge zusätzlich eine differenzierte Auswertung nach den Biovoluminaklassen $> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$, $> 0,05 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ und $> 0,1 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$.

2.3 Aktuelle Gewässerbedingungen

Insgesamt besteht der Datensatz aus 1499 Phytoplanktonmischproben. Zu den Terminen der Beprobung wurden verschiedene Parameter gemessen, die für die statistische Auswertung gruppiert wurden (Tab. 3).

Die Mittelwerte der Wassertemperatur, des pH-Wertes und der Gesamtphosphorkonzentration wurden ungewichtet aus den Werten der Tiefenprofile errechnet, die in meist äquidistanten Abständen und angepasst an die Tiefe der Phytoplanktonmischprobe aufgenommen wurden. Der pH-Mittelwert wurde ungewichtet aus der H_3O^+ -Ionenkonzentrationen errechnet. Die Silikatkonzentrationen konnten aufgrund zu geringer Datenmenge nicht ausgewertet werden. Es wurde ein Grenzwert von $0,28 \text{ mg l}^{-1}$ eingesetzt (Reynolds 2002). Konzentrationen über diesem Wert führen zum Auftreten der Kieselalgen, Konzentrationen darunter zum Fehlen der Art. Die Sichttiefe wurde mit der Secchischeibe bestimmt. Aus der Sichttiefe wurde mit einem Faktor von 2,5 die euphotische Tiefe (z_{eu}) errechnet. Die Durchmischungstiefe (z_{mix}) wurde aus dem Temperaturprofil berechnet, das für jede Probenahme erstellt wurde, wobei die Tiefe als z_{mix} bezeichnet wurde, bei der der Temperaturgradient maximal war und $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ pro Meter überschritt. Wurde eine Durchmischungstiefe ermittelt, galt der Wasserkörper als geschichtet, sonst als durchmischt. Die Relation $z_{\text{eu}}/z_{\text{mix}}$ wurde als Maß für die durchschnittliche Lichtverfügbarkeit im Wasserkörper ermittelt.

Tab. 3 Aktuelle Gewässerparameter mit Einheit und Ausprägung

Parameter	Einheit	Parameterausprägung
Wasserkörperschichtung	-	durchmischt; geschichtet
Wassertemperatur	$^\circ\text{C}$	0 –<5; 5-<10; 10-<15; 15-<20; ≥ 20
pH-Wert	-	<6; 6-<7; 7-<8; ≥ 8
Gesamtphosphorkonzentration (TP)	$\mu\text{g P l}^{-1}$	0-<10; 10-<25; 25-<50; 50-<90; ≥ 90
Silikatkonzentration (Si)	mg Si l^{-1}	<0,28; $\geq 0,28$
Sichttiefe	m	<1,2; 1,2-1,9; $> 1,9 - 3,0$; $> 3,0-7,3$; $\geq 7,3$
$Z_{\text{eu}}/Z_{\text{mix}}$	-	<0,75; 0,75-<1,25; $\geq 1,25$
Saisonalität	-	Winter: Dezember, Januar, Februar; Frühling: März, April, Mai; Sommer: Juni, Juli, August; Herbst: September, Oktober, November

2.4 Datenauswertung

Der Modellprogrammierung liegt eine relative Datenauswertung zugrunde, die aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung stammt. Um zu entscheiden, ob das Auftreten einer Art in einer bestimmten Parameterausprägung ein wahrscheinliches oder

unwahrscheinliches Ereignis ist, wurde in einem ersten Schritt der zweiseitige Binomialtest ($\alpha = 0,05$) genutzt. Dabei wurden zwei Verteilungen verglichen und auf ihre signifikanten Unterschiede getestet.

Die Verteilungen basieren auf der relativen Häufigkeit folgender Proben:

- a) relative Häufigkeit der Proben mit der zu untersuchenden Art in den verschiedenen Ausprägungen eines Parameters (ra_s)
- b) relative Häufigkeit aller Proben auf die verschiedenen Ausprägungen eines Parameters (ra_t)

In einem zweiten Schritt wurden so genannte Trend-Ratios (v) errechnet (Gleichung 1):

$$v = \frac{ra_s}{ra_t} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Die Ergebnisse dieser Trend-ratio-Analysen geben Informationen über ein überdurchschnittlich häufiges (> 1) oder seltenes (< 1) Auftreten einer Art, wobei die Kombination von Binomialtests und Trend-Ratios eine Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit für jede Art bei jeder Parameterausprägung erlauben (Tab. 4).

