Mitt. POLLICHIA	85	19 – 34	5 Abb.	1 Tab.	Bad Dürkheim 1998
					ISSN 0341-9665

Hans Jürgen HAHN, Günter PREUSS & Eckhard FRIEDRICH

Wie sauer ist das Wasser im Pfälzerwald tatsächlich?

Betrachtungen zum Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald

Kurzfassung

HAHN, H. J.; PREUSS, G. & FRIEDRICH, E. (1998): Wie sauer ist das Wasser im Pfälzerwald tatsächlich? Betrachtungen zum Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald. – Mitt. POLLICHIA, **85**: 19–34, Bad Dürkheim

Für das Buntsandsteingebiet des Pfälzerwaldes wurden alle verfügbaren Wasserdaten sowie eigene Meßwerte auf eine Beurteilung des Versauerungsgeschehens hin ausgewertet. Aus den Befunden wurden folgende Arbeitshypothesen abgeleitet:

1.) Die rezente Versauerung beschränkt sich auf oberflächennahes Grundwasser und Quellen insabesondere des mittleren Buntsandsteins in Mittel- und Oberhanglage sowie ihre Quellbäche, während das Rhithral praktisch unberührt davon ist.
2.) Der pH-Wert der Bäche wird bereits nach kurzer Fließzeit durch den Zustrom unversauerten, tieferen Grundwassers dauerhaft neutralisiert.
3.) Die Säurebelastung der Bäche ist rückläufig.

Die beobachtete Fähigkeit des Gebietes, Säureschübe in den unteren Quellbereichen anhaltend und effektiv abzupuffern, steht in auffälligem Gegensatz zu dem geringen Puffervermögen des Buntsandsteins. Sie wird durch die mit dem Zustrom tieferen und neutralen Grundwassers in die Bachläufe verbundenen Vermischungseffekte erklärt. Der Rückgang der Versauerung im Gebiet wird auf eine veränderte Landnutzung, vor allem aber auf die Verminderung atmogener Schadstoffeinträge zurückgeführt. Wichtige Ursachen für die rückläufigen Immissionen dürften bessere Filter in Großfeuerungsanlagen wie auch die Stillegung großer Teile der saarländischen Schwerindustrie sein.

Abstract

HAHN, H. J.; PREUSS, G. & FRIEDRICH, E. (1998): Wie sauer ist das Wasser im Pfälzerwald tatsächlich? Betrachtungen zum Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald.

[How acid is the water in the Palatine Forest really? Examinations of the acidification processes in the Palatine Forest (SW-Germany)]. – Mitt. POLLICHIA, **85**: 19–34, Bad Dürkheim

For this study, all hydrochemical and limnological data available for the Buntsandstein area of the Palatine Forest were analysed. Concerning the dynamics of acidification, the following working hypothesises have been derivated:

1. The actual acidification of waters is limited to the middle Buntsandstein. Affected are surface-near groundwater and springs situated at the upper and middle parts of the slopes. The rhithral of the streams is nearly untouched by acidification.
2. The pH-values of the running waters are neutralized after some hundred metres of flowing by upstreaming non-acidified, deeper groundwater.
3. The acidity stress of streams and brooks in the Palatine Forest is decreasing.

The observed phenomenon of efficiently buffering of acidification shocks is very uncommon for Buntsandstein catchments. It strongly contrasts the poor buffering capacity of these rock strata. The buffering phenomenon may be caused by upstreaming non-acidified, deeper groundwater. An explication for decreasing acidification could be given by a modified landusing and a decreasing atmogenic pollution. The latter is derivated from reduced immissions from modern energy plants and by the shutdown of heavy industry in the nearby Saar region.

Résumé

HAHN, H. J.; PREUSS, G. & FRIEDRICH, E. (1998): Wie sauer ist das Wasser im Pfälzerwald tatsächlich? Betrachtungen zum Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald.

[Quel est le taux d'acidité réel de l'eau dans la forêt palatine? Considération sur l'acidification dans la forêt palatine]. – Mitt. POLLICHIA, **85**: 19–34, Bad Dürkheim

Pour cette étude menée dans la région du Buntsandstein de la forêt palatine, toutes les données disponibles sur les eaux ainsi que les résultats de propres mesures ont été interprétés en vue d'une appréciation du phénomène de l'acidification. Les hypothèses suivantes en ont été conclues:

1. L'acidification récente de l'eau, surtout présente dans la région du Buntsandstein moyen, se limite à la nappe phréatique supérieure, aux sources situées en milieu ou en haut de pentes et aux ruisseaux de sources, alors que le Rhithral, en est par contre pratiquement exempt.
2. Déjà après un bref écoulement, la valeur pH des ruisseaux est neutralisée par l'afflux d'eaux phréatiques plus profondes et neutres.
3. L'acidité des ruisseaux est en baisse.

La capacité observée de cette région à amortir de façon durable et efficace des poussées du taux d'acidité au niveau des sources inférieures, contraste avec la faible capacité d'amortissement du Buntsandstein. Cette capacité s'explique par la montée d'eaux phréatiques plus profondes et neutres dans les ruisseaux. La diminution de l'acidité dans la région est dûe à un changement de l'utilisation des sols et surtout à une réduction de la pollution atmosphérique. Deux raisons importantes pour ce recul des éléments polluants sont certainement l'amélioration des filtres dans les usines d'incinération et de combustion thermique ainsi que la fermeture d'une grande partie de l'industrie lourde de la Sarre.

Inhaltsübersicht

1 Glossar
2 Einleitung
3 Das Untersuchungsgebiet
4 Aktueller Stand der Versauerung im Pfälzerwald
4.1 Grundwasser
4.2 Quellen
4.3 Bäche
5 Zeitlicher Verlauf der Versauerung im Pfälzerwald
6 Diskussion
6.1 Räumliche Verteilung der von Versauerung betroffenen Bereiche
6.1 Zeitlicher Verlauf des Versauerungsgeschehens
7 Schlußbetrachtung
8 Literaturverzeichnis

1 Glossar

Aquifer: Grundwasserleiter
atmogen: luftbürtig
elektrolytarm: arm an gelösten Salzen
Emmission: Austrag
Epirhithral: Bachoberlauf
Hypokrenal: Quellbach
Immission: Eintrag
Krenal: Quellregion
Mesorhithral: Bachmittellauf
pedogen: gesteinsbürtig
rezent: gegenwärtig
Rhithral: Bachregion

2 Einleitung

Die Versauerung von Boden und Wasser durch den Eintrag luftbürtiger Schadstoffe ist in den beiden letzten Jahrzehnten europaweit zu dem wohl schwerwiegendsten Umweltproblem für Naturräume mit pufferarmen Ausgangsgesteinen geworden. In Rheinland-Pfalz ist, neben dem Hunsrück, vor allem der Buntsandstein des Pfälzerwaldes davon betroffen (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz 1991).

Buntsandstein, vor allem der mittlere, ist ein extrem pufferarmes Gestein und daher besonders versauerungsgefährdet. Tatsächlich weisen alle vorliegenden Daten auf starke Versauerungen im oberen Grundwasserleiter (TRILLING 1996), in den Ober- und vielen Mittelhangquellen (FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996) und in den Quellbächen (Landesamt für Wasserwirtschaft 1991) hin. Eine flächendeckende und fortschreitende Versauerung im Pfälzerwald wird deshalb allgemein angenommen.

