

Amphibien und Gewässer- versauerung 2002

 Untersuchung des Säurezustandes von Stillgewässern des Schwarzwaldes
und des Odenwaldes mittels Bioindikatoren (Amphibien)

In den Jahren 1987 bis 1990 und 1996 wurde der Säurezustand von Stillgewässern des Schwarzwaldes und des Odenwaldes mittels Bioindikatoren (Amphibien) untersucht. Parallel wurden stichprobenartig neben anderen wasserchemischen Parametern die pH-Werte gemessen. In vergleichbarer Weise wurden diese Untersuchungen im Sommer 2002 wiederholt. Die Wiederholuntersuchung ist im Fachdokumentendienst FADO Umweltbeobachtung der LUBW veröffentlicht (ab Dokumenten-Seite 3).

Bereits im Zeitraum 1987 bis 1990 zeigten sich tendenziell steigende pH-Werte in den Gewässern, die jedoch auch durch unterschiedliche Niederschlagsmengen zwischen den Jahren hätten begründet sein können. Eine im Jahr 1996 beobachtete Verbesserung konnte aufgrund des geringen Stichprobenumfangs noch nicht sicher belegt werden. Seit 2002 sind steigende pH-Werte nun eindeutig nachgewiesen. Auch die Populationsent-

wicklung der Amphibien bestätigt eine Verbesserung des Säurezustands. Die Untersuchung im Jahr 2002 zeigt jedoch auch, dass extreme Wetterereignisse, wie schnelle Schneeschmelzen oder Starkregen, zu Säureschüben und daraus folgenden Laichschädigungen führen können.

FAZIT

Trotz der im Jahr 2002 im Vergleich zu den Vorjahren weniger sauren pH-Werten traten dennoch in allen pufferarmen Gewässern kurzfristige, ereignisbezogene starke Säureschübe auf. Die Gewässerversauerung geht deutlich zurück, aber Entwarnung kann für die versauerungssensitiven Einzugsgebiete noch nicht gegeben werden.



IMPRESSUM

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Dr. Jürgen Böhmer, Universität Hohenheim, Institut für Zoologie, Stuttgart, unter Mitwirkung der Bioforum GmbH, Kirchheim/Teck. Für den Inhalt ist der Bearbeiter verantwortlich. Die geäußerten Interpretationen und Einschätzungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.
AUFTRAGGEBER	LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, seit Januar 2006 LUBW, Kontakt: Dr. Harald Gebhardt, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Harald.Gebhardt@lubw.bwl.de , Tel 0721/5600-1222
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U64-M332-J02
STAND	August 2002, Internetausgabe Januar 2010

Nachdruck und Verteilung für kommerzielle Zwecke – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhalt

1.	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG.....	2
2.	UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODIK	2
2.1	LAGE, ENTSTEHUNG UND CHARAKTERISIERUNG DER UNTERSUCHUNGSGEWÄSSER	2
2.2	UMLAND, GEOLOGIE.....	5
2.3	UNTERSUCHUNGSMETHODEN	5
3.	ERGEBNISSE.....	6
3.1.	WASSERCHEMIE.....	6
3.2.	AMPHIBIENBESTÄNDE.....	12
3.3.	SÄURESCHÄDEN BEI AMPHIBIENLAICH	13
4.	DISKUSSION DER BEFUNDE.....	13
4.1.	WASSERCHEMISCHE EINSCHÄTZUNG DES SÄUREZUSTANDS	13
4.1.1.	<i>Aktuelle Situation</i>	13
4.1.2.	<i>Vergleich des heutigen Zustands mit den früheren Daten</i>	13
4.2.	BIOLOGISCHE EINSCHÄTZUNG DES SÄUREZUSTANDS	18
5.	ZUSAMMENFASSENDE SCHLUßFOLGERUNGEN ZUM SÄUREZUSTAND DER GEWÄSSER UND DESSEN ENTWICKLUNG	21
6.	LITERATUR.....	21

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Gewässerversauerung stellt ein kaum mehr beachtetes Umweltproblem im Nordschwarzwald und Odenwald dar. Angesichts rückläufiger SO₂-Emissionen stellt sich die Frage, ob sich der Säurezustand der dortigen Stehgewässer, die Ende der 80er Jahre untersucht wurden (LFU 1988 und 1989, BÖHMER 1987 und 1992a, BÖHMER & RAHMANN 1992a), verbessert hat. Derartige Trendaussagen könnten durch wasserchemische Langzeituntersuchungen erhalten werden. Die hierfür erforderlichen langfristigen Meßreihen bzw. zu installierenden Dauermeßstationen sind jedoch sehr personal- und kostenintensiv. Außerdem lassen sich hieraus kaum Aussagen zu den Auswirkungen auf das betroffene Ökosystem ableiten. Hier bieten sich also weniger aufwendige bioindikatorische Methoden an, die über längere Zeiträume integrierend die Wirkungen auf die Organismen aufzeigen. Zur Bioindikation des Säurezustands von Stehgewässern können Amphibien sowie eine Reihe anderer aquatischer Organismen herangezogen werden (BÖHMER 1992b, BÖHMER & RAHMANN 1992a).

Die vorliegende Studie verfolgt daher das Ziel, den Säurezustand von 38 Stehgewässern des Nordschwarzwaldes durch Bioindikation mittels Amphibienpopulationen in vergleichbarer Weise zu den Untersuchungen von 1987-1990 und 1996 zu erfassen, um daraus Trendaussagen zur Entwicklung des Säurezustands seit 1987 abzuleiten.

2. Untersuchungsgebiet und Methodik

2.1 *Lage, Entstehung und Charakterisierung der Untersuchungsgewässer*

Das **Hauptuntersuchungsgebiet** liegt im Bereich der Landkreise Freudenstadt, Rastatt und Calw in der Mittelgebirgslandschaft des Nordschwarzwaldes in Höhenlagen zwischen 450 und 950 m über NN (Abb.1). Die Odenwaldgewässer liegen in vergleichbaren Mittelgebirgs-lagen bei Schriesheim nordöstlich von Heidelberg.

Das **Klima** dieser Mittelgebirge ist atlantisch geprägt. Mit 900 - 2200 mm Niederschlag, davon 25 - 35 % als Schnee, stellt der Nordschwarzwald den niederschlagsreichsten Teil des Schwarzwaldes dar. Die mittlere Jahrestemperatur liegt – je nach Höhenlage – zwischen 5 und 8° C.

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein breites Spektrum von Stehgewässern unterschiedlichster Größe, Morphologie und Geologie ausgewählt, um die Einflüsse dieser Faktoren auf den Versauerungsgrad der Gewässer feststellen und beurteilen zu können. Eine Auflistung der insgesamt 38 untersuchten Seen, Klein- und Kleinstgewässer gibt Tab.1.

Der **Untersuchungsschwerpunkt** lag hierbei auf vier sogenannten Karseen im Schwarzwald, nämlich dem Ellbachsee, dem Huzenbachersee, dem Schurmsee sowie dem Herrenwiesersee.

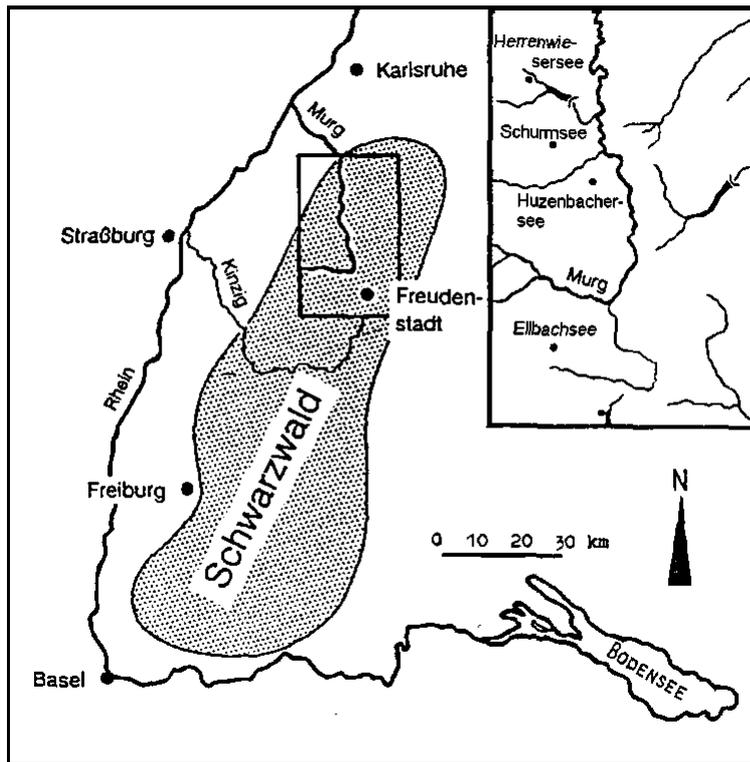


Abb.1: Geographische Lage der Untersuchungsgewässer im Nordschwarzwald

Die Bezeichnung Karseen leitet sich von ihrer Entstehung ab. Kare sind schüsselförmige Vertiefungen in absonnig gelegenen Berghängen. Sie entstanden während der Eiszeiten durch die Tätigkeit kleiner Kargletscher, die den Berghang immer weiter aushöhlten. In der Endmoräne am Ende der Vertiefung wurde das abgetragene Material als sogenannter Karriegel deponiert. Der Karriegel wirkte nach dem Abschmelzen des Eises als Staudamm. Die so entstandenen Karseen verkleinerten sich jedoch im Laufe der Zeit, da die Abflüsse sich immer tiefer in die Endmoräne eingruben und damit den Wasserspiegel absenkten. Gleichzeitig setzte die Verlandung ein. Die meisten Karseen des Nordschwarzwaldes sind daher verschwunden. Nur noch sieben sind erhalten geblieben. Der oben genannte Huzenbachersee wurde vom Menschen wieder etwas aufgestaut, der Ellbachsee dagegen weiter abgesenkt.