Mit v wesentlich größer als 1 und einem signifikanten Testergebnis tritt die Art überdurchschnittlich häufig auf. Im Modell wird dieses Ergebnis als das Auftreten der Art bei dieser Parameterausprägung programmiert. Mit v kleiner als 1 und einem signifikanten Testergebnis tritt die Art unterdurchschnittlich häufig auf. Im Modell wird die untersuchte Art bei dieser Parameterausprägung nicht auftreten. Ist v ungefähr 1 und das Ergebnis des Tests nicht signifikant, so liegt eine mittlere Auftretenswahrscheinlichkeit vor. Im Modell wird dieser Fall mit dem Auftreten der Art abgebildet.

Tab. 4 Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeiten für den Modelleingang basierend auf den Ergebnissen aus dem Binomialtest und Trend-Ratio-Analyse

Trend-Ratio	Ergebnis des Binomialtest	Bewertung	Modelleingang
$v \gg 1$	signifikant	Art tritt überdurchschnittlich häufig auf (hohe Wahrscheinlichkeit)	Art tritt auf
$v \ll 1$	signifikant	Art tritt unterdurchschnittlich häufig auf (geringe Wahrscheinlichkeit)	Art tritt nicht auf
$v \sim 1$	nicht signifikant	Art tritt durchschnittlich häufig auf (mittlere Wahrscheinlichkeit)	Art tritt auf

2.5 Modellprogrammierung:

Das Modell wurde in Visual Basic for Application (VBA) programmiert und ist ein MS-Excel Makro. Die Datei umfasst ca. 500 kB und ist als CD oder per e-mail (verena.niesel@uba.de oder ingrid.chorus@uba.de) zur Erprobung erhältlich.

3 Ergebnisse

Das Auftreten jeder Art wurde in Abhängigkeit der Ergebnisse aus dem Binomialtest und den Trend-ratios für jede Parameterausprägung programmiert. Die Modellmatrix zeigt welche Parameterausprägungen jeweils für das Auftreten der verschiedenen Arten im Modell abgebildet wurden (Tab. 5).

Die Chrysophyceen *Synura* spp., *Uroglena* spp. and *Dinobryon* spp. und die Dinoflagellaten (*Peridinium* spp., *G. uberrimum*) treten überwiegend in oligotrophen und mesotrophen Gewässern auf. Ihr Habitate unterscheiden sich u. a. im Versauerungsgrad, in der mittleren Tiefe und in der Durchmischung (Mixis) der Gewässer. Die Gattung *Cryptomonas* tritt in diesem Modell mit einem Biovolumen über $0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ in eutrophen, durchmischten oder geschichteten, nicht versauerten, flachen Gewässern auf. Die Kieselalgen *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Aulacoseira italica* treten u. a. mit einem Biovolumen über $0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ in mesotrophen und eutrophen, nicht versauerten Gewässern auf. Die Cyanobakterien treten in eutrophen, nicht versauerten Gewässern auf. Für die Cyanobakteriengattung *Microcystis* wurden zwei verschiedene Habitate abgebildet: flache durchmischte und tiefe stratifizierte Gewässer. Für die Cyanobakterienart *Planktothrix rubescens* wurde zwischen sommerlichem Auftreten bei Schichtung und Auftreten zu anderen Jahreszeiten unterschieden.

Neben diesen verschiedenen Habitaten treten die problematischen Arten unter verschiedenen aktuellen Gewässerparametern auf.

Die Benutzeroberfläche ist unterteilt in einen Eingabebereich (linke Seite) und einen Ausgabebereich (rechte Seite, Abb. 1). Im Eingabebereich können für die Parameter die verschiedenen Ausprägungen angeklickt werden. Für jeden Parameter muss eine Auswahl getroffen werden. Um das Modell laufen zu lassen, muss die Schaltfläche in der Mitte (Modelllauf, hier klicken) gedrückt werden. Dann erscheinen auf der Ausgabeseite rechts automatisch die für die eingestellten Parameterausprägungen wahrscheinlichen Phytoplanktonarten.