Aktuelle Untersuchungen des Institutes für Regionale Umweltforschung und Umweltbildung an der Universität in Landau, aufbauend auf Vorarbeiten des Institutes für Biologie der Universität Koblenz-Landau, verbunden mit einer Auswertung der verfügbaren Daten machen jedoch deutlich, daß es zum Verständnis des Versauerungsgeschehens im Pfälzerwald einer differenzierteren Betrachtungsweise bedarf.

3 Das Untersuchungsgebiet

Der am zentralen Eschkopf 609 m hohe Pfälzerwald ist mit einer Ausdehnung von 1770 km² eine der größten geschlossenen Waldlandschaften Deutschlands. Sein südlicher Teil wird auch als Wasgau oder Dahner Felsenland bezeichnet. Die Geologie des Pfälzerwaldes ist durch den Buntsandstein bestimmt. In weiten Teilen des Gebietes dominieren die Schichten des mittleren Buntsandsteins, auch Hauptbuntsandstein genannt. Im Süden und Norden steht außerdem der untere, im Westen vereinzelt der obere Buntsandstein an. Die Buntsandsteinschichten weisen eine Westneigung von 1 – 4° auf (GEIGER 1987). Durch tonige Zwischenlager an den Schichtgrenzen wird der Buntsandstein entsprechend seiner Felszonen in klar voneinander geschiedene Aquifere unterteilt.

Ein radiäres Gewässernetz entwässert den Pfälzerwald zu Rhein und Mosel hin. Quellbäche und Oberläufe fließen in steilen Kerbtälern, die Mittelläufe meist in charakteristischen Kastentälern. Die Wässer des mittleren Buntsandsteins sind bekanntermaßen elektrolytarm (50 – 100 µS/cm), sehr weich (Gesamthärte < 4° dH, meist < 1° dH) und pufferarm (KONRAD 1975, HAHN 1996).

Die Hauptwindrichtungen im Pfälzerwald sind Südwest und West. Als Folge der Lee-Wirkung des Gebirges nehmen deshalb die Niederschlagsmengen, die im zentralen Pfälzerwald 900 – 1000 mm/a betragen, vom Südwesten nach Nordosten ab.

4 Aktueller Stand der Versauerung im Pfälzerwald

4.1 Grundwasser

Den Versauerungsstatus des Grundwassers hat TRILLING (1996) in jüngster Zeit umfassend dargestellt. Bei seinen Arbeiten hat er auf die Daten der Wasserversorger und des Amtlichen Grundwassermeßnetzes Rheinland-Pfalz, betrieben vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (im weiteren als LfW bezeichnet), zurückgegriffen, wobei er zwischen Brunnen und Quellen unterschied. Danach ist das in Brunnen geförderte tiefere Grundwasser schwach sauer, jedoch von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, frei von Aluminium und weist Säurewerte über pH 5,5 auf. Die Bodenmatrix des Grundwasserleiters befindet sich also noch im Silikatpufferbereich. Das gleiche Bild (Abb. 1) ergibt sich aus der Auswertung der aktuellen Daten des Amtlichen Grundwassermeßnetzes (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, schriftl. Mitt. vom. 3. 4. 1997).

Als maßgebliche Einflußfaktoren für die Versauerung nannte TRILLING (1996) Entnahmeart und Geologie. Alle von Versauerung betroffenen Brunnen liegen in der obersten Felszone des pufferarmen mittleren Buntsandsteins, in den Karlstalschichten. Nicht betroffen sind die Brunnen des oberen und unteren Buntsandsteins. Die Entnahmeart (Quelle oder Brunnen) ist deswegen so bedeutsam, weil bei Brunnen ausschließlich tieferes Grundwasser, bei Quellen jedoch ein erheblicher Anteil oberflächennahen Deckschichtenabflusses erfaßt wird.

4.2 Quellen

Die Quellen des Pfälzerwaldes wurden von FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) in einer repräsentativen Auswahl unter hydrochemischen, faunistischen und strukturellen Gesichtspunkten untersucht. Die botanischen Aspekte fanden in der Arbeit von TRÖGER (1997) Berücksichtigung. TRILLING (1996) ging näher auf die Quellen des amtlichen Grundwassermeßnetzes ein.

Die Untersuchungen von FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) zeigten, daß über 20% aller Quellen im Pfälzerwald Säurewerte unter pH 5 (Minimum 4,1) und Aluminiumgehalte über 200 µg/l (Maximum 4000 µg/l) aufweisen. Am stärksten von der Ver-

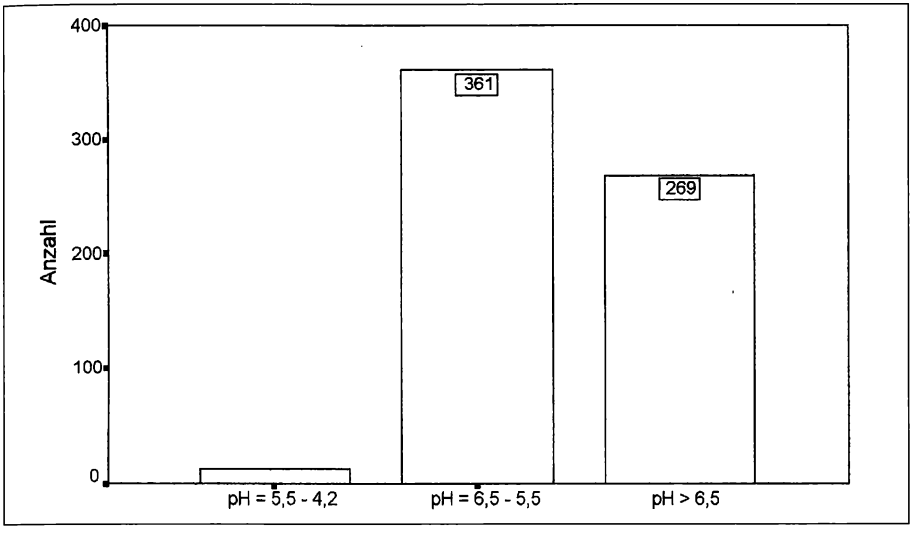

Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte von Brunnen im Pfälzerwald. Daten aus dem Amtlichen Grundwassermeßnetz Rheinland-Pfalz (18. 2. 1981 bis 3. 12. 1996)

sauerung betroffen ist der mittlere Buntsandstein und hier die Karlstalschichten, wo bei 30% aller Quellen der pH-Wert niedriger als 5 ist. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte auch TRILLING (1996).

FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) konnten zeigen, daß das Ausgangsgestein bezogen auf das Gesamtgebiet maßgeblicher Faktor für die Ausprägung der Versauerung ist. Im mittleren Buntsandstein spielt die Geologie der verschiedenen Felszonen jedoch keine Rolle mehr.

Entscheidend ist hier die Lage der Quellen zum Hang, also die Mächtigkeit der darüber befindlichen Deckschichten (s. a. Abb. 4). Oberhangquellen weisen im mittleren Buntsandstein zu 45% Säurewerte unter pH 5 und zu 36,4% Aluminiumwerte über 200 µg/l auf. In den Tallagen wurden dagegen nur noch bei 5% aller Quellen pH-Werte unter 5 und Aluminiumwerte über 200 µg/l festgestellt.