Tab.1: Die auf ihren Säurezustand hin untersuchten Gewässer des Nordschwarzwaldes und Odenwaldes im Überblick

Name des Gewässers	Lage bei	Wasserfläche	Tiefe (max., m)	Entstehung	derzeitige Nutzung
Schwarzwald					
Birre (5 Tümpel)	Freudenstadt	0,1 ha	1	Stau durch Straßendamm	keine
Braunweiher	Mitteltal	400 m ²	1	angelegt	keine
Buhlbachsee	Obertal	1,3 ha	3,5	Karsee	Naturschutzgebiet
Christophstal	Christophstal	30 m ²	0,4	vermutl. angelegt	keine
Dammerswiesenteich	Klosterreichenbach	500 m ²	1,5	angelegt	keine
Dreieckstümpel	Klosterreichenbach	18 m ²	0,2	Forstwegbau	keine
Eilbichsee	Mitteltal	0,36 ha	2,5	Karsee	Naturdenkmal
Fischteich Dammerswiesen	Klosterreichenbach	90 m ²	0,6	angelegt	keine
Herrenwiesersee	Herrenwies	1,1 ha	9,5	Karsee	Wanderrastplatz
Huzenbachersee	Huzenbach	2,1 ha	7,5	Karsee	Wanderrastplatz
Kaltenbachsee	Gompelscheuer	0,4 ha	1,5	Stausee	Wanderrastplatz
Kaltenbachtiche (6 Gewässer)	Gompelscheuer	80-200 m ²	1,5	angelegt	keine
Kuhbrunnen	Freudenstadt	200 m ²	1,5	angelegt	keine
Poppelsee	Poppeltal	0,5 ha	3	Stausee	Rastplatz
Schurmsee	Schönmünzach	1,4 ha	14	Karsee	Naturschutzgebiet
Steinmäuerte	Klosterreichenbach	4,5 m ²	0,2	Forstwegbau	keine
Waldmulde	Klosterreichenbach	1 m ²	0,15	Baumsturz	keine
Waldtümpel	Klosterreichenbach	1,5 m ²	0,15	Baumsturz	keine
Waldweg	Klosterreichenbach	5 m ²	0,2	Radspuren	keine
Wegtümpel	Klosterreichenbach	15 m ²	0,2	Radspuren	keine
Odenwald					
Bachmulde Schönau	Stamberg	250 m ²	1,5	Aufgestaut	keine
Drecksümpel		50 m ²	0,5	Angelegt	keine
Hauptstaubecken	Stamberg	1,2 ha	5	Stausee	Hochwasserrückhaltebecken
Katzenbachtümpel	Stamberg	10 m ²	0,5	vermutl. aufgestaut	keine
Staudammtümpel	Stamberg	50 m ²	1,5	angelegt	Tosbecken für Seeüberlauf
Staudammtümpel 2	Stamberg	12 m ²	0,4	Stau d. Damm	
Steinbachtümpel	Stamberg	110 m ²	1,2	aufgestaut	keine
Tümpel 1 b. Stausee	Stamberg	4 m ²	0,3	Quellmulde	keine
Tümpel 2 b. Stausee	Stamberg	5 m ²	0,25	Quellmulde	keine

2.2 Umland, Geologie

Die Karseen liegen in mit Tannen und Buchen durchsetzten Fichtenwäldern, unbeeinflusst von menschlichen Siedlungen oder Industrie in den Einzugsgebieten. Die anderen Gewässer des Schwarzwalds und des Odenwalds befinden sich zum Teil ebenfalls im Wald, einige sind aber auch von Grünland umgeben.

Der **geologische Untergrund** der Untersuchungsgebietes besteht im wesentlichen aus mittlerem Buntsandstein. Dieses Gestein ist extrem kalk- und basenarm und besitzt damit wenig Pufferkapazität, die bei der Verwitterung und Bodenbildung frei werden und den "Sauren Regen" neutralisieren könnte. Dementsprechend bilden sich vorwiegend basenarme Podsolböden aus, die zur Ortsteinbildung neigen. Gewässer, deren Einzugsgebiete ausschließlich auf mittlerem Buntsandstein liegen, sind überwiegend stark sauer ($\text{pH} < 5$). Etwas basenreicher sind der obere und untere Buntsandstein sowie die Urgesteine Granit und Gneis. Der Einfluß des oberen Buntsandstein im Einzugsgebiet des Ellbachsees führt dort zu pH-Werten zwischen 5 und 7.

2.3 Untersuchungsmethoden

Die angewandten Untersuchungsmethoden wurden nach BÖHMER & RAHMANN (1992a) durchgeführt und werden im folgenden kurz charakterisiert.

Untersuchungstermine:

Die Karseen wurden jeweils an 26 Tagen im Zeitraum vom 19.3. - 1.8.02 besucht. An allen Terminen wurden wasserchemische Messungen durchgeführt. Die weiteren Stehgewässer wurden in diesem Zeitraum jeweils mindestens dreimal aufgesucht.

Abiotische Messungen:

Sie erfolgten jeweils im Abfluß und den Zuflüssen der Seen. Die Parameter pH, Leitfähigkeit und Temperatur wurden in ruhenden Wasserproben mit elektrischen Meßgeräten der Firma WTW gemessen. Die Wasserhärte wurde nach DIN mit 1:10 verdünnter Titriplex-Lösung bestimmt. Extinktionsmessungen der Wasserproben als Maß für den Huminsäuregehalt erfolgten bei 254 und 260 nm.

Die Untersuchungen zu den Konzentrationen an den Metallen Al, Cd, Pb und Zn in insgesamt 176 Wasserproben wurden von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg mittels ICP durchgeführt. Die Wasserproben wurden zuvor, noch am Tag der Probenahme, filtriert und durch Zugabe von 1% HNO_3 in Teflon-Probegefäßen konserviert.

Biologische Erhebungen:

Die Molche wurden durch Beobachtungen, Keschern und in den Karseen auch mittels Kleinreusen nach BÖHMER (1987) erfaßt. Laichkartierungen an den zugänglichen Bereichen dienten der Erfassung von Anzahl und Schäden des Laichs von Grasfrosch und Erdkröte.

Auswertung:

Die erhaltenen Ergebnisse wurden nach Böhmer (1992b) zur Bioindikation des Säurezustands der Gewässer genutzt. Die erhaltenen Einstufungen sowie die Originaldaten wurden sodann mit den Resultaten der Jahre 1987-1990 (BÖHMER und RAHMANN 1992) & 1996 (BÖHMER 1996) verglichen, um Tendaussagen zur Entwicklung des Säurezustands abzuleiten.

3. Ergebnisse

3.1. Wasserchemie

Der wichtigste chemische Parameter bei Untersuchungen zum Säurezustand von Gewässern ist naturgemäß der **pH-Wert**. In den Untersuchungsgewässern und deren Zuflüsse wurden im Untersuchungszeitraum pH-Werte zwischen 4,1 und 9,9 gemessen (Tab. 2). Die mittleren pH-Werte (der Seeabflüsse betragen zwischen 4,6 im Schurmsee sowie im Herrenwiesersee und 9,3 in einem Kleingewässer.

Die **Leitfähigkeiten** der Karseen und ihrer Zuflüsse waren mit 10 bis 172 $\mu\text{S}/\text{cm}$ als sehr gering zu bezeichnen. In den anderen, teils kalkreicheren Kleingewässern wurden Werte bis 504 $\mu\text{S}/\text{cm}$ beobachtet. Sie stehen in engem Zusammenhang mit den pH-Werten und erreichten ein Minimum bei pH 5,2. Bei höheren pH-Werten waren sie positiv, bei niedrigeren negativ mit diesen korreliert (Abb. 2).

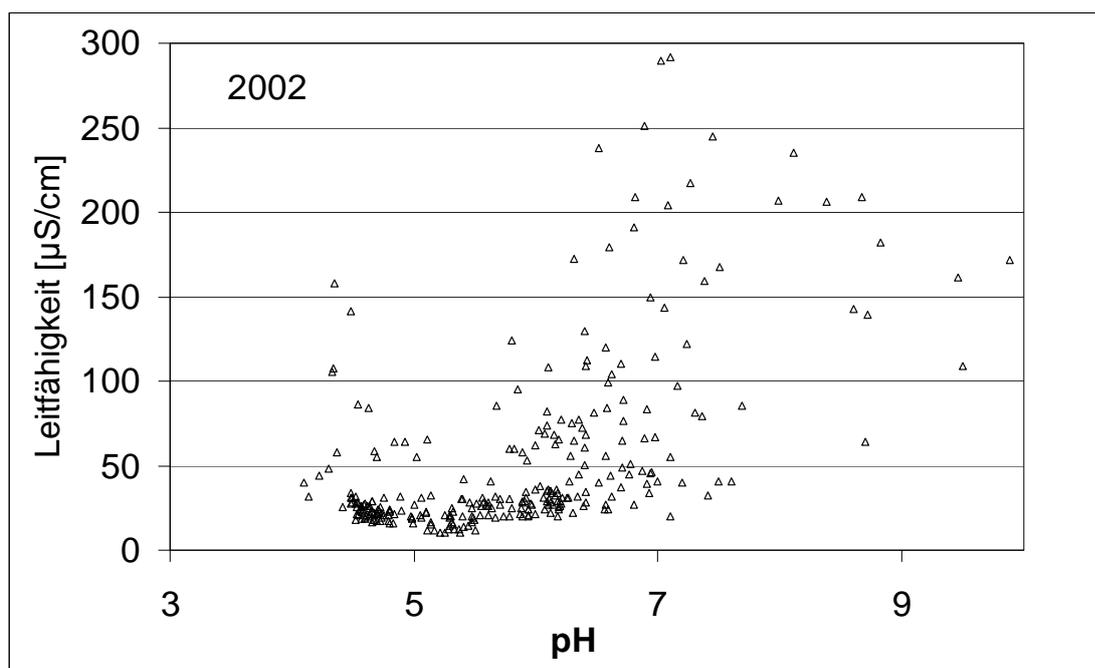


Abb. 2: Abhängigkeit der Leitfähigkeit vom pH (alle Meßwerte von 2002).

