PHILIPPIA V/1: 76–86 1982

UWE MATTHIAS und WERNER MEINEL

Zur anthropogenen Gewässerversauerung im Kaufunger Wald

Abstract

The acidification of running water in Central Europe caused by acid precipitation and other factors like land-use changes and cation exchange is highly aggravating in the Kaufunger Wald, a woody red sandstone area near Kassel (Federal Republic of Germany). Only 37.5% of the little brooks coming from the Kaufunger Wald had pH values within the neutral range (mean pH $>$ 6.5); 19.6% of the analysed waters were in the pH range of 5.5–6.5, and 25.0% were in the range of 4.5–5.5; 17,9% had pH values below 4.5. The lowest pH value measured in a little brook near the spring was 3.7. The acidification has a strong influence on the aquatic ecosystem. The lowest tolerance against acidification was noticed for mayflies and freshwater shrimps *(Gammarus fossarum, G. pulex),* which occurred in all brooks with pH values $>$ 6.5. In brooks with pH values below 6.0 these species disappeared, and other species like *Nemurella pictetii, Nemoura cinerea, Protonemura auberti* and *Plectrocnemia conspersa* could increase.

Einleitung

Die Versauerung von fließenden und stehenden Gewässern ist in den letzten Jahren durch die ständig steigende Anreicherung der Atmosphäre mit Schwefeldioxid und anderen Schadstoffen zu einem immer größeren ökologischen Problem geworden. Besonders stark betroffen ist in der Bundesrepublik Deutschland der östlich der Stadt Kassel gelegene Kaufunger Wald, in dem bereits zahlreiche Fließgewässer versauert sind. Die Ursachen und die Wirkung dieser Versauerung auf die aquatische Fauna im Kaufunger Wald wurden bereits in einigen Arbeiten (MATTHIAS 1979, 1982; MEINEL, MATTHIAS und SCHOECKE 1981, 1982; TEICHMANN und MEIJERING 1981) unter verschiedenen Gesichtspunkten diskutiert. In der hier vorliegenden Studie soll ein Überblick über das regionale Ausmaß der Versauerung in diesem Raum gegeben werden.

Beschreibung des Untersuchungsgebietes

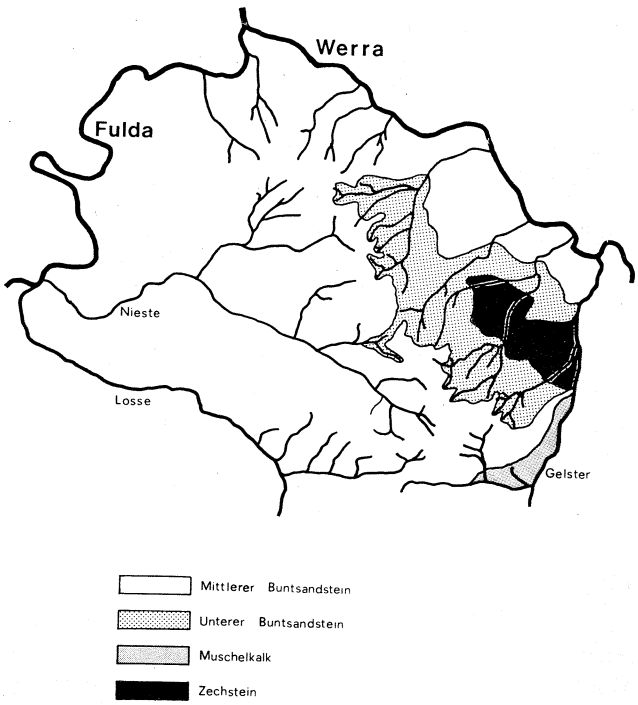
Geographie und Geologie

Der Kaufunger Wald gehört zum Werra-Fuldabergland und stellt eine typische Mittelgebirgslandschaft mit engen Durchbruchstälern, flachen Talräumen und Becken dar. Von Südosten nach Nordwesten verläuft die Wasserscheide zwischen Werra und Fulda über Haferberg (581 m NN) und Steinberg (542 m NN) und teilt den Kaufunger Wald in einen schmaleren, steiler abfallenden Hang im Nordosten und einen flacheren im Südwesten.