Die Untersuchungen von FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) ergaben, daß die Fauna nachhaltig durch die Versauerung beeinflußt wird, wobei der pH-Wert und nicht der Aluminiumgehalt der entscheidende Faktor ist. Arten- und Individuenzahlen gehen mit fortschreitender Versauerung zurück. Die Vegetation der Quellen wird ebenfalls stark durch die Versauerung beeinflußt (TRÖGER 1997). Hier ist jedoch die Art der umgebenden Waldgesellschaften von größerer Bedeutung für die Quellflora als die Lage am Hang. In den untersuchten Fichtenforsten ist der Anteil versauerter Quellen deutlich höher als in Laubwäldern (s. a. THIENEMANN 1950).

Weitere Angaben zur Versauerung von Quellen des Pfälzerwaldes finden sich bei Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz (1994), GÜNTHER (1992), GREWING (1992), REWITZER (1992), HOFFMANN (1992).

4.3 Bäche

Mit den Bächen des Pfälzerwaldes haben sich in der jüngeren Vergangenenheit eine ganze Reihe von Bearbeitern befaßt. Zu nennen sind hier insbesondere GÜNTHER (1992), GREWING (1992), HAHN (1996), HOFFMANN (1992), LACHENMEYER (1992), Landesamt für

Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1991), ROWECK et al. (1985/86), WILD (1992). Das Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz untersucht im Rahmen der Biologischen Fließgewässerüberwachung seit 1983 in fünfjährigem Turnus 20 Probestellen an Bächen des Pfälzerwaldes.

Die Auswertung dieser Arbeiten führt zu einem sehr einheitlichen Bild: Die Bäche im Pfälzerwald sind nicht versauert. Wo Versauerungen auftreten, beschränken diese sich auf den Bereich der Quellbäche. Das Meßprogramm „Versauerung von Fließgewässern in ausgesuchten Gebieten von Rheinland-Pfalz" (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz 1991) ergab für die quellnahen Bachbereiche im Pfälzerwald ein ähnliches Bild wie die Arbeit von FIEDLER-WEIDMANN & HAHN (1996) für die Quellen: 42% der untersuchten quellnahen Fließgewässerabschnitte wiesen mindestens einmal pH-Werte < 5,5 auf. Im Westteil des Gebirges betrug der Anteil solch stark versauerter Bäche sogar 58%.

Die Bäche neutralisieren ihre Wasserstoffionenkonzentration jedoch in der Regel binnen einiger hundert Meter auf pH-Werte über 5,5, meist um 6,5. Säureschübe, die wie im Hunsrück kilometerweit die Bäche hinunterschießen (MAUDEN 1993), lassen sich bei den Pfälzer Buntsandsteinbächen nicht feststellen, obwohl deren Pufferkapazität nicht höher, sondern meist wesentlich niedriger als die der Hunsrückbäche ist (WILD 1992). Die Auswertung der Meßwerte der Biologischen Fließgewässerüberwachung zeigte, daß keine einzige der zwischen 1983 und 1995 an zwanzig Meßstellen im Pfälzerwald gewonnenen 61 Wasserproben einen Säurewert niedriger als pH 5,7 aufwies! Insgesamt nur vier Messungen, alle vor 1990 durchgeführt, ergaben pH-Werte unter 6, alle übrigen schwankten zwischen 6 und 7,9 bei einem Mittelwert von 6,8 und einer Standardabweichung von 0,5 (s. a. Abb. 2).

5 Zeitlicher Verlauf der Versauerung im Pfälzerwald

Der Prozeß der Versauerung, d. h. der Verlust von Pufferkapazitäten, läßt sich mangels historischer Vergleichsdaten oftmals nur schwer beschreiben. In den zurückliegenden Jahrzehnten hat allerdings die anthropogene Versauerung die natürliche Versauerung mit Sicherheit wesentlich verstärkt, wobei sich jedoch beide Vorgänge nur schwer voneinander unterscheiden lassen (BÖHMER & RAHMANN 1992, BENECKE 1997). Für das Gebiet des Pfälzerwaldes liegen den Verfassern nur zwei ältere Quellen vor: Im Sommer 1961 haben BATH & HEUSSLER (1963) die Fischfauna der Bäche im Wasgau, im südlichen Pfälzerwald, untersucht. Dabei erfaßten sie auch eine Reihe hydrochemischer Parameter, u. a. den pH-Wert. Das LfW beprobt seit 1983 im Rahmen der Biologischen Fließgewässerüberwachung zwanzig Meßstellen an ausgewählten Bächen im gesamten Pfälzerwald.

Die Auswertung dieser Quellen gibt Anlaß zu der Vermutung, daß sich die versauerungsrelevanten Parameter in den 90er Jahren günstiger präsentieren als in den 60er und in den 80er Jahren. Darauf weisen sowohl die Messungen von BATH & HEUSSLER (1963) als auch die Daten der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz (Tab. 1, Abb. 2, Abb. 3) hin.

Tabelle 1: Mittelwert und Median wichtiger versauerungsrelevanter Kenngrößen aus drei Dekaden. Daten nach BATH & HEUSSLER (1963) und aus der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz. SBV = Säurebindungsvermögen. *Lagemaß für den pH-Wert aus BATH & HEUSSLER (1963) ist der Median (Berücksichtigung fanden nur meso- und hyporhithrale Probestellen).

Zeitraum	pH-Wert (Mittelwert)	SBV (mmol/l) (Median)	Taxazahl (Mittelwert)	LAWA-Index (Median)
1961	5,7*	/	/	/
1980er Jahre	6,7	0,1	11,8	2,0
1990er Jahre	7,0	0,2	16,1	2,0

Die Schwankungsbreite der beiden versauerungsrelevanten Parameter pH-Wert und Säurebindungsvermögen (SBV) innerhalb einer Dekade und zwischen den verschiedenen Meßstellen ist allerdings so groß, daß sich Veränderungen aus der graphischen Darstellung der Meßwerte (Abb. 2) nur schwer ablesen lassen. Unterschiede treten nicht in einer Zunahme der Spitzenwerte, sondern im Ausbleiben niedriger Meßdaten in Erscheinung. So wurde in den 90er Jahren der pH-Wert 6 kein einziges Mal unterschritten, in den 80er Jahren dagegen immerhin viermal. Die untere Meßgrenze für das Säurebindungsvermögen von 0,1 mmol/l wurde in den 90er Jahren ebenfalls kein einziges Mal unterschritten, in den 80er Jahren jedoch vierzehnmal. Das entspricht einem Anteil von 37% aller in dieser Dekade vorgenommenen Messungen.

Maßen BATH & HEUSSLER (1963) 1961 an den von ihnen beprobten, überwiegend mesorhithralen Bachabschnitten ausschließlich pH-Werte < 6 (n = 43, Median = 5,7), so ergaben die Daten der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz für die 80er Jahre einen durchschnittlichen pH-Wert von 6,7 (n = 38, SD = 0,54, 95%-Vertrauensbereich = 6,5 – 6,8) und in den 90er Jahren einen noch höheren Mittelwert von 7,0 (n = 23, SD = 0,41, 95%-Vertrauensbereich = 6,8 – 7,2). Bei den pH-Meßwerten der Biologischen Fließgewässerüberwachung ist der Unterschied zwischen den 80er und 90er Jahren sehr signifikant (t-Test: p = 0,003, t = –3,46).