Tab. 2: Mittel und Spannbreiten der pH-Werte sowie die weiteren nach DIN gemessenen wasserchemischen Parameter in den Untersuchungsgewässern

Gewässer	Zu- fluß	Meß- tage	Zeitraum	pH- Spanne	pH Ø	T °C Ø	Lf Ø µS/cm	Härte Ø °dH	Ext. 254 Ø	Ext. 260 Ø	O2 % Ø
Bachmulde		3	05.-01.08.02	5,68 - 6,29	6,0	13,9	89	1,79	0,04	0,04	90
Birre Tümpel 1		1	26.-26.03.02	8,79 - 8,79	8,8	8,9	504	13,35	0,13	0,12	
Birre Tümpel 2		5	26.-23.07.02	8,6 - 9,88	9,3	13,3	154	4,40	0,16	0,16	135
Birre Tümpel 3		5	26.-23.07.02	6,94 - 8,38	7,8	13,3	208	6,09	0,20	0,19	147
Birre Tümpel 4		2	26.-09.04.02	7,08 - 8,72	7,9	8,1	172	5,54	0,45	0,44	
Birre Tümpel 5		1	18.-18.04.02	8,67 - 8,67	8,7	10,0	209	6,75	0,13	0,12	
Braunweiher		7	26.-18.06.02	4,69 - 5,78	5,0	14,6	18	0,26	0,67	0,64	
Buhlbachsee		8	26.-18.06.02	4,68 - 5,63	5,1	14,5	57	0,33	0,55	0,53	
Buhlbachsee	Zufl.	10	26.-18.06.02	4,24 - 4,63	4,4	8,3	106	0,50	0,34	0,33	
Christophstal		1	22.-22.03.02	6,4 - 6,4	6,4	7,7	129	2,02	0,10	0,09	
Dammerwieser FT		6	22.-23.07.02	6,76 - 7,6	7,1	9,5	44	0,97	0,04	0,04	135
Dammerwieser See		5	22.-23.07.02	6,93 - 7,41	7,1	11,9	33	0,80	0,14	0,14	130
Drecktümpel		3	05.-01.08.02	6,89 - 7,24	7,1	14,1	172	3,69	0,43	0,41	43
Dreieckstümpel		5	22.-30.07.02	6,51 - 7,1	6,8	12,5	49	1,39	0,26	0,25	108
Ellbachsee		44	19.-25.07.02	5,04 - 6,62	5,9	14,7	37	0,42	0,18	0,18	82
Ellbachsee	Zufl.	40	19.-25.07.02	5,14 - 6,57	6,0	9,1	27	0,40	0,11	0,10	104
Hauptstaubecken		3	05.-01.08.02	7,21 - 7,27	7,2	16,2	194	3,63	0,09	0,09	97
Herrenwiesersee		36	04.-25.07.02	4,44 - 5,06	4,6	16,8	21	0,17	0,51	0,49	103
Herrenwiesersee	Zufl.	32	19.-25.07.02	4,14 - 5,4	4,5	9,3	28	0,24	0,48	0,46	104
Huzenbachersee		43	19.-25.07.02	4,99 - 5,51	5,3	17,5	14	0,21	0,33	0,31	107
Huzenbachersee	Zufl.	28	19.-25.07.02	4,62 - 5,94	5,5	8,6	26	0,27	0,20	0,19	106
Kaltenbachsee		40	22.-06.08.02	4,89 - 6,48	5,7	11,7	33	0,65	0,20	0,19	90
Kaltenbachsee	Zufl.	25	22.-25.07.02	4,68 - 6,25	5,8	9,0	28	0,43	0,12	0,11	110
Kaltenbachteiche		12	22.-18.07.02	5,92 - 6,41	6,2	8,2	34	0,64	0,06	0,05	
Katzenbachtümpel		3	05.-01.08.02	5,8 - 6,09	6,0	15,7	93	1,48	0,14	0,14	79
Kleinstgewässer im Wald		1	02.-02.04.02	5,93 - 5,93	5,9	13,7	53	1,54	1,12	1,06	
Kuhbrunnen		6	09.-23.07.02	5,41 - 6,35	6,0	10,1	64	1,38	0,13	0,12	56
Kuhbrunnen	Zufl.	2	09.-18.04.02	6,07 - 8,7	7,4	6,6	67	0,98	0,25	0,23	41
Poppelsee		8	22.-25.07.02	5,78 - 6,89	6,3	8,7	60	0,64	0,14	0,13	
Poppelsee	Zufl.	9	22.-25.07.02	6,02 - 6,8	6,3	8,3	58	0,60	0,16	0,16	
Schurmsee		40	19.-25.07.02	4,48 - 5,32	4,7	16,5	22	0,18	0,34	0,33	100
Schurmsee	Zufl.	28	19.-25.07.02	4,1 - 4,84	4,5	9,1	28	0,19	0,27	0,22	90
Staudammt. (Ecke)		2	05.-23.04.02	6,8 - 7,51	7,2	11,3	179	3,24	0,07	0,07	120
Staudammtümpel		3	05.- 01.08.02	6,59 - 7,38	7,0	15,4	159	2,50	0,17	0,17	94
Staudammtümpel	Zufl.	3	05.-01.08.02	6,91 - 7,69	7,3	12,9	83	1,04	0,07	0,07	98
Steinbachtümpel		3	05.-01.08.02	6,41 - 6,62	6,5	13,9	109	2,17	0,03	0,02	90
Steinmäuerte		4	02.-30.07.02	6,41 - 6,94	6,7	15,5	57	1,79	1,32	1,25	100
Tümpel 1 oh.Staub.		3	05.-01.08.02	7,02 - 7,36	7,2	12,8	295	5,79	0,15	0,14	50
Tümpel 2 oh.Staub.		3	05.-01.08.02	6,51 - 6,6	6,6	12,4	209	4,01	0,56	0,54	59
Waldmulde		1	22.-22.03.02	7,3 - 7,3	7,3	6,3	81	2,84	0,52	0,49	
Waldtümpel		4	02.-30.07.02	6,28 - 6,7	6,5	11,3	90	2,55	0,77	0,74	28
Waldweg		1	22.-22.03.02	7,2 - 7,2	7,2	5,8	40	1,28	0,70	0,67	
Wegtümpel		5	22.-30.07.02	6,72 - 7,16	6,9	11,9	83	2,45	0,45	0,43	61

Die **Wasserhärte** spiegelt das Puffervermögen der Gewässereinzugsgebiete wider. Sie war positiv mit dem pH korreliert (Abb. 3).

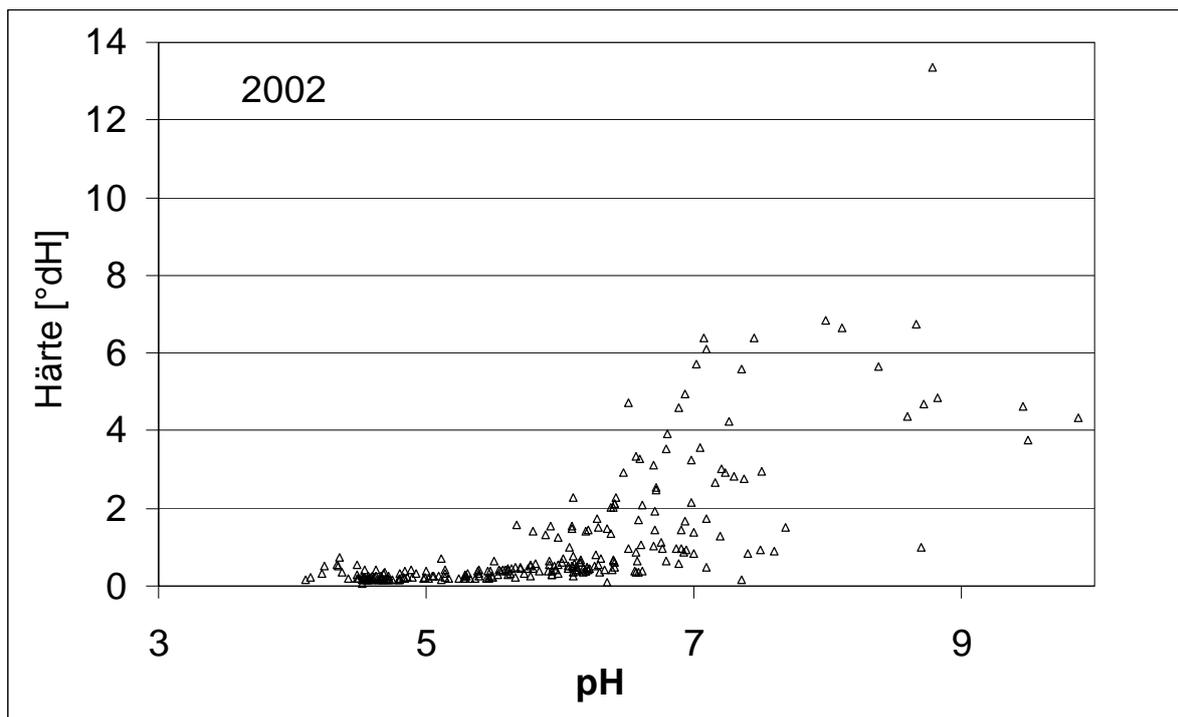


Abb. 3: Korrelation der gemessenen pH-Werte mit den Gesamthärten (alle Meßwerte 2002).

Die **UV-Extinktion** (bei 254 oder 260 nm; die Vergleichsmessungen ergaben nur geringfügige Unterschiede zwischen den Extinktionen bei den beiden Wellenlängen) ist ein Maß für den Gehalt an Huminsäuren im Wasser. Die Gesamtdaten der UV-Extinktion waren negativ mit dem pH korreliert. Ein deutlicher Anstieg findet aber erst unterhalb pH 4,5 statt (Abb. 4), d.h. sowohl in sehr stark sauren Gewässern als auch nach starken Säureschüben. Die wenigen erhöhten UV-Extinktions-Werte bei höheren pH-Werten wurden in Kleinstgewässern gemessen, in denen zugeströmtes stark saures Wasser neutralisiert wurde.

Die Löslichkeit vieler **Schwermetalle** sowie von **Aluminium** erhöht sich in saurem Wasser. Mit Ausnahme des Zinks stiegen die Konzentrationen exponentiell mit zunehmendem Säuregrad eines Sees (Abb. 4-7 und Tab. 3). Auch beim Zink wurde eine Zunahme der Konzentrationen mit abnehmendem pH gemessen, jedoch wurden die höchsten Konzentrationen in kleinen austrocknenden Tümpeln gefunden.