Zur Werra hin ist das Terrain durch Bäche stärker in Teilräume gegliedert als im westlichen Kaufunger Wald. Die Täler von Rossbach, Kleinalmerode und Ziegenhagen bilden die Grenzlinien zwischen unterschiedlichen Bodenabschnitten. Da Buntsandsteine den größten Teil der geologischen Formation bilden, wird das Gebiet nach der Geologischen Karte von Hessen der Hessischen Buntsandsteintafel zugeordnet. Im westlichen Teil lagert überwiegend Mittlerer Buntsandstein, im Osten treten die Schichten des Unteren Buntsandsteins mit Schie-

ferton- und Lettenzwischenlagen hervor. Begrenzte Zechsteinvorkommen im Südosten des Untersuchungsgebietes beeinflussen durch ihren Kalkgehalt einige Werrazuläufe. Muschelkalkformationen kommen nur in geringer Mächtigkeit im Bereich des Gelstergrabens vor. Die wichtigsten geologischen Formationen im Untersuchungsgebiet sind in Abbildung 1 dargestellt.

Abb. 1. Geologie des Untersuchungsgebietes

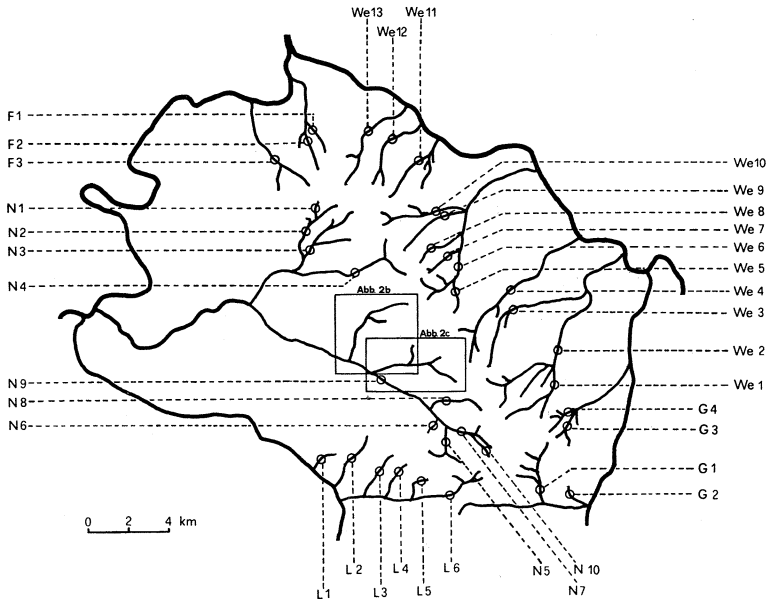


Vegetation

Natürliche Waldgesellschaften wurden im westlichen Teil des Kaufunger Waldes durch Nadelholzbestockung in zahlreichen Arealen verdrängt. Bedingt durch extensive Weidewirtschaft wich die natürliche Vegetationsdecke der waldfreien Standorte wirtschaftlich bedingten Pflanzengesellschaften. In der nördlichen Region des Untersuchungsgebietes, in welcher die Fichte vorherrschend ist, sind die Hochlagen teilweise vermoort. Westlich des „Kleinen Steinbergs" liegt das ehemalige Hochmoor „Hühnerfeld". Der östliche, zur Werra entwässernde Teil des Kaufunger Waldes befindet sich hinsichtlich der Waldvegetation noch weitgehend in einem für die Mittelgebirge typischen naturnahen Zustand. Es sind vorwiegend Laubwaldgesellschaften des Eichen-Hainbuchen-Mischwaldes *(Querco-Carpinetum)* und des Berg-Buchenwaldes *(Fagetum silvaticae)* sowie ihre Mischformen (Einteilung nach KNAPP 1954). Fichtenbestockung kommt nur in wenigen Arealen vor. Auffallend ist die Vegetationsarmut der meisten Bachläufe. Lediglich der Oberlauf der Bäche ist vom Ufer her häufig stark mit Torf-

moosen *(Sphagnum* sp.) bewachsen. Höhere Wasserpflanzen, wie z. B. *Callitriche* sp., waren nur in wenigen Bächen vertreten.

Abb. 2a. Skizze des Untersuchungsgebietes mit eingezeichneten Probeentnahmestellen