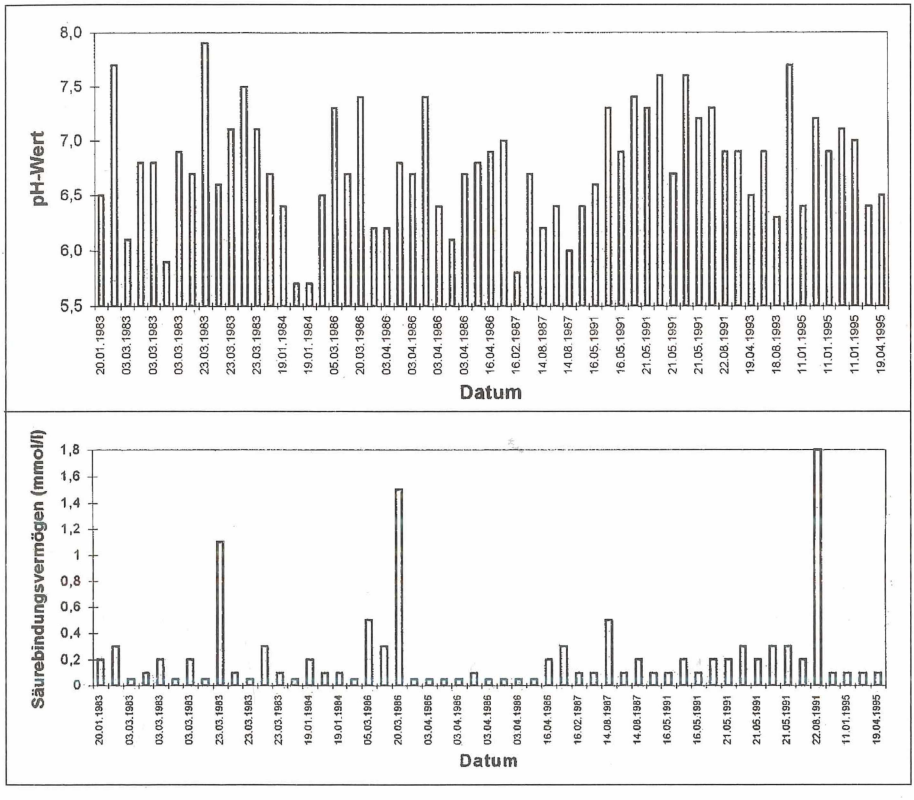

Abb. 2: Hydrochemische Daten der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz von den Meßstellen im Pfälzerwald (20. 1. 1983 bis 19. 4. 1995). Aus technischen Gründen wird das Datum der Probenahme nur für jeden zweiten Meßwert angeführt.

Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Säurebindungsvermögen, das in den 80er Jahren einen Median von 0,1 mmol/l (n = 38) aufwies und in den 90er Jahren auf 0,2 mmol/l (n = 15) anstieg. Der Unterschied zwischen den beiden Dekaden ist signifikant (Wilcoxon-Test: p = 0,0192, Z = –2,3412).

Besser noch als chemische Verfahren, die zunächst nur den augenblicklichen Zustand eines Fließgewässers widergeben, sind biologische Verfahren zur Beurteilung der Versauerung geeignet. Bereits einzelne Säureschübe, die von der in größeren Zeitabständen durchgeführten chemischen Wasseranalyse nicht erfaßt werden, können zum Verschwinden empfindlicher Arten führen. Beeinträchtigt wird durch die Versauerung auch die Vielfalt der Tiergruppen und -arten, sogenannter Taxa. Zum Nachweis versauerungsbedingter Schädigungen erarbeitet die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1995) derzeit einen entsprechenden biologischen Index, der den Ausfall sensibler Tierarten erfaßt und bewertet. Bei diesem vierstufigen Index, der erst im Entwurf vorliegt und noch überarbeitungsbedürftig ist, steht die niedrigste Klasse I (zirkumneutral) für unbelastete, die höchste Klasse IV (permanent stark versauert) für massiv geschädigte Bäche.

In den Bächen des Pfälzerwaldes ist eine Zunahme der festgestellten Taxa seit dem Beginn der amtlichen Biologischen Fließgewässerüberwachung festzustellen (Abb. 3), wobei besonders viele Formen zu Anfang der 90er Jahre gefunden wurden. Wurden in den

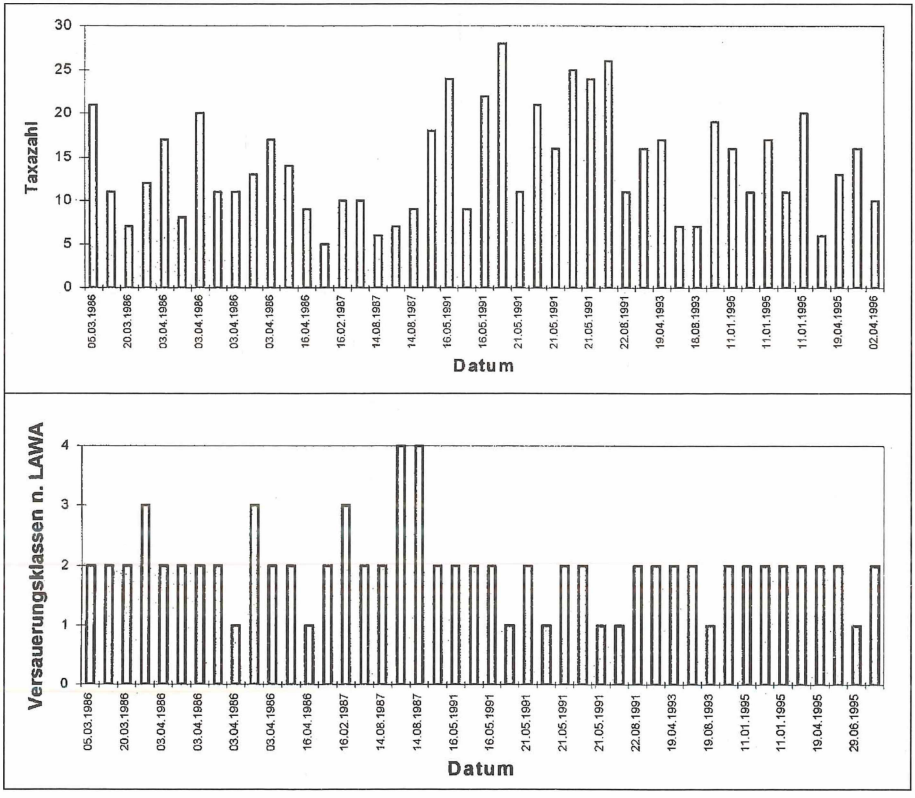

Abb. 3: Faunistische Daten der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz von den Meßstellen im Pfälzerwald (20. 1. 1986 bis 2. 4. 1996). Aus technischen Gründen wird das Datum der Probenahme nur für jeden zweiten Meßwert angeführt.

80er Jahren durchschnittlich 11,8 Taxa je Probe ermittelt (n = 20, SD = 1,04, 95%-Vertrauensbereich = 9,6 – 14,0), so waren es in den 90er Jahren durchschnittlich 16,1 (n = 25, SD = 1,29, 95%-Vertrauensbereich = 13,5 – 18,7). Die Taxazahlen sind in den 90er Jahren sehr signifikant größer als in den 80ern (t-Test: p = 0,005, t = –3,15).