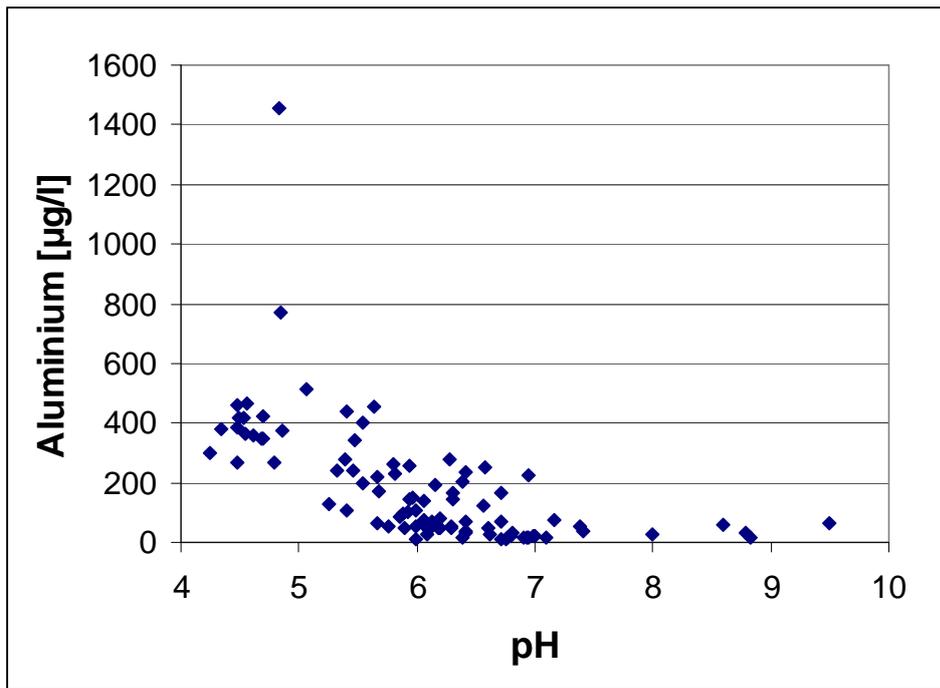


Abb. 4: Korrelation der pH-Werte mit Aluminium (alle Meßwerte 2002).

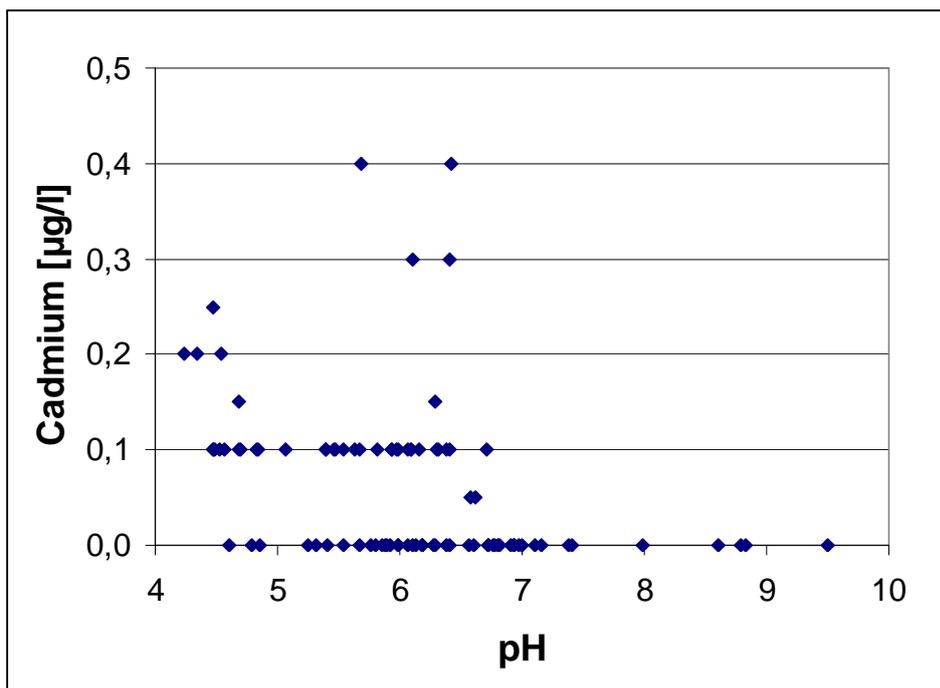


Abb. 5: Korrelation der pH-Werte mit Cadmium (alle Meßwerte 2002).

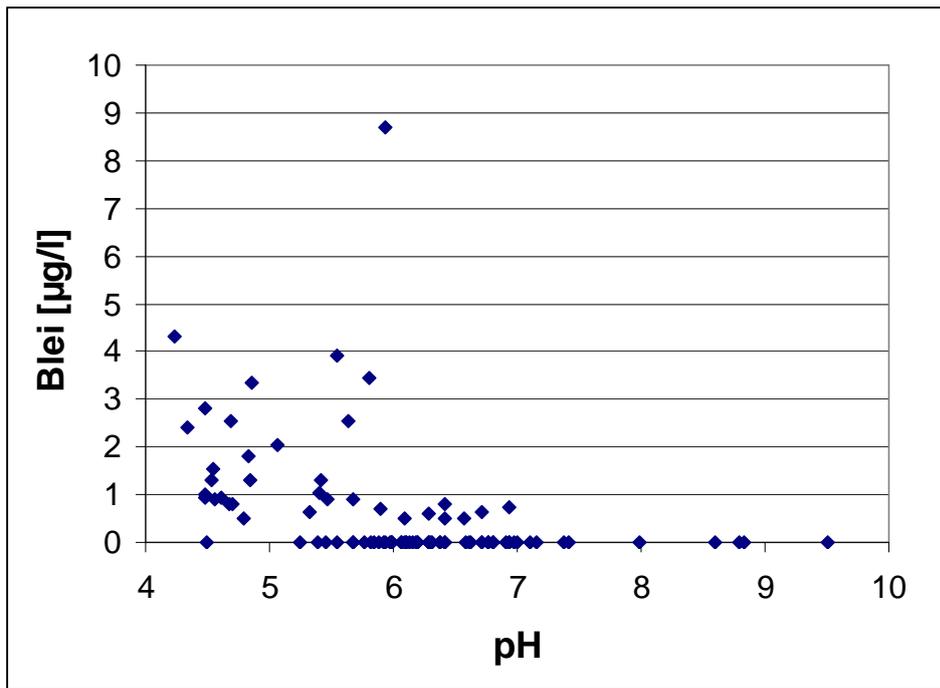


Abb. 6: Korrelation der pH-Werte mit Blei (alle Meßwerte 2002).

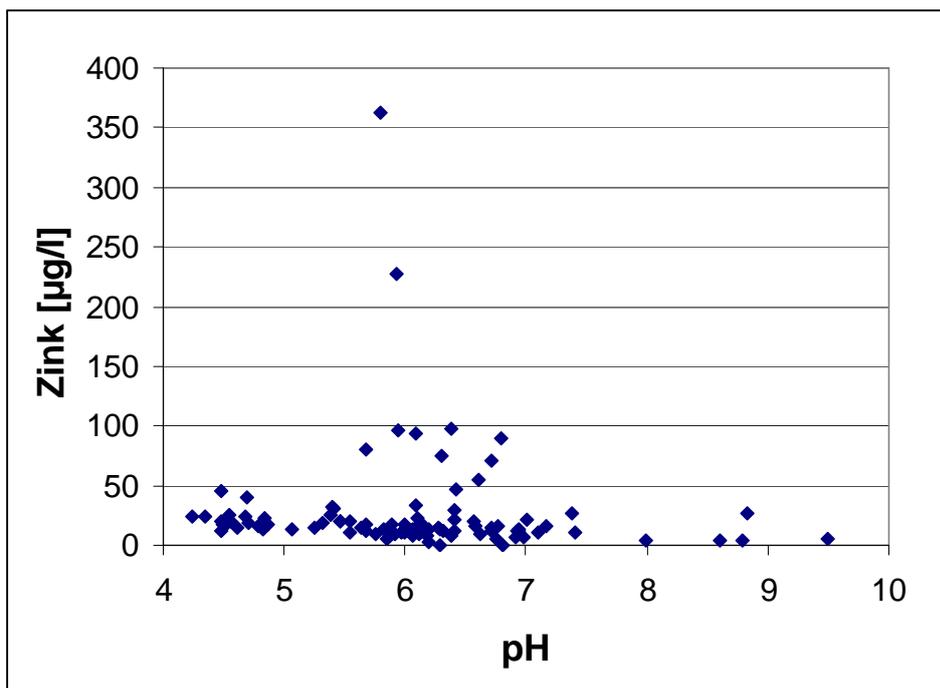


Abb. 7: Korrelation der pH-Werte mit Zink (alle Meßwerte 2002).

Tab. 3: Mittelwerte der Schwermetalle und des gelösten Aluminiums im Vergleich zum pH in den Untersuchungsgewässern