Die Modelleinstellung in Abb. 1 stellt eine Frühjahrssituation in einem flachen, durchmischten, eutrophen und nicht versauertem Gewässer dar. Die aktuellen Gewässerbedingungen beschreiben die typische Frühjahrssituation mit TP-Konzentrationen zwischen 19 und $25 \mu\text{g l}^{-1}$, mit Silikatkonzentrationen über $0,28 \text{ mg/l}$, mit pH-Werten zwischen 7 und 8 , Sichttiefen zwischen $1,2$ und $1,9 \text{ m}$ und einem durchmischten Wasserkörper. Unter diesen Bedingungen ist das Auftreten von *Asterionella formosa*, *Aulacoseira italica*, *Fragilaria crotonensis* und *Cryptomonas* spp. wahrscheinlich. Dieses Modellergebnis sagt somit Problemarten voraus, die die Filter in der Wasseraufbereitung verstopfen und zusätzlich zu einer Aufkeimung nach der Wasseraufbereitung führen können. Dementsprechend können innerhalb der Trinkwasseraufbereitungsanlage frühzeitig Maßnahmen ergriffen werden, um den Problemen, die diese Arten verursachen, zu begegnen.

Tab. 5 Modellmatrix mit den zugrundeliegenden Parameterausprägungen während des Auftretens der verschiedenen Arten, die Artnamen sind Tab. 2 zu entnehmen (A. =Ausprägungen siehe Tab. 1 und Tab. 3, oligo = oligotroph, meso = mesotroph, eu=eutroph, gesch. = geschichtet, Z_{eu} =euphotische Tiefe, z_{mix} = Durchmischungstiefe).

	Trophie	Versauerung	Mixis Gewässer	Mittl. Tiefe [m]	Mixis Wasserkörper	Saisonalität	T Wasser[°C]	pH-Wert	TP [$\mu\text{g l}^{-1}$]	Si [mg l^{-1}]	Sichttiefe [m]	Z_{eu} / z_{mix}
<i>Synura spp.</i> ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	meso	versauert	alle A.	alle A.	alle A.	nicht Sommer	0 - 15	6 - 8	< 50	alle A.	alle A.	alle A.
<i>Uroglena spp.</i> ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	oligo, meso	nicht versauert	gesch.	alle A.	alle A.	alle A.	0 - 20	< 8	< 50	alle A.	alle A.	alle A.
<i>Dinobryon spp.</i> ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	oligo, meso	alle A.	gesch.	alle A.	gesch.	nicht Winter	0 - 20	< 8	< 50	alle A.	3 - 12	> 0,25
<i>Peridinium spp.</i> ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	oligo, meso	alle A.	gesch.	> =10	alle A.	alle A.	0 - 15	< 8	< 25	alle A.	3 - 12	> 0,25
<i>G. uberrimum</i> ($> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	oligo, meso	versauert	gesch.	> =10	alle A.	alle A.	0 - 15	< 9	< 25	alle A.	3 - 12	alle A.
<i>Cryptomonas spp.</i> ($> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	eu	nicht versauert	alle A.	< 10	alle A.	nicht Winter	0 - 25	> 7	> 25	alle A.	< 6	< 1,75
<i>A. formosa</i> ($> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	meso, eu	nicht versauert	alle A.	< 10	alle A.	nicht Sommer	0 - 15	> 7	alle A.	> 0,28	< 9	alle A.
<i>F. crotonensis</i> ($> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	meso, eu	nicht versauert	alle A.	alle A.	alle A.	alle A.	0 - 20	> 7	< 75	> 0,28	< 6	< 1,25
<i>A. italica</i> ($> 0,5 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	meso, eu	nicht versauert	alle A.	alle A.	durchmisch	nicht Sommer	0 - 15	> 7	< 75	> 0,28	< 6	< 1,25
<i>Microcystis spp.</i> , durchmisch, flach ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	eu	nicht versauert	nicht gesch.	< 10	alle A.	nicht Winter	> 10	> 7	> 25	alle A.	< 6	< 0,75
<i>Microcystis spp.</i> geschicht ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	eu	nicht versauert	gesch.	> 10	alle A.	nicht Winter	> 10	> 7	> 25	alle A.	< 6	< 0,75
<i>P. rubescens</i> , Sommer ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	eu, meso	nicht versauert	gesch.	> 10	gesch.	Sommer	10 - 20	> 7	10 - 50	alle A.	1,9 - 7,3	alle A.
<i>P. rubescens</i> , nicht Sommer ($> 0 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$)	eu, meso	nicht versauert	gesch.	> 10	durchmisch	Herbst, Winter	0 - 15	> 7	10 - 50	alle A.	< 7,3	alle A.