Probeentnahmestellen

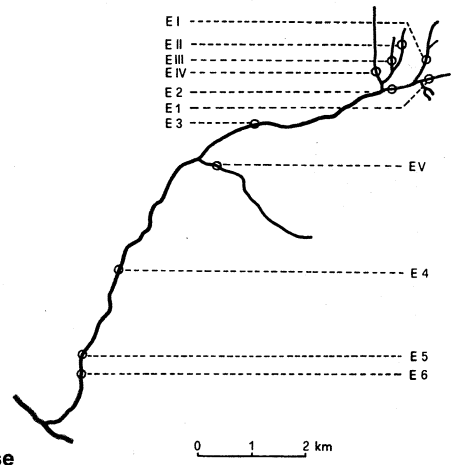
Die untersuchten Bäche entspringen in einem durch Fulda (NW), Werra (NE), Gelster (E) und Losse (S) begrenzten Gebiet. Temporäre Fließgewässer wurden bei der Untersuchung nicht berücksichtigt. Insgesamt wurden 46 Fließgewässer mit je einer Probestelle im Bereich des Epirhitrals erfaßt. 17 dieser Bäche gehören dem Abflußgebiet der Werra an. Vier dieser Zuläufe münden in die Gelster, dem größten Werrazufluß im Untersuchungsgebiet. Die übrigen 29 Bäche zählen zum Abflußgebiet der Fulda, der jedoch nur die drei nördlichen Quellabläufe direkt zufließen. Sechs Bäche werden von der Losse aufgenommen, ehe sie der Fulda zufließen. Die übrigen vereinigen sich zur Nieste, dem größten Bach im westlichen Kaufunger Wald.

Im Wengebach und Endschlagbach wurden zusätzliche Meßstellen über die gesamte Fließstrecke verteilt. Die Untersuchungen erfolgten hier schwerpunktmäßig, weil diese beiden Bäche hinsichtlich ihrer chemischen Charakteristik für die beiden Typen von Bachläufen (sauer – neutral) exemplarisch erschienen. Für die Auswahl der Probestellen wurden folgende Kriterien zugrunde gelegt: 1. möglichst keine primären anthropogenen Einflüsse (Abwässer), 2. vergleichbare Fließgeschwindigkeit, 3. vergleichbare Abflußmenge, 4. vergleichbare Substratbeschaffenheit. Die Probestellen sind in der folgenden Liste aufgeführt; ihre Lage ist in Abbildung 2 a–c verzeichnet.

Tab. 1. Verzeichnis der Probeentnahmestellen

Bäche, die in die Werra entwässern	
We 1	Mittelbach
We 2	Berksbach
We 3	Krumbach
We 4	Hungershäuserbach
We 5	Schöllbach
We 6	Rautenbach
We 7	namenloser Bach vor Lindengrund
We 8	Lindengrund
We 9	namenloser Bach in den Häringsnasewiesen
We 10	Steinbergswiesenbach
We 11	Hüttengrund
We 12	Glasebach
We 13	Grundlaubach
Bäche, die in die Gelster entwässern	
G 1	Fahrenbach, Bunte Mühle
G 2	namenloser Bach hinter Fahrenbach
G 3	Fahrenbach, vor Ortschaft Fahrenbach
G 4	namenloser Zulauf in Fahrenbach
Bäche, die in die Fulda entwässern	
F 1	Buchenborn
F 2	Eselsbach
F 3	Steinbach
Bäche, die in die Losse entwässern	
L 1	namenloser Bach vor Ibach
L 2	Ibach
L 3	Lautenbach
L 4	Lappenloch
L 5	namenloser Bach hinter Lappenloch
L 6	Wedemann
Nieste und Zuläufe	
N 1	Landgrafenbrunnen im Hühnerfeldmoor
N 2	Landgrafenbrunnen bei Nienhagen
N 3	Schwarzbach (Nienhagen)
N 4	Ingelheimbach
N 5	Schwarzbach (Großalmerode)
N 6	„Gammarus-Bach“
N 7	Nieste vor Zulauf Schwarzbach (Großalmerode)
N 8	Dürre Nieste
N 9	Nieste vor Zulauf Wengebach
N 10	Spießborn
E 1–E 6	Endschlagbach
E I–E V	namenlose Zuläufe zum Endschlagbach
W 1–W 4	Wengebach
W I–W V	Zuläufe zum Wengebach