Gewässer	Meß- tage	Zeitraum	pH Ø	Al µg/l Ø	Cd µg/l Ø	Pb µg/l Ø	Zn µg/l Ø
Bachmulde	3	05.-01.08.02	6,0	90	0,3	0,3	38,8
Birre Tümpel 1	1	26.-26.03.02	8,8	32	0,0	0,0	4,0
Birre Tümpel 2	5	26.-23.07.02	9,3	48	0,0	0,0	12,5
Birre Tümpel 3	5	26.-23.07.02	7,8	21	0,0	0,0	9,3
Birre Tümpel 4	2	26.-09.04.02	7,9				
Birre Tümpel 5	1	18.-18.04.02	8,7				
Braunweiher	7	26.-18.06.02	5,0	781	0,1	2,4	14,5
Buhlbachsee	8	26.-18.06.02	5,1	428	0,1	3,0	24,7
Buhlbachsee Zufluß	10	26.-18.06.02	4,4	327	0,2	2,8	29,8
Christophstal	1	22.-22.03.02	6,4				
Dammerwieser FT	6	22.-23.07.02	7,1	14	0,0	0,0	9,7
Dammerwieser See	5	22.-23.07.02	7,1	25	0,0	0,0	14,7
Drecktümpel	3	05.-01.08.02	7,1				
Dreieckstümpel	5	22.-30.07.02	6,8	30	0,0	0,0	24,3
Ellbachsee	44	19.-25.07.02	5,9	90	0,0	0,0	24,7
Ellbachsee Zufluß	40	19.-25.07.02	6,0	88	0,1	0,0	32,9
Hauptstaubecken	3	05.-01.08.02	7,2				
Herrenwiesersee	36	04.-25.07.02	4,6	388	0,1	1,1	16,8
Herrenwiesersee Zufluß	32	19.-25.07.02	4,5	427	0,1	1,0	21,3
Huzenbachersee	43	19.-25.07.02	5,3	237	0,0	0,5	17,8
Huzenbachersee Zufluß	28	19.-25.07.02	5,5	167	0,1	0,0	9,2
Kaltenbachsee	40	22.-06.08.02	5,7	157	0,1	0,0	16,3
Kaltenbachsee Zufluß	25	22.-25.07.02	5,8	155	0,1	0,0	12,8
Kaltenbachteiche	12	22.-18.07.02	6,2	60	0,0	0,0	10,2
Katzenbachtümpel	3	05.-01.08.02	6,0	112	0,1	1,3	163,5
Kleinstgewässer im Wald	1	02.-02.04.02	5,9	257	0,1	8,7	227,5
Kuhbrunnen	6	09.-23.07.02	6,0	53	0,0	0,5	19,0
Kuhbrunnen Zufluß	2	09.-18.04.02	7,4				
Poppelsee	8	22.-25.07.02	6,3	150	0,1	0,0	8,8
Poppelsee Zufluß	9	22.-25.07.02	6,3	166	0,1	0,0	12,8
Schurmsee	40	19.-25.07.02	4,7	362	0,1	0,7	20,2
Schurmsee Zufluß	28	19.-25.07.02	4,5	513	0,1	0,7	19,8
Staudammtümpel	2	05.-23.04.02	7,0	55	0,0	0,0	27,0
Staudammtümpel (Ecke)	2	05.-23.04.02	7,2	22	0,0	0,0	89,0
Staudammtümpel Zufluß	3	05.-01.08.02	7,3				
Staudammtümpel/Ecke	1	01.-01.08.02	6,8	31	0,0	0,0	0,0
Steinbachtümpel	3	05.-01.08.02	6,5	34	0,3	0,2	25,8
Steinmäuerte	4	02.-30.07.02	6,7	208	0,0	0,7	37,7
Tümpel 1 oh. Staubecken	3	05.-01.08.02	7,2				
Tümpel 1 oh. Staubecken	3	05.-01.08.02	6,6				
Waldmulde	1	22.-22.03.02	7,3				
Waldtümpel	4	02.-30.07.02	6,5	202	0,0	0,4	44,0
Waldweg	1	22.-22.03.02	7,2				
Wegtümpel	5	22.-30.07.02	6,9	52	0,0	0,0	14,0

3.2. Amphibienbestände

Grasfrösche und Molche wurden im Bereich aller Gewässer vorgefunden, Erdkröten dagegen nur in einem Teil der Gewässer (Tab. 4). Erdkrötenbestände traten nicht in Gewässern mit mittleren pH-Werten < 5,3 auf, jedoch fanden sich einzelne Erdkröten am Herrenwiesersee und am Schurmsee.

Die Zahl der Grasfroschlaichballen ist ein Maß für die Populationsgröße der Grasfrösche. Sie wurde für die Gewässer erhoben, bei denen eine Zählung möglich war.

Weitere Daten, wie Molchbestandsdichten und Populationsstruktur der Molche werden von BAUER (2003) und REHDER (2003) dargestellt.

Tab. 4: Beobachtete Amphibienarten im Bereich der Untersuchungsgewässern 2002.

Gewässer	Grasfrosch / Zahl der Laichballen	Erdkröte	Bergmolch	Faden- molch	Teich- molch	Kreuz- kröte
Bachmulde	X	X	X			
Birre Tümpel 1	X	X	X		X	X
Birre Tümpel 2	X	X	X		X	X
Birre Tümpel 3	X	X	X		X	X
Birre Tümpel 4	X	X	X		X	X
Birre Tümpel 5	X	X	X		X	x
Braunweiher	X		X	X		
Buhlbachsee	X/1160		X	X		
Christophstal	X/120		X			
Dammerwieser FT	X	X	X	X		
Dammerwieser See	X/>500	X	X	X		
Drecksümpel	X	X	X			
Dreiecksümpel	X	X	X			
Ellbachsee	X/670	X	X	X		
Hauptstaubecken	X	X	X			
Herrenwiesersee	X/375		X	X		
Huzenbachersee	X	X	X	X		
Kaltenbachsee	X/380		X	X		
Kaltenbachteiche	X/935		X	X		
Katzenbachtümpel	X		X			
Kleinstgewässer im Wald	X	X	X	X		
Kuhbrunnen	X/610	X	X	X		
Poppelsee	X/83	X	X	X		
Schurmsee	X/416		X	X		
Staudammtümpel	X	X	X			
Staudammtümpel / Ecke	X	X	X			
Staudammtümpel(Ecke)	X	X	X			
Steinbachtümpel	X		X			
Steinmauerle	X		X	X		
Tümpel1 oh. Staubecken	X	X	X			
Tümpel1 oh. Staubecken	X	X	X			
Waldmulde	X		X	X		
Waldtümpel	X		X	X		
Waldweg	X		X	X		
Wegtümpel	X		X	X		

3.3. Säureschäden bei Amphibienlaich

Unter der Einwirkung niedriger pH-Werte kommt es zu einer erhöhten Absterberate der sich entwickelnden Embryonen mit typischen milchigen Eintrübungen der inneren Gallerthüllen. Tab. 5 gibt einen Überblick über die im Jahre 2002 beobachteten Laichschädigung in den untersuchten Gewässern des Nordschwarzwalds und Odenwalds. Es handelte sich immer um typische Säureschäden mit Ausnahme des Ellbachsees, wo nur die Schädigungen im westlichen Bereich des Sees mit den charakteristischen Trübungen verbunden waren. Die Schädigungen in den anderen Bereichen dieses Sees können daher nicht mit Sicherheit auf Säureeinwirkung zurückgeführt werden.

4. Diskussion der Befunde

4.1. Wasserchemische Einschätzung des Säurezustands

4.1.1. Aktuelle Situation

Zu Beginn der Messungen 2002 traten im gesamten Nordschwarzwald extrem hohe Wasserstände auf. Im Odenwald waren die Hochwasserstände nicht so extrem. Bei der ersten Begehung der Gewässer Mitte März waren sie schon wieder im Rückgang begriffen, wie aus Ansammlungen von Getreibsel und Sedimentablagerungen auf der Ufervegetation geschlossen werden konnte. Für den Kaltenbachsee muß der maximale Pegel beispielsweise mindestens ein Meter über dem schon als sehr hoch zu bezeichnenden Stand bei der ersten Begehung gelegen haben. Die intensiven wasserchemischen Untersuchungen in den Jahren 1987 bis 1990 im Nordschwarzwald (BÖHMER & RAHMANN 1992a) zeigten eine Abnahme der **pH-Werte** mit zunehmender Niederschlagsmenge. Hohe Niederschlagsmengen führten dabei zumeist zu Säureschüben in den Seen. Trotz der hohen Wasserstände 2002 lagen die pH-Werte jedoch höher als bei den Untersuchungen 1987 u-1990 und 1996.

Es muß jedoch davon ausgegangen werden, daß im Verlauf der Hochwasserwelle auch niedrigere pH-Werte als die gemessenen auftraten.

4.1.2. Vergleich des heutigen Zustands mit den früheren Daten

Beim direkten Vergleich der wasserchemischen Meßwerte mit den früheren Daten ist zu erkennen, daß die pH-Werte der intensiver untersuchten Karseen 1996 überwiegend höher lagen als in den gleichen Monaten der Jahre 1987-1990, und 2002 trotz des feuchten Frühjahrs nochmals höher ausfielen, so daß 2002 die Mittelwert der Seen so hoch oder sogar höher als der höchste Mittelwert der Vorjahre ausfiel (Tab. 6). Der gleiche Trend ist auch im Odenwald zu beobachten.

Insgesamt fällt auf, daß sich insbesondere die am stärksten sauren Gewässer verbessert haben, weniger oder gar nicht dagegen die neutral bis schwach sauren.

Tab. 5: Beobachtete Laichschädigungen bei Grasfrosch und Erdkröte im Frühjahr 2002 im Nordschwarzwald.

Gewässer	Zeitraum	pH-Spanne	Ø pH	Amphibienart	Mittlere Laichschädigung	Bemerkungen
Schwarzwald						
Buhlbachsee	26.03. - 16.05.	4,69 - 5,63	4,91	Grasfrosch	< 1 %	
Eilbachsee gesamt	19.03. - 21.05.	5,88 - 6,62	6,06	Grasfrosch	30 %	
				Erdkröte	40%	
Eilbachsee mittlerer Arm	02.04. - 16.05.	5,88 - 6,57	6,06	Grasfrosch	15 %	vermutlich nicht säurebedingt, da nur schwache Gallertentrübung
Herrenwiesersee	04.04. - 21.05.	4,53 - 4,8	4,62	Grasfrosch	40%	
Huzenbachersee	19.03. - 21.05.	4,99 - 5,47	5,25	Grasfrosch	20%	
				Erdkröte	1 - 10 %	
Schurmsee	19.03. - 21.05.	4,48 - 5,02	4,61	Grasfrosch	70 - 80 %	Einzelballen bis 98 % Schädigung
Kaltenbachsee	22.03. - 21.05.	4,89 - 6,35	5,35	Grasfrosch	70 - 90 %	viele mit 100% Schädigung
Poppelsee	22.03. - 10.05.	5,78 - 6,89	6,08	Grasfrosch	1 - 2 %	1 Ballen mit 80 %
Kaltenbachteiche	22.03. - 10.05.	6,03 - 6,41	6,15	Grasfrosch	80 - 95 %	25 Ballen < 1 %, zumeist aber fast 100 %
Kuhbrunnen	09.04. - 21.05.	6,19 - 6,35	6,24	Grasfrosch	40%	
Steinmäuerte	02.04. - 16.05.	6,71 - 6,94	6,77	Grasfrosch	keine	
Wegtümpel	22.03. - 16.05.	6,72 - 7,16	6,94	Grasfrosch	keine	
Birre	26.03. - 21.05.	7,08 - 9,88	7,9	Grasfrosch	< 0,5 %	
	26.03. - 21.05.			Erdkröte	< 0,5 %	
Braunweiher	26.03. - 16.05.	4,83 - 5,78	5,09	Grasfrosch	5%	
Dammerwieser Fischteich	22.03. - 16.05.	6,77 - 7,5	6,94	Grasfrosch	20%	
Dammerwiesenteich	22.03. - 16.05.	6,93 - 7,1	6,99	Grasfrosch	5%	
				Erdkröte	< 1 %	
Dreieckstümpel	22.03. - 16.05.	6,51 - 6,98	6,67	Grasfrosch	keine	
Waldtümpel	02.04. - 16.05.	6,28 - 6,70	6,42	kein Laich	-	
Christophstal	22.03.	6,4	6,4	Grasfrosch	keine	
Odenwald						
Drehtümpel	05.04.- 23.04.	7,05 - 7,24	7,13	Grasfrosch	70 - 90 %	
Katzenbachtümpel	05.04.-23.04.	6,09	6,09	Grasfrosch	90%	
Bachmulde	05.04.- 23.04.	5,68 - 6,1	5,84	Grasfrosch	20 - 25 %	
				Erdkröte	20%	
Staudammtümpel	05.04.- 23.04.	6,59 - 7,51	6,91	Grasfrosch	60%	Uferbereich mit sauren Wasserzutritt bis 95% Schäden
				Erdkröte	keine	
Steinbachtümpel	05.04.-23.04.	6,41 - 6,42	6,41	Grasfrosch	keine	
Tümpel 1 b. Staub.	05.04.-23.04.	7,02 - 7,36	7,16	Grasfrosch	90%	
Tümpel 2 oh. Staubecken	05.04.-23.04.	6,51 - 6,6	6,55	Grasfrosch	keine	
Hauptstaubecken	05.04.-23.04.	7,21	7,21	Grasfrosch	keine	
				Erdkröte	< 1 %	