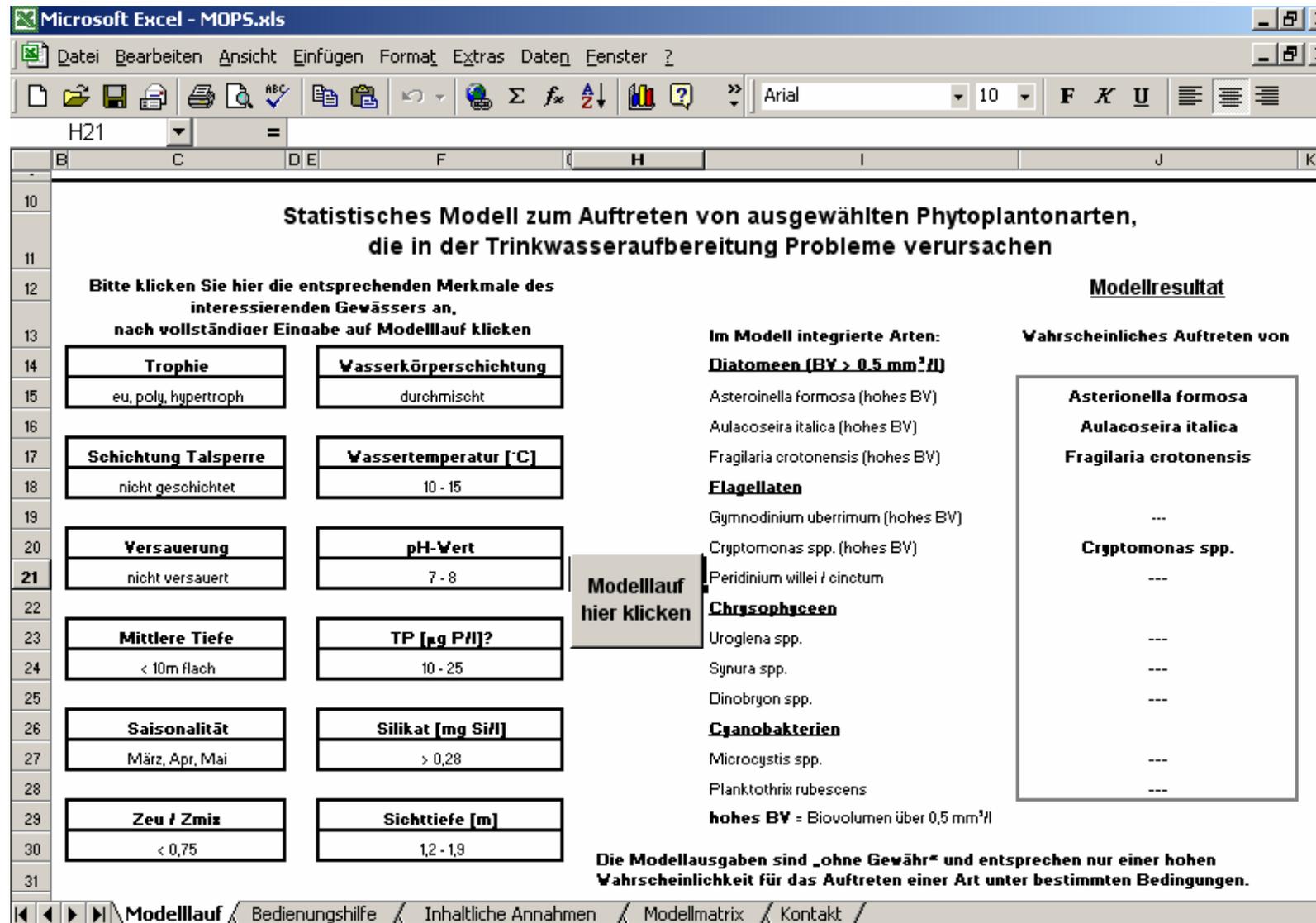


Abb. 1 Benutzeroberfläche des Modells MOPS

4 Diskussion

Statistische Modelle wie MOPS können relativ zuverlässige Prognosewerkzeuge sein, solange sich die Grundbedingungen, unter denen die Eingangsdaten erhoben wurden, nicht verändern (Wirtz & Niesel 1999). Grundbedingung in diesem Modell ist das Klima Mittel- bzw. Süddeutschlands, d. h. die gemäßigte kühle Westwindzone zwischen dem Atlantischen Ozean und dem Kontinentalklima im Osten. Weiterhin ist die spezifische Höhenlage, aus der die Talsperrendaten stammen, eine wesentliche Determinante. Somit ist dieses Modell nur auf ähnliche Klimazonen und Höhenlagen übertragbar.