Abb. 2b. Skizze des Endschlagbaches mit eingezeichneten Probeentnahmestellen



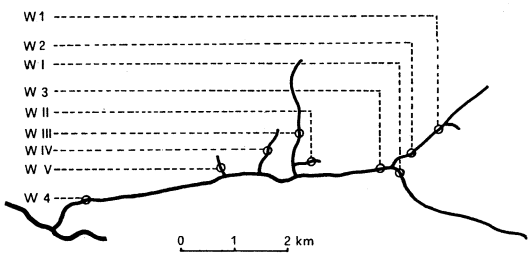
Untersuchungsergebnisse

Elektrolytgehalt der Untersuchungsgewässer

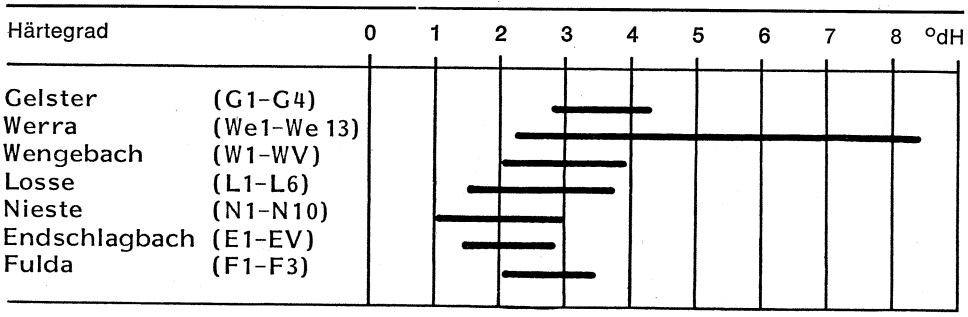
Die im Untersuchungsgebiet entspringenden Quellwässer des Unteren und Mittleren Buntsandsteins zeichnen sich durch einen geringen Anteil an dissoziiert vorliegenden Salzen aus. Die Leitfähigkeitswerte schwankten bis auf wenige Ausnahmen zwischen 100 und 160 µS. Die Gesamthärte lag in diesen Gewässern zwischen 1 und 4° dH, was die Gewässer als sehr „weich" charakterisiert. Der größte Teil der Härtebildner war nicht an Karbonat- bzw. Hydrogenkarbonat-, sondern an Sulfat- und Chloridionen gebunden. Bei einigen Fließgewässern war eine Bindung an Karbonat bzw. Hydrogenkarbonat schon aufgrund der niedrigen pH-Werte nicht möglich, da Karbonate schon bei pH-Werten unter 4 als Kohlendioxid ausgetrieben werden.

Bei einigen Zuläufen zur Werra (We 1 – We 4) und Gelster (G 1 – G 4), die mit einer Zechstein- bzw. Muschelkalkformation in Berührung kommen, wurden höhere Leitfähigkeitswerte und höhere Gesamthärten ermittelt. Die mit Abstand höchsten Werte wurden in dem Werrazufluß We 4 mit einer Leitfähigkeit von 312 µS und einer Gesamthärte von 8,0° dH gemessen. Dieser Bach verläuft über eine weitgehend freigelegte Zechsteinsohle, in die Gips eingelagert ist. In der folgenden Tabelle sind die untersuchten Bäche (Abflußsysteme), nach ihren Härtebereichen geordnet, aufgeführt.

Abb. 2c. Skizze des Wengebaches mit eingezeichneten Probeentnahmestellen



Tab. 2. Härtebereiche der untersuchten Abflußsysteme



Die Chloridgehalte schwankten in den Gewässern der Buntsandsteingebiete meist zwischen 7 und 16 mg/l. Im Mittel lagen die Chloridkonzentrationen ziemlich dicht bei einem von BREHM (1974) angegebenen Durchschnittswert von 0,35 mval (= 11,7 mg/l) für bewaldete Buntsandsteinquellen. Auch die Konzentrationen an Phosphat, Ammonium und Nitrat sind bei allen untersuchten Bächen als niedrig anzusehen. Der Phosphatgehalt lag meist dicht an der Nachweisgrenze. Als Maximalkonzentration wurden 80 µg/l ermittelt. Die Ammoniumkonzentration schwankte zwischen 0,02 und 0,7 mg N/l und die Nitratkonzentration zwischen 0,3 und 3,2 mg N/l. Insgesamt sind alle untersuchten Bachabschnitte aufgrund der niedrigen Nährstoffgehalte als saubere Gewässer anzusprechen, die weder durch häusliche noch industrielle Abwässer belastet werden.

Ausmaß der Versauerung

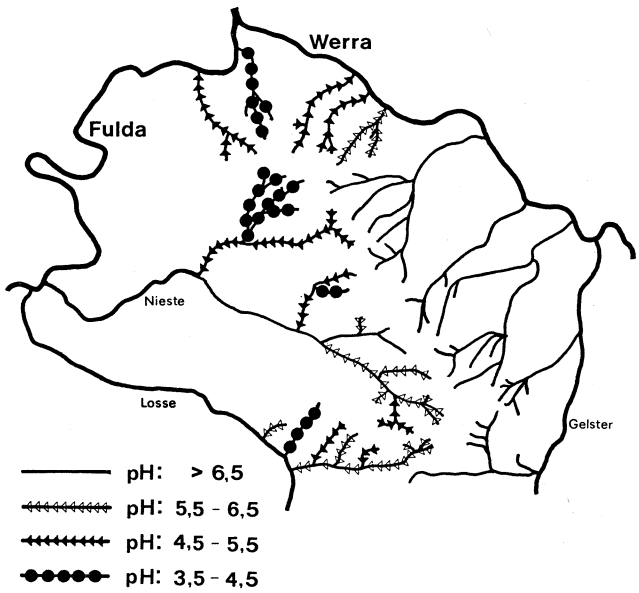
An den insgesamt 56 im Kaufunger Wald gelegenen Probeentnahmestellen wurden pH-Werte von 3,7—7,9 ermittelt. Anhand der pH-Durchschnittswerte ergab sich folgende Aufteilung auf die in Tabelle 3 genannten pH-Bereiche.