Einen Rückgang der Säurebelastung läßt trotz gleicher Medianwerte in den 80er und in den 90er Jahren (Tab. 1) auch der Versauerungsindex der LAWA vermuten (Abb. 3). Danach waren in den 80er Jahren immerhin noch 25% aller Probestellen periodisch oder gar permanent stark sauer (Klassen III + IV), jedoch nur 10% zirkumneutral (Klasse I). Ganz anders ist dagegen die Situation in den 90er Jahren. Keines der untersuchten Gewässer ist mehr periodisch oder gar permanent stark sauer (Klassen III + IV), dagegen sind 25% als zirkumneutral (gegenüber 10% in den 80er Jahren) zu bewerten. Der Unterschied zwischen den 80er und den 90er Jahren ist signifikant (Wilcoxon-Test: p = 0,0249, Z = –2,2424).

6 Diskussion

6.1 Räumliche Verteilung der von Versauerung betroffenen Bereiche

Im Pfälzerwald sind überwiegend oberflächennahes Grundwasser und Quellen des mittleren Buntsandsteins in Mittel- und Oberhanglage sowie ihre Quellbäche von Versauerung betroffen, während das Rhithral praktisch unberührt davon bleibt.

Der Anstieg des pH-Wertes nach kurzer Fließzeit dürfte bis zu einem gewissen Grade auf das Ausgasen des im Grundwasser gelösten Kohlendioxides zurückzuführen sein.

In der besonderen geologischen Situation des Untersuchungsgebietes ist vermutlich die wesentliche Ursache für den auffälligen Unterschied in den Säureverhältnissen zwischen Krenal und Rhithral zu suchen: Die meisten Quellen entspringen oberhalb der tonigen Zwischenschichten der Felsbänke. Gerade in den Oberhanglagen und bei kleinen Einzugsgebieten ist die Versauerungsgefahr groß (PUHE & ULRICH 1985, FIEDLER-WEIDMANN & HAHN 1996, TRILLING 1996). Der mittlere Buntsandstein ist entsprechend seiner geologischen Schichtenfolge in klar voneinander unterschiedene, horizontale Grundwasserleiter gegliedert. Sobald der säurebelastete Quellbach die tonige Zwischenschicht zwischen zwei Aquiferen passiert hat und in die darunter gelegene Felszone eintritt (Abb. 4), gerät er in Kontakt mit dem darin fließenden Grundwasser. Wegen der darüberliegenden, schützenden, tonigen Zwischenschicht ist dieses Wasser noch nicht versauert, so daß es zu einer schnellen Neutralisierung des Bachwassers kommt.

Einen anderen Erklärungsansatz für den unbelasteten Zustand tieferen Grundwassers bot BENECKE (1997). Er stellte bei Untersuchungen zum Versauerungsgeschehen im Buntsandstein der Eifel fest, daß dieser dort trotz oberflächennaher Versauerung (Al/Fe-Pufferbereich) bereits in 5 m Tiefe wieder die volle, verwitterungsbedingte Säureneutralisierungskapazität aufweist. Daraus schloß BENECKE (1997), daß im Buntsandstein, der sich gegenüber der Sickerlösung wie Feinboden verhält, noch genügend Pufferkapazität vorhanden ist, um die Versauerungsfront in maximal 10 m Tiefe zum Stehen zu bringen.

Versauerungsgefährdet wären demnach, überträgt man diese beiden Ansätze auf die Fließgewässer, vor allem jene Quellen, die überwiegend aus oberflächennahem Abfluß gespeist werden. Nicht versauerungsgefährdet wären die Bäche, denen insbesondere im Rhithral erhebliche Menge tieferen Grundwassers zuströmen dürfte.

Eine Erhärtung der Hypothese der Pufferung saurer Bäche durch den Zustrom neutralen, tieferen Grundwassers bietet die Beobachtung von HAHN (1996), der in den Jahren 1993 und 1994 das pH-Regime des hypokrenalen Wetthöhgrabens bei Hinterweidenthal sowohl im Sediment als auch in der fließenden Welle erfaßt hat. Dabei zeigte sich, daß im Gegensatz zu anderen untersuchten Bachabschnitten des Gebietes der pH-Wert der fließenden Welle zeitweilig um bis zu 0,7 pH-Stufen niedriger war als der des Interstitialwassers (Abb. 5). Dieses Phänomen, das immer dann festgestellt werden konnte, wenn in der fließenden Welle des Wetthöhgrabens schwache Säureschübe auftraten, ist nur durch den Zustrom neutralen, tieferen Grundwassers in die Bachsedimente erklärbar.

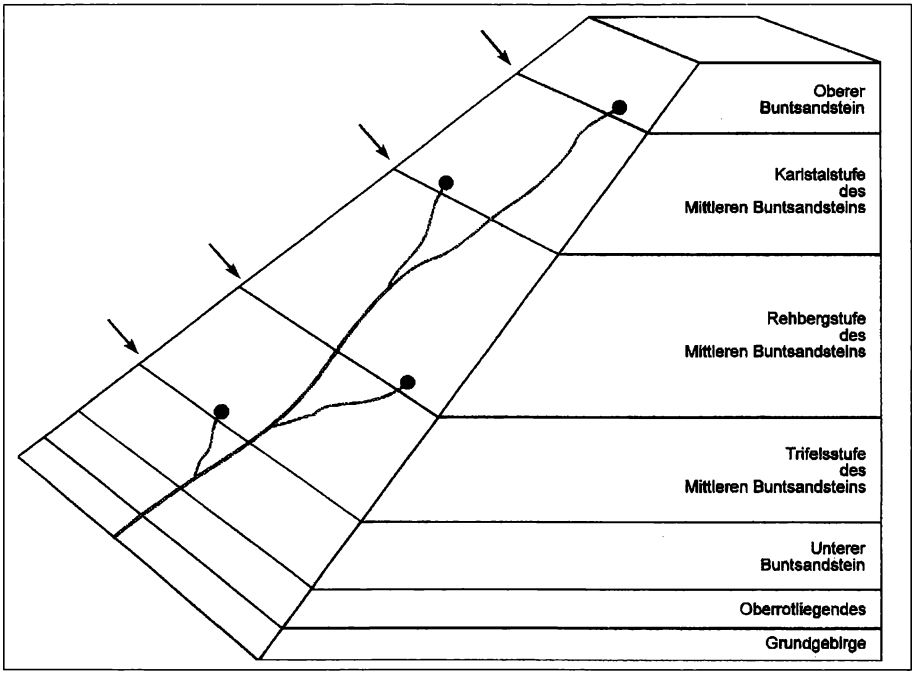

Abb. 4: Schema des geologischen Aufbaus des Pfälzerwaldes. Die Pfeile markieren die wichtigsten Quellhorizonte, Quellen sind durch Punkte gekennzeichnet. (aus HAHN 1996)