Tab. 6: mittlere delogarithmierte pH-Werte der Karseen im Vergleich der Jahre 1987-90, 1996 und 2002.

* n = 75 Messungen ** n = 6 Messungen *** n = 26 Messungen

Gewässer	mittlerer pH		
	1987-1990*	1996**	2002***
Birre Tümpel 1	8,1		8,8
Birre Tümpel 2			9,3
Birre Tümpel 3			7,8
Birre Tümpel 4			7,9
Birre Tümpel 5			8,7
Braunweiher	4,3		5,0
Buhlbachsee	4,5		5,1
Christophstal	6,5-6,8		6,4
Dammerwieser Fischteich	6,0-6,7		7,1
Dammerwieser See	6,5-6,8		7,1
Dreieckstümpel	6,3-8,2		6,8
Ellbachsee	5,5-5,9	6,1	5,9
Ellbachsee Zufluß	5,5		6,0
Herrenwiesersee	4,3-4,4	4,6	4,6
Huzenbachersee	4,5-5,0	5,0	5,3
Huzenbachersee Zufluß	4,7		5,5
Kaltenbachsee	4,7		5,7
Kaltenbachsee Zufluß	4,6		5,8
Kaltenbachteiche	5,8		6,2
Kleinstgewässer im Wald	4,1		5,9
Kuhbrunnen	6,2-6,6		6,0
Poppelsee	5,5		6,3
Poppelsee Zufluß	5,8		6,3
Schurmsee	4,2-4,4	4,4	4,7
Schurmsee Zufluß	4,1-4,3		4,5
Steinmauerle	4,0-6,7		6,7
Waldmulde 1987	3,9		
Waldweg (Sumpf 2)	4,1		7,2
Wegtümpel	6,8		6,9

Schwierig wird der Vergleich bei den Kleinstgewässern, da die vor 15 Jahren untersuchten Gewässer nicht mehr oder nur in stark veränderter Form existieren. So lagen alle stark sauren Kleinstgewässer in heutigen Windwurfflächen, wo durch den Sturmwurf selbst sowie durch die forstlichen Aufräumungsarbeiten der Boden z. T regelrecht umgepflügt wurde. Die heute dort vorgefundenen Kleinstgewässer sind wesentlich weniger sauer als die früheren, was einerseits am Rückgang des atmosphärischen Eintrags, andererseits aber zu einem ungewissen Teil auch am Kontakt des Wassers mit tieferen, pufferstärkeren Bodenschichten liegen kann. Um den Ursachen veränderter pH-Werte auf die Spur zu kommen, müssen die Zusammenhänge zwischen pH, Härte und Leitfähigkeit betrachtet werden. Die Korrelationen

zwischen pH und Leitfähigkeit entsprechen sich in allen Jahren (Abb. 8: pH korreliert positiv mit steigenden Leitfähigkeiten oberhalb pH 5,2, und negativ bei niedrigeren Werten).

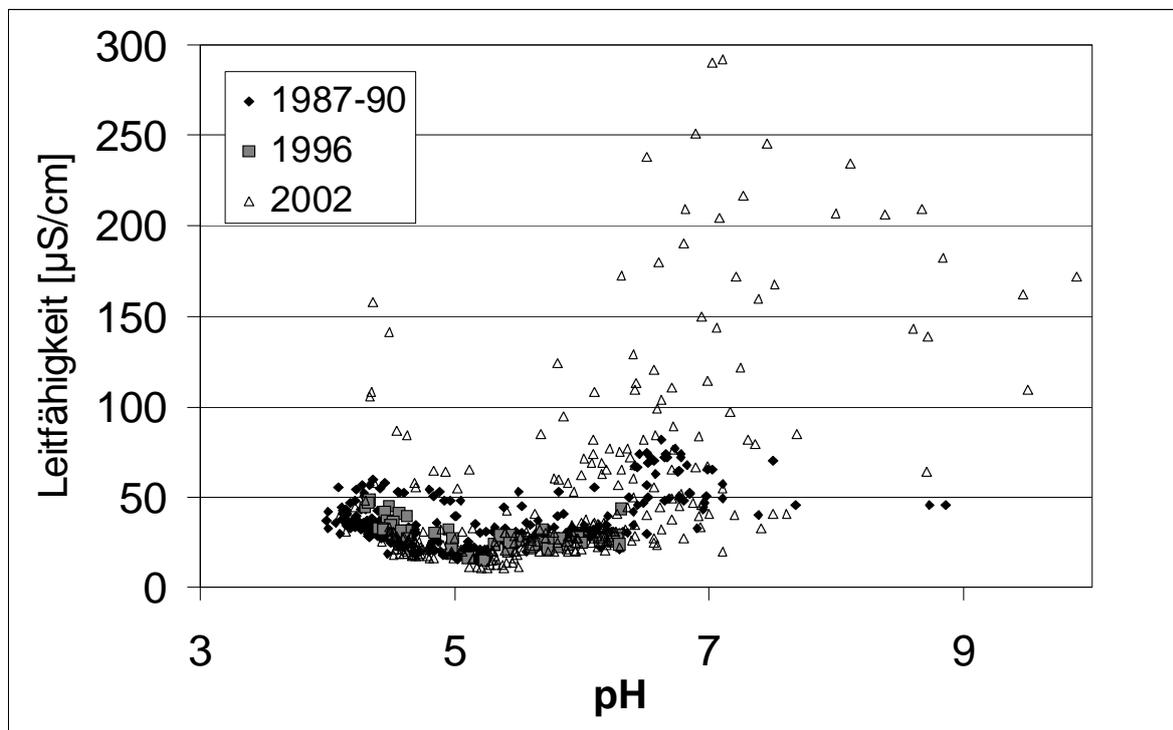


Abb. 8: Korrelation zwischen pH und Leitfähigkeit in allen Einzelproben 1987-2002.

Bei der Pufferung durch Karbonate sowie durch Kationenaustausch werden Kationen, in erster Linie Ca^{2+} und Mg^{2+} ($\Sigma =$ **Gesamthärte**), unter H^+ -Verbrauch freigesetzt. Entsprechende Korrelationen zwischen der Calciumkonzentration (unter Annahme eines relativ konstanten Verhältnisses zwischen Calcium und Magnesium) wurden zuerst erstmals für norwegische Seen dargestellt (HENRIKSEN 1979). Dabei zeigte es sich, daß Seen in Gebieten mit höherer **Säurebelastung durch den Niederschlag** bei gleichen Calciumgehalten niedrigere pH-Werte aufwiesen als Seen in Gebieten mit geringerer Belastung. Es konnte empirisch eine Linie gezogen werden, die alle Seen aus Gebieten mit Versauerungsproblemen (mit Niederschlags-pH-Werten $< 4,6$) von Gewässern aus Gebieten mit weniger saurem Niederschlag trennte. Alle Untersuchungsgewässer des Nordschwarzwaldes und Odenwaldes, die im angegebenen Bereich der Calciumkonzentration liegen (bis 7 mg Ca/l entsprechend einer Härte von 1,3 °d bei einem Verhältnis von $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ von 3/1 nach HENRIKSEN 1980), befinden sich ebenfalls im Bereich der versauerten Gewässer mit pH-Werten, die meist etwa eine bis zwei Einheiten unter denen der Gebiete mit weniger saurem Niederschlag liegen (Abb. 9).

Betrachtet man die unterschiedlichen Jahre, so fällt auf, daß bei gleichbleibenden Gesamthärten eine deutliche Zunahme der pH-Werte von 1987-90 über 1996 nach 2002 stattfand. Aufgrund der Beziehungen zwischen Gewässer-pH, Gesamthärte und Niederschlagsbelastung läßt sich dies nur mit einem Rückgang der atmosphärischen Säurebelastung erklären.