Die Resultate des Modells basieren auf Methoden aus der Wahrscheinlichkeitsanalyse. Somit beziehen sich die Modellresultate nur auf sehr wahrscheinliche Ereignisse. Damit kann aber letztlich nicht ausgeschlossen werden, dass z. B. eine Art unter bestimmten Bedingungen auftritt, obwohl sie im Modell-output als nicht wahrscheinlich definiert wurde.

Neben der Prognosefunktion dieses Modells bietet es auch eine Analyse der realisierten ökologischen Nischen der verschiedenen Phytoplanktonarten. Die Modellmatrix zeigt auf, unter welchen Bedingungen eine Art konkurrenzstark ist und beispielsweise mit einem hohen Biovolumen auftritt. Andererseits werden in diesem Modell auch solche Bedingungen dargestellt, unter denen eine Art nicht oder nur selten auftritt.

MOPS ist nicht mit Phytoplanktonmodulen von Ökosystemmodellen (z. B. SALMO (Petzold et al. 2005) oder dem von Elliott et al. (1999) entwickelten Modell PROTECH zu vergleichen, denn diese sind prozessbasiert und bilden mittels Differenzialgleichungen komplexe Stoffflüsse in einem System ab. In MOPS dagegen ist das Auftreten oder Fehlen einer Art schon in der Programmierung festgelegt und somit in der Modellmatrix ablesbar.

Das statistische Modell MOPS bietet noch Möglichkeiten der Optimierung, da es z. B. aktuell nicht möglich ist, auf die Eingabe eines Parameters zu verzichten. Ferner ist der Prozess der Validierung noch nicht abgeschlossen. Dennoch ist dieses Modell schon als Prognosewerkzeug einsetzbar, da es einen direkten Bezug zu den Originaldaten hat. Es ist einfach handhabbar und nutzerfreundlich, kann aber keinesfalls Sachverstand ersetzen. Die Modellresultate sollten von Personen mit Erfahrung in der Phytoplanktonökologie verwendet werden.

5 Zusammenfassung

Das Modell „**Model of Occurrence of Phytoplankton Species**“ (MOPS) ermöglicht eine Aussage über das wahrscheinliche Auftreten von problematischen Phytoplanktonarten in Talsperren. Problematische Phytoplanktonarten sind solche, die die Trinkwasserqualität durch die Bildung gesundheitsschädlicher Inhaltsstoffe oder Geruchs- bzw. Geschmacksstoffe reduzieren oder durch ihr Massenauftreten den Aufbereitungsprozess bei der Trinkwassergewinnung aus Oberflächengewässern stören. Durch die Eingabe von bestimmten relevanten Gewässerparametern (z. B. Trophiezustand, mittlere Tiefe, Grad der Versauerung) und aktuellen

Bedingungen (z. B. Wassertemperatur, pH-Wert, Nährstoffgehalt) in das Modell kann abgeschätzt werden, ob das Auftreten der problematischen Arten wahrscheinlich ist oder nicht. Dieses Prognosemodell kann sowohl zur Gewinnung von direkten prognostischen Aussagen genutzt als auch bei der Sanierung von Gewässern eingesetzt werden. Das Modell ist als ein MS-Excel-Makro (500 kB) programmiert worden und unter folgenden e-mail-Adressen zur Erprobung erhältlich: verena.niesel@uba.de oder ingrid.chorus@uba.de

Danksagung

Wir danken den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Landestalsperrenverwaltung Sachsen, der Thüringer Fernwasserversorgung und des Zweckverbands Wasserversorgung Kleine Kinzig für die Bereitstellung der Daten. Für die inhaltliche Unterstützung bei der Planung und Auswertung danken wir den Biologinnen und Biologen der Arbeitskreis Biologie der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren (ATT). Frau Prof. Dr. Ursula Gaedke danken wir für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Forschung und Bildung, Förderkennzeichen 02WT9852/7, finanziert.