Tab. 3. pH-Bereiche der Untersuchungsgewässer

pH-Bereiche	Probeentnahmestellen	%-Anteil
3,5 — 4,5	10	17,9
4,5 — 5,5	14	25,0
5,5 — 6,5	11	19,6
> 6,5	21	37,5

Auffällig ist die regionale Verteilung der Fließgewässer mit unterschiedlichen pH-Werten. Die neutralen Gewässer sind überwiegend im Abflußgebiet der Werra und Gelster anzutreffen, während die sauren Bäche vorwiegend im westlichen Teil des Kaufunger Waldes verlaufen. Besonders niedrige pH-Werte wiesen die Fuldazuflüsse F 1 und F 2, die Niestezuläufe N 1 — N 5, sowie das Abflußsystem des Endschlagbaches auf. In Abbildung 3 sind die pH-Verhältnisse der Untersuchungsgewässer in den vier pH-Bereichen graphisch wiedergegeben. Es wird deutlich, daß die sauren Fließgewässer nur dem Mittleren Buntsandstein enspringen (vgl. Abb. 1).. Der im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes anzutreffende Untere Buntsandstein mit seinen eingelagerten Schiefertonen und Letten wird somit ausnahmslos von annähernd neutralen Bächen entwässert.

Abb. 3. Graphische Darstellung der pH-Durchschnittswerte der Fließgewässer im Kaufunger Wald



Auswirkungen auf die Fauna

Die Fauna der sauren Gewässer zeichnet sich durch eine signifikante Artenarmut aus. Im Gegensatz zu den neutralen Fließgewässern wurden in den sauren Bächen zahlreiche, normalerweise in jedem sauberen Mittelgebirgsbach häufige taxonomische Gruppen nicht vorgefunden. Besonders auffällig war das Fehlen der in den neutralen Bächen massenhaft vertretenen Ephemeropteren und Gammariden in Bächen mit pH-Werten unter 6. Auch die abundanzmäßig schwächer vertretenen Mollusken *(Ancylus fluviatilis, Pisidium* sp.) und Planarien *(Dugesia gonocephala)* zeigen eine ähnlich starke Säuresensivität. Hohe pH-Toleranzen wiesen jedoch insbesondere einige Plecopterenarten *(Nemoura cinerea, Nemurella pictetii, Protonemura auberti* u. a.) und Trichopterenarten (z. B. *Plectrocnemia conspersa)* auf, die selbst in Gewässern, in denen ein pH-Wert von 3,7 gemessen wurde, in teilweise hoher Abundanz auftraten.

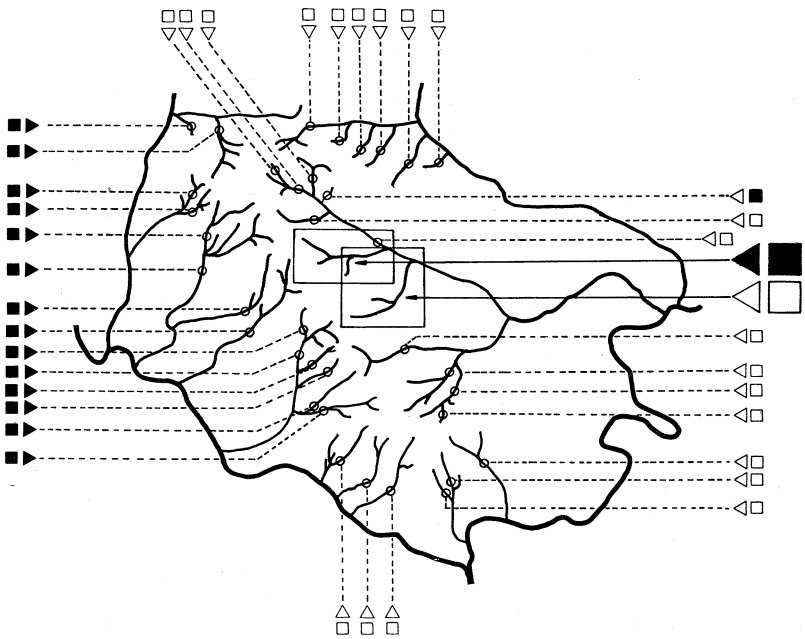
Ephemeropteren (im Untersuchungsgebiet insgesamt mit 9 Arten vertreten) und Gammariden (2 Arten) waren in diesem Zusammenhang ein sehr verläßlicher Hinweis auf intakte Gewässer, da sie selbst bei leichter Versauerung als Besiedler völlig ausfielen. In allen Bachabschnitten mit pH-Werten über 6,5 waren diese beiden Gruppen vorhanden, während sie bei niedrigeren pH-Werten meist gemeinsam fehlten (Abb. 3 und 4).