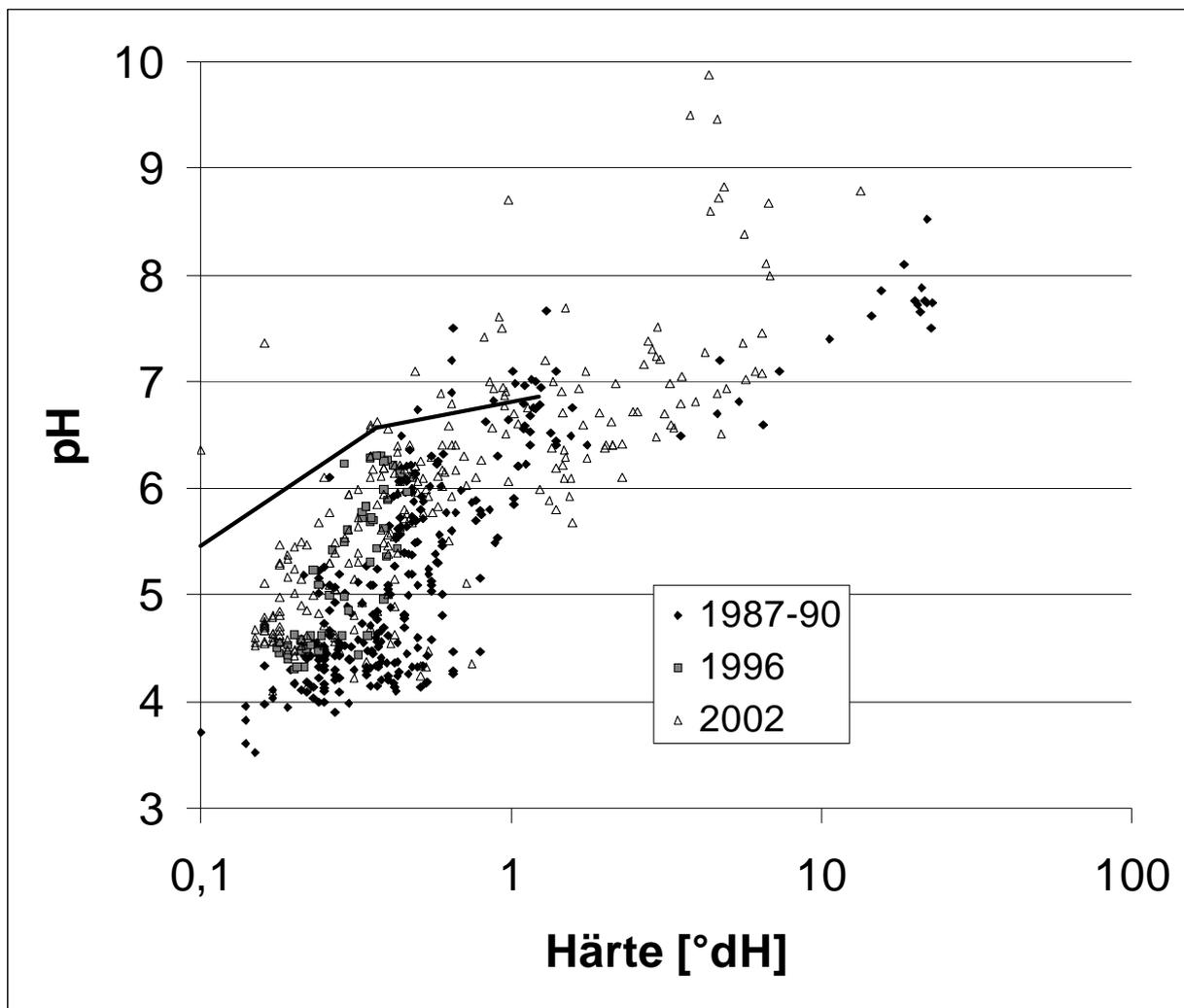


Abb.9: Bei der grafischen Darstellung der pH-Werte norwegischer Seen gegenüber ihren Gesamthärten (oder Calciumkonzentrationen) fand HENRIKSEN (1979) eine Grenzlinie, welche die Seen in Gebieten mit Niederschlags-pH-Werten > 4,6 von den Seen in Gebieten mit Niederschlags-pH-Werten < 4,6 trennt. Die hier dargestellten pH-Werte der Wasserproben in den Untersuchungsgewässern des Nordschwarzwaldes bewegen sich im Bereich der norwegischen Seen in Gebieten mit Niederschlags-pH-Werten < 4,6. Bei gleicher Härte liegen die pH-Werte 2002 höher als 1996, diese wiederum höher als 1987-1990.

Insgesamt muß also festgestellt werden, daß der Säurezustand der Gewässer des Nordschwarzwaldes und Odenwaldes deutliche Verbesserungen seit 1987 aufweist. Dies konnte 1996 aufgrund des geringen Stichprobenumfangs nicht sicher belegt werden, aber durch die Fortschreibung des Trends sowie der erhöhten Datenbasis 2002 ist er nun eindeutig belegt. Aufgrund der konstant gebliebenen Wasserhärten der Gewässer muß die pH-Zunahme auf eine Abnahme des atmosphärischen Säureeintrags zurückgeführt werden.

4.2. *Biologische Einschätzung des Säurezustands*

Aus **bioindikatorischer Sicht** kann der Säurezustand der Gewässer über unterschiedliche Integrationszeiträume betrachtet werden: Die beobachtete Laichentwicklung erlaubt Rückschlüsse auf den Säurezustand während der Wochen der Embryonalentwicklung der Amphibien. Die Populationsstruktur der Molche sowie die Bestände an weiteren bioindikatorisch aussagekräftigen Taxa integrieren dagegen über ein bis mehrere Jahre.

Trotz höherer gemessener pH-Werte wurden 1996 vergleichbare **Säureschäden des Laichs** wie in den Jahren 1987-1990 festgestellt, die sich nicht mit den an den Beobachtungstagen gemessenen pH-Werten erklären lassen. Auch im Jahre 2002 wurden unerwartete Laichschäden bei pH-Werten von z.T. deutlich über 5,0 an den Meßtagen festgestellt. Dies läßt auf kurzfristige, evtl. nur wenige Tage dauernde Säureschübe während der Laichentwicklung schließen.

So wurden beispielsweise in den Kaltenbachtischen bei pH 6,03-6,41 zahlreiche Grasfroschlaichballen im Schwanzknospenstadium (Alter bei den vorherrschenden Temperaturen ca. 10-14 Tage) mit nahezu 100 %-iger Absterberaten und typischen Säuretrübungen vorgefunden und gleichzeitig fast ungeschädigte jüngere Laichballen (Furchungs- bis Gastrulastadium). Der Säureschub muß hier vor der Ablage der ungeschädigten Eier erfolgt sein.

Es ist allerdings auch nicht auszuschließen, daß neben erniedrigten pH-Werten auch Aluminiumeinträge aus zuströmendem stark saurem Wasser, das im Gewässer abgepuffert wurde, für die hohen Mortalitätsraten verantwortlich sind.

Im Ellbachsee traten im gesamten See 40 % Schäden bei Grasfroschlaich und 30 % Schäden bei Erdkrötenlaich – bei pH-Werten über 5,8 – auf. Säureschäden waren hier in früheren Jahren nur im Einflußbereich eines stark sauren Zuflusses am westlichen Ufer zu beobachten gewesen. Für Säureschädigungen spricht das Extremhochwasser, das viele Amphibien dazu veranlaßte, in stärker von saurem Wasser beeinflussten Flachzonen und überschwemmten Schwingrasenbereich zu laichen, und das natürlich auch zu starken Säureschüben geführt haben könnte. Gegen diese Hypothese sprechen allerdings die fehlenden, säuretypischen Trübungen der Gallerten.

Insgesamt sind zwar noch mehr Laichschäden zu beobachten als die pH-Werte erwarten ließen, aber die Schädigungsraten haben sich in den Gewässern mit einem pH von weniger als 5,5 deutlich erniedrigt, z.T. mehr als halbiert.

Die Analyse der **Amphibienvorkommen** zeigt keine Veränderungen in den Arten seit 1987. Aufgrund der verbesserten pH-Wert-Situation steht jedoch eine baldige Besiedlung der Karseen Schurmsee und Herrenwiesersee zu erwarten.

Die **Bestandsdichten** der Amphibien in den stark sauren Gewässern haben seit 1987 deutlich zugenommen. Die Zahl der Grasfroschlaichballen hat sich von 150-200 in Schurm- und Herrenwiesersee auf ca. 400 erhöht, im Buhlbachsee von knapp ca. 450 auf ca. 1200, sowie im Kaltenbachsee von ca. 150 auf 380. Im weniger sauren Ellbachsee (pH-Mittel > 5,7) hat sie sich bei ca. 700 gehalten.

Auch die Bestandsdichten der **Molchpopulationen** an den Karseen haben vom Jahr 1987 bis 2002 deutlich zugenommen (BAUER 2003, REHDER 2003). Aus diesen Arbeiten werden auch weitere Anzeichen einer verminderten Säurebelastung der Karseen erkennbar:

1987-90 fehlten kleine, und damit junge, Molche im Herrenwiesersee und Schurmsee fast völlig. 1996 war eine geringfügige Verbesserung der Situation erkennbar, und heute zeigt sich in den Karen Herrenwieser-, Huzenbacher- und Schurmsee ein Vielfaches an Jungtieren.

Der Anteil der Bergmolche sowie der Weibchenanteil bei Berg- und Fadenmolch in diesen Karseen war 1987-90 sowie auch noch 1996 sehr gering. Auch hier sind deutliche Erhöhungen, oft mehr als eine Verdopplung, zu beobachten.

Insgesamt kann also festgestellt werden, daß sich insbesondere in den stark sauren Gewässern die Schädigungsraten des Amphibienlaichs zwischen 1987 und 2002 deutlich erniedrigt haben, was sich jetzt im Gegensatz zum Jahr 1996 auch auf die Populationen auswirkt: Die Zahl der Jungtiere hat sich erhöht, was auf verminderte Mortalitäten vom Ei über die Larve bis zum Jungtier schließen läßt. Als Folge erhöhen sich die Populationsdichten, insbesondere des Bergmolchs. Auch die Weibchenanteile streben den Werten unbelasteter Gewässer zu.

Im Vergleich der am intensivsten untersuchten Karseen kann gesagt werden, daß sich die Werte des Schurmsees sowie des Herrenwiesersees heute auf in etwa diejenigen des Huzenbachersees von 1987-90 verbessert haben. Der Huzenbachersee hat sich bis 2002 wiederum annähernd auf die Werte des Ellbachsees von 1987-90 verbessert, während der Ellbachsee in etwa konstant blieb.

Während 1996 noch festgestellt werden mußte, daß sich die Situation der Amphibien im Gegensatz zur wasserchemischen Situation nur andeutungsweise ein wenig verbessert hatte, sind jetzt also deutliche Verbesserungen erkennbar.