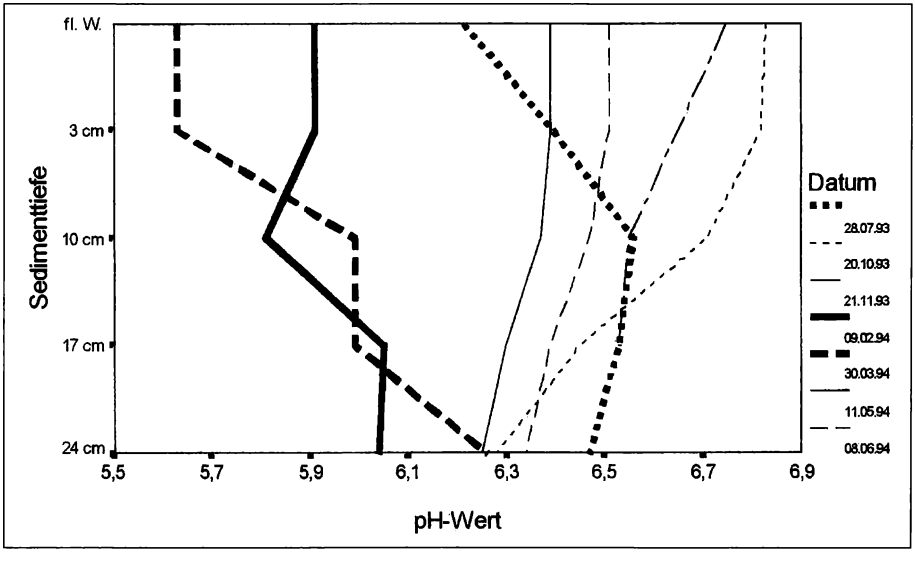

Abb. 5: Schichtabhängige Veränderung des pH-Wertes im Sediment des hypokrenalen Wetthöhgrabens. Die fett schraffierten Linien markieren einen mit zunehmender Tiefe ansteigenden pH-Wert. Fl. W. = Fließende Welle

Pufferung durch zuströmendes Grundwasser vermuteten auch CYFFKA et al. (1991) für die Bäche des Gewässerforschungsgebietes Ziegenhagen (GFZ) im nordhessischen Buntsandstein, ohne allerdings weiter auf dieses Phänomen einzugehen.

6.2 Verlauf des Versauerungsgeschehens

Für eine Beschreibung des Verlaufs des Versauerungsprozesses im Pfälzerwald sind die verfügbaren Daten unzureichend. Sie sind jedoch sehr wohl geeignet, Unterschiede zwischen den betrachteten Zeitabschnitten aufzuzeigen:

Die zwanzig Meßstellen der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz wurden an charakteristischen Bächen im Gebiet eingerichtet und die Probennahmen erfolgten fast immer im hydrologischen Winterhalbjahr. Obwohl die einzelnen Meßstellen nur jeweils einmal in fünf Jahren beprobt werden, ist deshalb davon auszugehen, daß die Ergebnisse repräsentativ für die Bäche im Pfälzerwald sind. Die statistische Bearbeitung der abhängigen Stichproben erfolgte mit dem t-Test bzw. bei nicht normalverteilten Daten mit dem Wilcoxon-Rangtest.

BATH & HEUSSLER (1963) untersuchten im Sommer 1961 alle bedeutsamen Bäche des südlichen Pfälzerwaldes (Wasgau). Zumindest für dieses Gebiet, das wegen des dort anstehenden pufferreicheren unteren Buntsandsteins heute als nicht so versauerungsgefährdet wie der mittlere und nördliche Pfälzerwald gilt, dürfte die Auswahl der Probestellen repräsentativ sein. Die pH-Werte haben BATH & HEUSSLER (1963) in den von ihnen untersuchten Wasgaubächen mit Indikatorpapier der Firma Merck, Darmstadt (mündl. Mitt. Bath 1995), gemessen. Nach Angaben von Merck (mündl. Mitt. 1997) betrug die Meßungenauigkeit der damaligen pH-Papiere, ähnlich wie bei den heute verwendeten, etwa 0,5 pH-Stufen. Auch unter Annahme des maximalen Fehlers liegen die von BATH & HEUSSLER (1963) gemessenen pH-Werte damit immer noch deutlich unter denen der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz aus den 80er und 90er Jahren. Trotzdem sollte mit diesen, auf recht einfache Weise erhobenen Daten vorsichtig umgegangen werden.

Die bei der Auswertung der Daten festgestellten Unterschiede zwischen den 80er und 90er Jahren dürften die tatsächlichen Verhältnisse im Pfälzerwald widerspiegeln. Ein Vergleich der Meßwerte von BATH & HEUSSLER (1963) mit denen der Biologischen Fließgewässerüberwachung Rheinland-Pfalz ist aus methodischen Gründen nicht statthaft, jedoch können letztere zumindest gewisse Anhaltspunkte für die Situation der Wasgaubäche in den 60er Jahren geben.

Die Betrachtung der vorliegenden Daten legt nahe, daß sich für den Pfälzerwald die oben beschriebenen, versauerungsrelevanten Parameter in den 90er Jahren günstiger darstellen als in den 80ern. Die Meßwerte von BATH & HEUSSLER (1963), zu denen leider keine Vergleichsdaten vorliegen, geben Anlaß zu der Überlegung, ob die heute als wenig versauerungsgefährdet zu wertenden Bäche im Wasgau in den 60er Jahren saurer waren als heute. Endgültige Aussagen zum Verlauf des Versauerungsprozesses im Pfälzerwald sind beim gegenwärtigen Stand der Forschung noch nicht möglich, jedoch geben die vorliegenden Daten Hinweise darauf, daß der Prozeß der Versauerung derzeit rückläufig ist.

Über die Ursachen der zwischen den verschiedenen Dekaden bezüglich des Versauerungsstatus festgestellten Unterschiede und über den zeitlichen Verlauf des Versauerungsprozesses im Pfälzerwald kann zunächst nur spekuliert werden. Welche Bedeutung dabei dem Witterungsgeschehen oder anderen Faktoren zukommt, muß hier zunächst offen bleiben. Für das Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald dürften vor allem zwei Faktorengruppen von Bedeutung sein, nämlich die Art der Landnutzung und atmogene Schadstoffeinträge. Bei beiden lassen sich seit einigen Jahren bzw. Jahrzehnten deutliche Veränderungen feststellen.

Fast unmöglich ist es, luftbürtige und pedogene/interne Versauerung voneinander zu trennen. Gleichwohl ist anzunehmen, daß gerade letzterer eine große Bedeutung im Pfäl-

zerwald zukommt. Neben den im Zuge der Industrialisierung erfolgten luftbürtigen Schadstoffeinträgen der jüngeren Vergangenheit dürfte die vorindustrielle Tätigkeit des Menschen ganz erheblich zur Säureakkumulation in den oberen Boden- und Felsschichten beigetragen haben. Bis zum Ende des vergangenen Jahrhunderts war der Wald durch Übernutzung schwer geschädigt, die Böden durch Streuentnahme erodiert und ohne schützende Humusauflage. Vor allem im Süden und Osten waren weite Teile des Gebietes unbewaldet, bestenfalls von Krüppelkiefern und den Rohhumusbildnern Besenheide *Calluna vulgaris* und Heidelbeere *Vaccinus myrthilus* bestanden (ANTES 1933). Heide und Heidelbeere geben Wurzelsäuren in großer Menge ab, wodurch binnen weniger Jahre der Boden in ihrer näheren Umgebung versauert (WILMANNS 1989). Aufgrund seiner Bilanzierung der Stoffflußraten kam BENECKE (1997) zu dem „zwingenden" Schluß, „daß der derzeitige Versauerungszustand (des Buntsandsteins in der Eifel, Anm. d. Verf.) nur zum geringen Teil eintragsbedingt, der größere Teil dagegen offenbar im Laufe der Bodengenese und Gesteinsverwitterung entstanden ist". Auf die immense Bedeutung der Landnutzung für den Säureeintrag wies auch das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (1997) hin.