Diskussion

Die Versauerung zahlreicher Fließgewässer im Kaufunger Wald kann nicht auf natürliche Ursachen zurückgeführt werden, sondern ist eindeutig anthropogen bedingt. Als augenfälligstes Merkmal kommen saure Niederschläge in Betracht, die im Untersuchungsgebiet durchschnittlich bei pH-Werten von 4,2 lagen. Ein derartiger Anstieg der Wasserstoffionen-

konzentration kann nicht auf schwache Säuren (H_2CO_3) zurückgeführt werden, da Kohlensäure den pH-Wert des Niederschlagswassers höchstens auf 5,6 abzusenken vermag (BARRET und BRODIN 1955). Dagegen müssen andere Schadstoffe wie Schwefeldioxid und Stickoxide als wesentliche Ursache der Versauerung angesehen werden. Insbesondere das bei vielen Verbrennungsprozessen anfallende Schwefeldioxid ist in Form von schwefliger Säure bzw. Schwefelsäure als pH-bestimmender Faktor der Niederschläge anzusehen.

Abb. 4. Verbreitung von Ephemeropteren und Gammariden im Untersuchungsgebiet



Neben dem Eintrag anorganischer Säuren durch Niederschläge können nach BREHM (1980) aber auch vegetationsspezifische organische Säuren für eine Gewässerversauerung von Bedeutung sein. In Nadelwäldern, die im Untersuchungsgebiet in Form von Fichtenmonokulturen gerade in den geschädigten Arealen besonders häufig sind, sind dies Gerb- und vor allem Harzsäuren, die über das Sickerwasser dem Grund- und Oberflächenwasser zugeführt werden. Diese sind zwar nur schwache Säuren, können aber als Kationenaustauscher wirken, die anstelle der eingetauschten Metallionen Wasserstoffionen freisetzen (vgl. z. B. GJESSING 1976). Auch die im Krenal der Bäche häufig auftretenden Torfmoose *(Sphagnum* sp.) können als Ionenaustauscher fungieren (OVERBECK 1975) und zur Gewässerversauerung beitragen. Insgesamt läßt sich die Wirksamkeit der hier genannten Faktoren für die Versauerung im Kaufunger Wald quantitativ noch nicht exakt gegeneinander abgrenzen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß sich alle hier genannten Faktoren akkumulativ auswirken, da bei annähernd gleichartiger Zusammensetzung der Niederschläge die niedrigsten pH-Werte in den Gewässern gemessen wurden, die dichten Fichtenmonokulturen entsprangen und deren Quellen

durch *Sphagnum*-Bestände dicht bewachsen waren. Wesentliche Voraussetzung für eine Versauerung ist jedoch eine mangelhafte Pufferung der Gewässer, die von der Geologie des entsprechenden Gebietes abhängig ist. Im Kaufunger Wald beschränkt sich dieses Gebiet auf eine Formation des Mittleren Buntsandsteins. Gebiete des Unteren Buntsandsteins mit dessen eingelagerten Schiefertonen und Letten sind von der Versauerung nicht betroffen. Die Calcium- und Magnesiumgehalte lagen hier immer über 10 mg Ca/l und meist über 5 mg Mg/l. In den stark sauren Bächen waren diese Erdalkalikonzentrationen meist deutlich niedriger.

Die Auswirkungen der Gewässerversauerung auf die Bergbachbiozönose wird anhand der faunistischen Bestandsaufnahme deutlich. In den sauren Bächen war in allen Fällen eine deutlich Reduzierung der Artenzahl zu verzeichnen. Ein mehrjähriger Vergleich von sauren und neutralen Fließgewässern im Kaufunger Wald (MATTHIAS 1982) zeigte, daß bereits bei leichter Versauerung (Ø pH 6,2) etwa die Hälfte der Arten zugrunde geht. Bei stärkerer Versauerung (Ø pH 4,7) ist nur noch ein Viertel der erreichbaren Artenzahl vorhanden.