Literatur

- Benndorf J, Clasen J (2001) Integrierte Wasserbewirtschaftung von Trinkwassertalsperren. Integration gewässerinterner Maßnahmen. In: Bewirtschaftung und Schutz der Trinkwassertalsperren: Güte und Aufbereitung von Talsperrenwasser. ATT-Schriftreihe, Oldenbourg Verlag München, Vol. 3, pp 149-185
- Bernhard H, Clasen J (1999) Flockung algenreicher Oberflächenwässer. In Trinkwasserversorgung aus Talsperren. ATT Schriftreihe, Oldenbourg Verlag München, Vol. 1: 175-196
- Chorus I, Klein G, Fastner J, Rotard W (1992) Off-flavours in surface waters – how efficient is bank filtration for their abatement in drinking water? *Wat. Sci. Technol.* 25: 251-258
- Elliott JA, Irish AE, Reynolds CS, Tett P (1999) Sensitivity analysis of PROTECH, a new approach in phytoplankton modelling. *Hydrobiologia* 414: 45-51.
- Fastner J, Erhard M, Carmichael WW, Sun F, Rinehart KL, Röncke H, Chorus I (1999) Characterization and diversity of microcystins in natural blooms and strains of the genera *Microcystis* and *Planktothrix* from German freshwaters. *Arch Hydrobiol* 145 (2): 147-163.
- Hoehn E, Ketelaars H A M, Ewig B (1998) Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen. Oldenbourg, München, pp 151
- Hoehn E (2000) Planktoneliminierung - Der Weg vom Rohwasser zum Reinwasser. In: Hoehn E, Schmidt-Halewicz S, Zintz K (eds.): Talsperre Kleine Kinzig: Quelle für unser Trinkwasser. Jubiläumsschrift 25 Jahre Zweckverband Kleine Kinzig Alpirsbach. Heimbach, Stuttgart, pp 285-302
- Jüttner F (2002) Biogene Geruchs- und Geschmacksstoffe. In: Höll K (ed.): Wasser. Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. De Gryter Berlin, New York, 955 p
- Kriegsmann J (1994) Massenentwicklung von Kieselalgen - ein Problem für die Trinkwasseraufbereitung: Ein Erfahrungsbericht am Beispiel des AVU-Wasserwerks Rohland an der Ennepetalsperre. In: Ketelaars HAM, Nienhüser AE, Hoehn E (eds.): Die Biologie der Trinkwasserversorgung aus Talsperren. ATT-Information. Academic Book Centre, De Lier, pp 121-131
- Petzoldt T, Rolinski S, Rinke K, König M, Baumert HZ, Benndorf J (2005) SALMO: Die Ökologische Komponente Des Gekoppelten Modells. *WasserWirtschaft* 5: 28-33
- Schmidt W (2001) Neue Erkenntnisse zum Vorkommen und Verhalten von Algenmetaboliten (Geschmacks- und Geruchsstoffe, Toxine) bei der Trinkwasseraufbereitung aus Talsperrenwasser. In: Bewirtschaftung und Schutz der Trinkwassertalsperren: Güte und Aufbereitung von Talsperrenwasser. ATT-Schriftenreihe Band 3, pp 317-342

- Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. J. Plankton Research 24: 417-428
- Utermöhl H (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mitt. int. Verh. Limnol. 9: 1-38
- Willmitzer H (1997) Qualitätsziele und ökologische Bewirtschaftung von Trinkwassertalsperren. Wasser & Abwasser 4: 14-18
- Wirtz K W, Niesel V (1999) Modelle in der Ökosystemforschung: Methoden, Bewertung und Empfehlungen. Forschungszentrum TERRAMARE Berichte 11b, pp 126

Autoren:

Dr. Verena Niesel
Dr. Ingrid Chorus
Umweltbundesamt, FG II 3.3
Corrensplatz 1, 14195 Berlin

Email: verena.niesel@uba.de
ingrid.chorus@uba.de

Eberhard Hoehn
LBH
Glümerstr. 2a
79102 Freiburg

Email: lbh@gmx.de

Ralf Sudbrack
Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
Referat Wassergütebewirtschaftung 01782 Pirna

Email: Ralf.Sudbrack@ltv.smul.sachsen.de

Hartmut Willmitzer
Thüringer Fernwasserversorgung
Fachbereich Qualitätsmanagement
Haarbergstraße 37
99097 Erfurt

Email: Hartmut.Willmitzer@thueringer-fernwasser.de