Einen Hinweis darauf, daß schon vor der Industrialisierung die Bäche des Pfälzerwaldes zumindest versauerungsgefährdet, möglicherweise sogar sauer waren, gibt die Verbreitung des Knöterichlaichkrautes *Potamogeton polygonifolius*. *Potamogeton polygonifolius* gilt als konkurrenzschwach und säuretolerant und besiedelt deswegen ausschließlich puffer- und nährstoffarme, unbeschattete Gewässer (HAURY & MULLER 1991). Die Art kommt heute noch in einigen kleinen, strömungsarmen und meist sauren Bächen des Wasgaus sowie in wenigen Woogen vor (ROWECK et al. 1986). Vor einhundertfünfzig Jahren beschrieb SCHULTZ (1846) das Knöterichlaichkraut dagegen als „besonders häufig in der Vogesensandsteinformation (mittlerer Buntsandstein, Anm. d. Verf.)". Die damalige weite Verbreitung weist auf die große Zahl unbelasteter und elektrolytarmer, möglicherweise aber auch saurer Gewässer im Gebiet hin. *Potamogeton polygonifolius* reagiert sehr empfindlich auf Gewässerverschmutzung, was wohl auch der Hauptgrund für seinen Rückgang ist. Gleichwohl stellt sich angesichts der heutigen Fundorte die Frage, ob die ursprüngliche Nährstoffarmut der Gewässer der einzige Schlüssel zum Verständnis der bei SCHULTZ (1846) beschriebenen Häufigkeit der Art ist. Oder waren die Bäche des Pfälzerwaldes bereits vor 150 Jahren von Versauerung betroffen?

Verstärkt und überlagert wird die von BENECKE (1997) postulierte pedogene Versauerung mit Sicherheit durch atmogene Einträge von Verbrennungsrückständen, insbesondere von Stickstoff- und schwefligen Verbindungen. Die Rekonstruktion der pH-Werte von Seen im Buntsandsteinschwarzwald zeigt, daß bei diesen bereits im 18. Jahrhundert sauren Gewässern (pH 4,5 – 5) in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts eine weitere Versauerung durch atmosphärische Säuredepositionen einsetzte (JÜTTNER 1995, HINDERER & EINSELE 1998). Auf luftbürtigen Schadstoffeintrag als Hauptursache der gegenwärtigen Versauerung weist die Verteilung der versauerten Quellbäche im Pfälzerwald hin. Diese befinden sich überwiegend im westlichen Teil des Gebietes, in der Hauptwindrichtung also (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz 1991).

Heute läßt sich jedoch feststellen, daß zumindest bei einigen, die Versauerung fördernden Faktoren eine Verbesserung bereits eingetreten ist, bzw. sich gerade vollzieht.

Die Wälder und Böden im Pfälzerwald befinden sich in einem deutlich besseren Zustand als noch im vergangenen Jahrhundert. Besenheide und Heidelbeere kommt nur noch vereinzelt und meist nicht mehr flächenhaft vor. Durch das Unterlassen der Streunutzung hat eine Erholung der Humusauflage eingesetzt. Seit einigen Jahren beginnt im Zuge der „Ökologisierung" der Forstwirtschaft auch der Anteil der Laubwälder im Gebiet langsam wieder zu steigen.

Als äußerst problematisch sind noch immer die atmogenen Schadstoffeinträge zu bewerten. Durch die Rauchgasentschwefelung ist zumindest beim Sulfat eine deutliche Besserung eingetreten. Heute liegen die SO_4-Immissionen in den Waldgebieten von Rheinland-Pfalz um etwa 85% unter denen von 1985 (NICOLAI 1997). Für den Pfälzerwald dürf-

te durch den Niedergang der in der Hauptwindrichtung gelegenen saarländischen Schwerindustrie in den 1970er Jahren die Bilanz möglicherweise noch günstiger ausfallen, wobei Immissionsmeßdaten aus dieser Zeit leider nicht vorliegen.

Unverändert hoch ist die Belastung durch Stickoxide geblieben. Für Boden und Wasser im Pfälzerwald geht von dieser Stoffgruppe derzeit die größte Gefahr aus (BLOCK 1997).

Vor dem Hintergrund der im Gebiet sich seit etwa 150 Jahren vollziehenden, insbesondere den Schwefeleintrag betreffenden Veränderungen, erscheint die Überlegung, daß in den Bächen des Pfälzerwaldes möglicherweise seit den 1960er, vor allem aber seit den 80er Jahren ein Rückgang der Versauerung stattfindet, durchaus plausibel. Dies deckt sich mit Beobachtungen des LfW am Traunbach im Hunsrück, wo die seit 1982 erhobenen, versauerungsrelevanten Parameter ebenfalls einen Trend zu geringerer Säurebelastung vermuten lassen (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, mündl. Mitt. 1998). Über ähnliche Befunde aus dem Bayerischen Wald berichtete BAUER (1996): „Beim Vergleich mit den hydrochemischen Daten der achtziger Jahre zeigt sich, daß mehrheitlich ein Anstieg beim pH-Wert, SBV und DOC eingetreten ist... Dies spricht dafür, daß sich bei vielen Gewässern eine Entlastung hinsichtlich Gewässerversauerung abzeichnet."

Sehr unwahrscheinlich ist hingegen ein entsprechender Einfluß von Waldkalkungen. Waldkalkungen wirken sich nur wenig oder gar nicht auf den pH-Wert tieferer Sickerwässer und der Fließgewässer im Gebiet aus (SCHÜLER 1992, MAUDEN 1993, HAHN 1996). Dieser Ansicht sind auch MEINEL et al. (1996), die bei limnologischen Langzeituntersuchungen an ehemals versauerten Bächen im Nordhessischen Buntsandstein einen Wiederanstieg des pH-Wertes verbunden mit der Rückkehr säureempfindlicher Wasserinsekten feststellten. Den Grund für diese Entwicklung sehen die Bearbeiter in der Verminderung der Schwefelimmissionen durch den Einsatz spezieller Filteranlagen und der nach der Wiedervereinigung 1990 eingetretenen Verminderung der Fernemissionen aus den mitteldeutschen Industriegebieten.

7 Schlußbetrachtung

Die eingangs gestellte Frage, wie sauer das Wasser im Pfälzerwald tatsächlich ist, läßt sich dahingehend beantworten, daß sich die aktuelle Versauerung im Pfälzerwald offensichtlich auf oberflächennahes Grundwasser und die davon gespeisten Quellen und Quellbäche beschränkt. Immer noch offen ist jedoch wegen der unzureichenden Datenlage die Frage nach dem Verlauf des Versauerungsgeschehens während der vergangenen Jahrzehnte und Jahrhunderte, bzw. die für die kommenden Jahre zu erwartende Entwicklung. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich. Die vorgestellten Ergebnisse lassen aber vermuten, daß aufgrund der stark rückläufigen schwefligen Einträge der Prozeß der Versauerung derzeit rückläufig ist.