Eine besonders hohe pH-Sensitivität zeigen dabei die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Ephemeropteren und Gammariden, die in Bächen mit pH-Durschnittswerten < 6 nicht mehr vertreten waren. Ihre geringe Toleranz gegenüber niedrigen pH-Werten konnte auch bei anderen Freilanduntersuchungen (MINSHALL und KUEHNE 1969, ZIEMANN 1975, TOMKIEWICZ und DUNSON 1977, NILSSEN 1980 u. a.) und durch experimentelle Befunde (MINSHALL und MINSHALL 1978, TRENT et al. 1978, RADDUM 1979, MATTHIAS 1982 u. a.) nachgewiesen werden. Auch TEICHMANN und MEIJERING (1981) führen die im Kaufunger Wald festgestellte Gammaridenverarmung auf die Versauerung zahlreicher Bäche zurück. Dabei soll nach BREHM und MEIJERING (in Vorbereitung) *Gammarus fossarum* empfindlicher sein als *G. pulex.* Im Schlitzerland wurde die letzte Art von MEIJERING (1971) sogar noch bei pH-Werten von 4,8 gefunden.

Neben dem pH-Wert des Wassers scheint auch die Ionenzusammensetzung des Gewässers eine Bedeutung zu haben. So wurden von RADDUM (1979) bei der Überprüfung der Überlebensrate von Ephemeropterenlarven der Gattung *Baetis* in Wässern mit geringerem Ionengehalt wesentlich kürzere Überlebenszeiten bei gleich hoher Wasserstoffionenkonzentration festgestellt. Dies führt zu der Schlußfolgerung, daß neben dem pH-Wert auch die anderen im Wasser gelösten Stoffe für das Überleben bestimmter Arten im sauren Wasser von Bedeutung sind. Die physiologische Schädlichkeit der hohen Wasserstoffionenkonzentration könnte für den tierischen Organismus in einer gravierenden Störung des gesamten Ionenhaushalts liegen, was sich anhand von ersten Untersuchungen (z. B. VANGENECHTEN und VANDERBORGHT 1980) anzudeuten scheint.

Zusammenfassung

Ein großer Teil der Fließgewässer, die östlich der Stadt Kassel im Naturpark Kaufunger Wald entspringen, sind mehr oder weniger stark versauert. Von 46 kleineren Fließgewässern mit insgesamt 56 Probeentnahmestellen wiesen 17,9% der untersuchten Bachabschnitte pH-Durchschnittswerte $< 4{,}5$ auf. 25% der Untersuchungsstellen wiesen pH-Werte im Bereich von 4,5–5,5 und 19,6% im Bereich von 5,5–6,5 auf. Annähernd neutral mit pH-Werten $> 6{,}5$ waren nur 37,5% der untersuchten Bachabschnitte. Die Ursachen der Versauerung werden im wesentlichen zurückgeführt auf den Eintrag anorganischer Säuren durch Niederschläge, auf die Zufuhr vegetationsspezifischer organischer Säuren und auf Ionenaustauschvorgänge an Huminstoffen und *Sphagnum*-Moosen. Die Versauerung der Gewässer hat eine deutliche Um-

strukturierung der Biozönose zur Folge. Ephemeropteren und Gammariden, die im Kaufunger Wald in allen Gewässern mit pH-Werten > 6,5 vorgefunden wurden, verschwinden bei leichter Versauerung (pH < 6,0) völlig. Ähnlich niedrige pH-Toleranzen zeigten Mollusken *(Ancylus fluviatilis, Pisidium* sp.) und Planarien *(Dugesia gonocephala).* Hohe pH-Toleranzen besaßen dagegen einige Plecopteren und Trichopteren, wie z. B. *Nemurella pictetii, Nemoura cinerea, Protonemura auberti* und *Plectrocnemia conspersa,* die besonders bei sehr niedrigen pH-Werten in hoher Abundanz auftraten.

Literatur

BARRETT, E. and BRODIN, G., 1955: The acidity of Scandinavian precipitation. Tellus **7**: 251—257.

BREHM, J., 1974: Hydrologische und chemische Übersichtsuntersuchungen an den Fließgewässern des Schlitzerlandes. II. Elektrolyte in Quellgewässern. Beitr. Naturk. Osthessen **7—8**: 78—93.