Die bioindikatorischen Befunde an Amphibien insgesamt sind in Tab. 6 zusammenfassend mit einer resultierenden **bioindikatorischen Gesamteinschätzung** dargestellt. Hierbei läßt sich erkennen, daß praktisch in allen stark sauren Gewässern eine Verbesserung eingetreten ist, wohingegen die schwach sauren Gewässer unverändert blieben oder sogar in manchen Fällen schlechter einzustufen waren. Dies liegt vor allem daran daß in diesen Gewässern 2002 im Gegensatz zu den früheren Jahren Laichschäden auftraten, die vermutlich in den Extremhochwässern begründet sind, weil dadurch viele Flachwasserbereiche, in denen die Amphibien ablaichten, durch stark saures Oberflächenwasser beeinflusst wurden. Die Seen an sich besitzen wahrscheinlich genügend Pufferkapazitäten, um im pH nicht so sehr abzusinken.

Tab. 7: Biologisch aufgrund der Amphibien seit 1987 indizierte Säurestufen der untersuchten Karsen im Nordschwarzwald.

I = neutral bis kritisch sauer, II = sehr stark sauer, III = übermäßig sauer, IV = extrem sauer.

Gewässer	Säurestufe		
	1987-1990*	1996**	2002***
Birre Tümpel 1	I		I
Birre Tümpel 2			I
Birre Tümpel 3			I
Birre Tümpel 4			I
Birre Tümpel 5			I
Braunweiher	III		I-II
Buhlbachsee	III		I-II
Christophstal	I		I
Dammerwieser Fischteich	I		I-II
Dammerwieser See	I		I
Dreieckstümpel	I		I
Ellbachsee	I (-III*)	I (-III*)	I (-III*)
Herrenwiesersee	III-IV	III-IV	II-III
Huzenbachersee	II	I-II	I
Kaltenbachsee	II-III		II-III
Kaltenbachteiche	I		III
Kleinstgewässer im Wald	IV		-
Kuhbrunnen	I		I-II
Poppelsee	II-III		II
Schurmsee	III-IV	III	II-III
Steinmäuerte	II-III		II
Waldmulde 1987	IV		
Waldweg (Sumpf 2)	III-IV		II
Wegtümpel	I		I

5. Zusammenfassende Schlußfolgerungen zum Säurezustand der Gewässer und dessen Entwicklung

Aus **wasserchemischer Sicht** ließen sich schon im Zeitraum 1987-1990 Verbesserungstendenzen der Gewässer aufzeigen, die sich jedoch auf nur die unterschiedlichen Niederschlagsmengen der Jahre zurückführen ließen. Im Jahr 1996 trat eine weitere Verbesserung ein, die aber teilweise auf den geringen Stichprobenumfang bei günstigen Witterungsverhältnissen zurückgeführt werden muß.

Im Jahr 2002 hat sich die Situation trotz der Hochwasserereignisse weiter verbessert, so daß die wasserchemischen Daten nun eindeutig eine Verbesserung belegen..

Dies wird durch die **biologischen Befunde** bestätigt, die aufzeigen, daß die pH-Werte 1996 und auch 2002 wasserchemisch zu hoch eingeschätzt wurden (vgl. Tab. 5). In diesem Jahr wird aber auch biologisch eine Verbesserung erkennbar. Hieraus wird ersichtlich, daß erst die biologischen Befunde eine sinnvolle Einschätzung des Säurezustands erlauben.

Die Bioindikation mittels der Amphibien zeigt gleichzeitig die längerfristige Verbesserung der Gesamtsituation über die Populationen als auch die bei extremen Wetterereignissen auftretenden Säureschübe über die Laichschädigungen an. Trotz der durchschnittlich wesentlich höheren pH-Werte im Jahr 2002 im Vergleich zu den Vorjahren traten dennoch in allen pufferarmen Gewässern kurzfristige starke Säureschübe auf.

Die Gewässerversauerung geht also deutlich zurück, aber Entwarnung kann noch nicht gegeben werden.

6. Literatur

ANIOL, S. (1990): Feldökologische Aspekte zum Einfluß der Gewässerversauerung auf Molche und andere Amphibien im Nordschwarzwald. Diplomarbeit am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim, 49 S.

ARZET, K. (1987): Diatomeen als pH-Indikatoren in subrezentem Sedimenten von Weichwasserseen. Dissertation aus der Abteilung für Limnologie des Institut für Zoologie der Universität Innsbruck, 266 S.

BAUER, M. (2003): Folgeuntersuchungen zum Säurezustand stehender Gewässer und dessen Auswirkungen auf Amphibien. Diplomarbeit am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim (in Bearbeitung).

BLATTNER, S. (1990): Feld- und Laborstudien zum Einfluß hoher Säure- und Aluminiumkonzentrationen auf Libellen im Nordschwarzwald. Diplomarbeit am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim, 90 S.

BÖHMER, J. & H. RAHMANN (1992a) Limnologische Untersuchungen zur Versauerung stehender Gewässer im Nordschwarzwald unter besonderer Berücksichtigung der Amphibienfauna. Umweltforschung in Baden-Württemberg. Ecomed-Verlag, Landsberg. 231 S.

- BÖHMER, J. & H. RAHMANN (1992b) Bioindikationsverfahren zur Gewässerversauerung. Veröffentlichungen Projekt "Angewandte Ökologie", Bd. 3, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. 194 S.
- BÖHMER, J. (1988): Labor- und Feldstudien zum Einfluss niedriger pH-Werte auf die frühe Entwicklung von Molchen im Schwarzwald. Diplomarbeit am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim, 91 S.
- BÖHMER, J. (1992a) Limnologische Untersuchungen zur Versauerung stehender Gewässer im Nordschwarzwald unter besonderer Berücksichtigung der Amphibienfauna. Dissertation am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim, 140 S.
- BÖHMER, J. (1992b) Amphibien als Bioindikatoren für den Säurezustand von Gewässern in Deutschland. In BÖHMER, J. & H. RAHMANN: Literaturstudie zur Erarbeitung von Bioindikationsverfahren zur Gewässerversauerung. Veröffentlichungen Projekt "Angewandte Ökologie" Bd. 3, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. 49-57.
- FEGER, K.-H. (1986): Biogeochemische Untersuchungen an Gewässern im Schwarzwald unter besonderer Berücksichtigung atmogener Stoffeinträge. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen 17. 253 S.
- FEUCHT, O. (1910): Der nördliche Schwarzwald. Vegetationsbilder, 7. Reihe, Heft 3, Kap. 3.
- GEBHARDT, H., K. KREIMES, & M. LINNENBACH (1987): Untersuchungen zur Beeinträchtigung der Ei- und Larvalstadien von Amphibien in sauren Gewässern. Natur und Landschaft 62: 20-23.
- HALBFASS, W. Zur Kenntnis der Seen des Schwarzwaldes. Petermanns Geographische Mitteilungen 44, Heft 6:241-251, 1898.
- HILDENBRAND, J. (1990): Feld- und Laborstudien zum Einfluß hoher Säure- und Aluminiumkonzentrationen auf Köcherfliegen- und Eintagsfliegenlarven im Nordschwarzwald. Diplomarbeit am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim, 85 S.
- HÖHN, E. (1987): Vergleich zweier Karseen im Nordschwarzwald hinsichtlich der Wasserpflanzenverbreitung in Abhängigkeit des Limnochemismus, des Niederschlags und anderer Standortfaktoren. -Diplomarbeit am Limnochemischen Institut Konstanz, Universität Freiburg.
- LANDKREIS FREUDENSTADT (1986): Naturschutzgebiete – Landschaftsschutzgebiete – Flächenhafte Naturschutzgebiete.
- LEHNHART, B. AND C. STEINBERG (1984): Limnochemische und limnobiologische Auswirkungen der Versauerung von kalkarmen Oberflächengewässern. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 4/84. 210 S.
- LFU (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ) (1988): Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg. Jahresbericht der Landesanstalt für Umweltschutz (Institut für Ökologie und Naturschutz). 240 S.

- LFU (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ) (1990): Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg. Jahresbericht der Landesanstalt für Umweltschutz (Institut für Ökologie und Naturschutz). 198 S.
- REGELMANN, C. (1895): Der Ellbachsee am Kniebis, ein Gletscherzirkus. – Aus dem Schwarzwald. Blätter des Schwarzwaldvereins 6: 59-63.
- REGELMANN, C. (1901): Grobhahnberg und Huzenbachersee, zwei neue Wanderziele. Blätter des Schwarzwaldvereins 8: 149-152.
- REGELMANN, K. (1907): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Baden-Württemberg zu Blatt 7415 Seebach (früher 91 Obertal-Kniebis): 1-91.
- REGELMANN, K. (1935): Geologische Karte von Baden-Württemberg, 1:25000, Stuttgart.
- REGELMANN, K. (1934): Geologische Spezialkarte von Württemberg, Blatt Obertal Kniebis, 1:25000, 2. Auflage.
- REHDER, A. (2003): Bioindikation zum Säurezustand stehender Gewässer im Nordschwarzwald und Odenwald mittels Amphibien. Diplomarbeit am Institut für Zoologie der Universität Hohenheim (in Bearbeitung).
- SCHOEN, R. (1988): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der historischen Entwicklung im süddeutschen Raum und methodischer Probleme bei der Erfassung der Versauerung. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren. 379 S.
- STEINBERG, C., K. ARZET & D. KRAUSE-DELLIN (1984): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland im Lichte paläolimnologischer Studien. Naturwissenschaften, 71: 631-634.
- STEINBERG, C., K. ARZET, D. KRAUSE-DELLIN, S. SANIDES & B. FRENZEL (1987): Long core study on natural and anthropogenic acidification of Huzenbachersee, Black Forest, Federal Republic of Germany. Global Biogeochemical Cycles.
- THIES, H. (1987): Limnochemische Untersuchungen an vier Karseen des Nordschwarzwaldes unter Berücksichtigung von sauren Niederschlägen sowie der Makrophytenvegetation. - Diplomarbeit am Limnochemischen Institut Konstanz, Universität Freiburg, 330 S.
- THIES, H., E. HÖHN & R. SCHOEN (1988): Gewässerversauerung und Limnochemie von sechs Seen im Nordschwarzwald. In: Hohenheimer Arbeiten "Gefährdung und Schutz von Gewässern", Hrsg. H. RAHMANN & A. KOHLER: 219-224.
- UM (UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, Hrsg. 1994): Saurer Regen - Probleme für Wasser, Boden und Organismen. Umweltforschung in Baden-Württemberg. Ecomed Verlag, Landsberg. 300 S.