— 1980: Zur anthropogenen Versauerung der Schlitzerländer Buntsandstein-Waldlandschaft. I. Allgemeine Einführung und Vorergebnisse. Beitr. Naturk. Osthessen **16**: 133—153.

GJESSING, E. T., 1976: Physical and chemical characteristics of aquatic humus. Ann Arbor.

KNAPP, R., 1954: Natürliche und wirtschaftlich bedingte Pflanzengesellschaften und Wuchsräume. Abh. hess. Landesa. Bodenforsch. **2**: 40—51.

MATTHIAS, U., 1979: Faunistische und chemisch-physikalische Untersuchungen an einem Mittelgebirgsbach (Nieste, Nordhessen/Südniedersachsen). Staatsexamensarbeit Universität Kassel.

— 1982: Der Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration auf die Zusammensetzung von Bergbachbiozönosen, dargestellt an einigen Mittelgebirgsbächen des Kaufunger Waldes (Nordhessen/Südniedersachsen). Dissertation Universität Kassel.

MEIJERING, M. P. D., 1971: Die *Gammarus*-Fauna der Schlitzerländer Fließgewässer. Arch. Hydrobiol. **68**: 575—608.

MEINEL, W., MATTHIAS, U. und SCHÖCKE, K., 1981: Chemisch-physikalische und faunistische Untersuchungen an einem Mittelgebirgsbach (Nieste, Naturpark Kaufunger Wald, Nordhessen). I. Chemisch-physikalische Verhältnisse. Philippia **4**: 357—369.

— MATTHIAS, U., 1982: Chemisch-physikalische und faunistische Untersuchungen an einem Mittelgebirgsbach (Nieste, Naturpark Kaufunger Wald, Nordhessen). II. Faunistischer Teil. Philippia **5**: 11—32.

MINSHALL, G. W. and KUEHNE, R. A., 1969: An ecological study of invertebrates of the Duddon, an English mountain stream. Arch. Hydrobiol. **66**: 169—191.

— and MINSHALL, J. N., 1978: Further evidence on the role of chemical factors in determining the distribution of benthic invertebrates in the River Duddon. Arch. Hydrobiol. **83**: 324—355.

NILSSEN, J. P., 1980: Acidification of a small watershed in Southern Norway and some characteristics of acidic aquatic environments. Int. Rev. ges. Hydrobiol. **65**: 177—207.

OVERBECK, F., 1975: Botanisch-geologische Moorkunde unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte. Neumünster.

RADDUM, G., 1979: Verkninger av lav pH pa insektlarver. (Effects of low pH on insect larvae.) SNSF-Project (Oslo) IR **45—79**: 1—58.

TEICHMANN, W. and MEIJERING, M. P. D., 1981: Zur Situation der Gattung *Gammarus* im Kaufunger Wald. Beitr. Naturk. Osthessen **17**: 71—84.

TRENT, L. L., HESTAND, R. S. and CARTER, C. C., 1978: Toxicity of sulfuric acid to aquatic plants and organisms. J. aquat. Plant Manag. **16**: 40—43.

TOMKIEWICZ, S. M. and DUNSON, W. A., 1977: Aquatic insect diversity and biomass in a stream marginally polluted by acid strip mine drainage. Water Res. **11**: 397—402.

VANGENECHTEN, J. H. D. and VANDENBORGHT, O. L. G., 1980: Effect of acid pH on sodium and chloride balance in an inhabitant of acid freshwaters: the waterbug *Corixa punctata* ILLIG.) (Insecta, Hemiptera). In: DRABLOS, D. and TOLLAN, A. (Eds.) Ecological impact of acid precipitation. SNSF-Project (Oslo): 342—343.

ZIEMANN, H., 1975: Über den Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration und des Hydrogenkarbonatgehaltes auf die Ausbildung von Bergbachbiozönosen. Int. Rev. ges. Hydrobiol. **60**: 523—555.

Manuskript bei der Schriftleitung eingegangen am 13. Juli 1982.

Anschrift der Verfasser:
Dr. U. MATTHIAS
Prof. Dr. W. MEINEL
Abteilung Limnologie
Institut für Zoologie
Fachbereich Biologie und Chemie
Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40
3500 Kassel
BRD

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Philippia. Abhandlungen und Berichte aus dem Naturkundemuseum im Ottoneum zu Kassel

Jahr/Year: 1982-1987

Band/Volume: 5

Autor(en)/Author(s): Matthias Uwe, Meinel Werner

Artikel/Article: Zur anthropogenen Gewässerversauerung im Kaufunger Wald 76-86