Sollte sich letztere Hypothese erhärten, so würde dies keinesfalls eine Entwarnung bedeuten. Die schädigenden Einflüsse erhöhter Stickstoffdepositionen auf Waldökosysteme und Wasser sind hinreichend bekannt. Die Stickstoffbindekapazität der oberen Bodenschichten im Pfälzerwald dürfte in absehbarer Zeit erschöpft sein. Hinsichtlich der Stofftransporte besteht dann ein Fließgleichgewicht, so daß weitere Säureeinträge zu einer entsprechend großen Ionenfreisetzung und -verlagerung innerhalb des Systems in Richtung Versauerungsfront und Grundwasser führen werden. Deshalb sind die Anstrengungen zur Verminderung der Stickoxidbelastung weiter zu verstärken. Daß sich entsprechende Maßnahmen bereits mittelfristig in einer Verbesserung der Umweltqualität niederschlagen werden, lassen die Beobachtungen im Pfälzerwald, im Hunsrück, im Bayerischen Wald und in Nordhessen erwarten.

8 Literaturverzeichnis

ANTES, K. (1933): Die pfälzischen Haingeraiden. – Diss. Univ. Freiburg, auch Kaiserslautern, 181 S., Kaiserslautern: Thieme

BATH, H. & HEUSSLER, T. (1963): Fischfauna und Gewässer um Pirmasens. – Mitt. POLLICHIA, 3, 10: 68–87; Bad Dürkheim

BAUER, J. (1996): Ökologische Untersuchungen von Gewässern mit diffusen Belastungen im tschechisch-bayerischen Grenzraum. – Deutsche Ges.Limnol., Tagungsbericht 1995 (Berlin), Eigenverl. d. DGL, Krefeld

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1997): Grundwasserversauerung in Bayern. – Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.), 184 S., München

BENECKE, P. (1997): Beeinflussung des Grundwassers durch Luftschadstoffe. – In: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg): Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz: 28–38, Mainz

BLOCK, J. (1997): Dispositionen rheinland-pfälzischer Waldbodensubstrate gegenüber Bodenversauerung. – In: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg): Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz: 16–27; Mainz

BÖHMER, J. & RAHMANN, H. (1992): Bioindikationsverfahren zur Gewässerversauerung. Literaturstudie zur Erarbeitung von Bioindikationsverfahren zur Gewässerversauerung. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Projekt „Angewandte Ökologie", 3, 194 S., Karlsruhe

CYFFKA, B., GEROLD, G. & PÖRTGE, K. (1991): Gebietsdifferenzierter Wasser- und Stoffhaushalt im Gewässerkundlichen Forschungsbereich Ziegenhagen (Kaufunger Wald). – Verh. Ges. Ökol. (Poster) 20, 2

FIEDLER-WEIDMANN, B. & HAHN, H. J. (1996): Quellbiotopkartierung im Buntsandstein des Pfälzerwaldes. – Gutachten des Bund für Umwelt und Naturschutz Rheinland-Pfalz im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, 117 S., Mainz

Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz (1994): Chemische Daten zur Stoffdeposition und Quellwasserqualität. – Schriftl. Mitt., Trippstadt

GEIGER, M. (1987): Der Pfälzerwald im geographischen Überblick. – In: GEIGER, M., PREUSS, G. & ROTHENBERGER, K.-H.: Der Pfälzerwald – Porträt einer Landschaft: 9–58, Verlag Pfälzische Landeskunde, Landau

GREWING, C. (1992): Biogeographische Untersuchungen zur Versauerung ausgewählter Quellen im Pfälzerwald – Vergleich und Bewertung chemisch-physikalischer Ökosystemfaktoren im Jahresverlauf. – Diplomarbeit der Universität des Saarlandes, Fachbereich Biogeographie, 93 S., Saarbrücken (unveröff.)

GÜNTHER, G. (1992): Ergebnisse der Quellen- und Bachkartierung am Oberlauf der Wieslauter. Chemismus, Physiographie/Geomorphologie, Vegetation. – Werkvertrag der Universität Koblenz-Landau, Landau

HAHN, H. J. (1996): Die Ökologie der Sedimente eines Buntsandsteinbaches im Pfälzerwald unter besonderer Berücksichtigung der Ostracoden und Harpacticoiden (Crustacea) – Diss. Univ. Gießen, Fachbereich Biologie, 264 S., Gießen

HAURY, J. & MULLER, S. (1991): Variations écologiques et chorologiques de la végétation macrophytique des rivières acides du Massif armoricain et des Vosges du Nord (France). – Rev. Sci. de l'Eau 4, 4: 463–482

HINDERER, M. & EINSELE, G. (1998): Grundwasserversauerung in Baden-Württemberg. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Handbuch Wasser 3, 210 S., Karlsruhe

HOFFMANN, K. (1992): Anthropogene Belastungen ausgewählter Fließgewässer der Rheinpfalz. – Diss. Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Fachbereich Geowissenschaften, 259 S., Mainz

KONRAD, H. J. (1975): Geologische Karte von Rheinland-Pfalz 1:25 000; Erläuterungen zu Blatt 6711 Pirmasens-Nord – Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz

JÜTTNER, I. (1995): Rekonstruktion und Ursachenermittlung der Versauerung ausgewählter Seen im Nordschwarzwald – Diss. Techn. Univ. München, 168 S., München

LACHENMEYER, A. (1992): Limnologische Untersuchung des Schwarzbaches im Mittleren Pfälzerwald. – Diplomarbeit der Universität Mainz, Fachbereich Biologie, 197 S., Mainz (unveröff.)

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): Bioindikation des Säurezustandes von kleinen Fließgewässern auf der Grundlage des Makrozoobenthons. Entwurf, Stand: 1. 5. 1995. – Unveröffentlichter Entwurf

Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1991): Meßprogramm „Versauerung von Fließgewässern in ausgesuchten Gebieten von Rheinland-Pfalz". – Mainz

Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1997): Auszüge aus den Daten des Amtlichen Grundwassermeßnetzes. – Schriftl. Mitt., Mainz

Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1996): Auszüge aus den Daten der biologischen Fließgewässerüberwachung. – Schriftl. Mitt., Mainz

MAUDEN, R. (1993): Die Auswirkungen von Säureimmissionen und von Waldkalkungen auf das Makrozoobenthon basenarmer Bäche im Hunsrück. – Diplomarbeit der Universität Mainz, Fachbereich Biologie, 139 S., Mainz (unveröff.)

NICOLAI, R. (1997): Entwicklung der Schadstoffemissionen. – In: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg): Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz: 5–15

PUHE, J. & ULRICH, B. (1985): Chemischer Zustand von Quellen im Kaufunger Wald. – Arch. Hydrobiol., **102** (3): 331–342

REWITZER, P. (1992): Biogeographische Untersuchungen zur Versauerung ausgewählter Quellen im Pfälzerwald – Biozönotische Struktur und deren Abhängigkeit von Umweltfaktoren. – Diplomarbeit der Universität des Saarlandes, Fachbereich Biogeographie, 95 S., Saarbrücken (unveröff.)

ROWECK, H., RISSE, S. & KOHLER, A. (1985/86): Zur Verbreitung, Standortökologie und morphologischen Variabilität von *Potamogeton polygonifolius* in den Fließgewässern des südlichen Pfälzerwaldes. – Mitt. POLLICHIA, **73**: 289–374, Bad Dürkheim

SCHOEN, R. & SCHMITT, P. (1987): Zur Situation der Gewässerversauerung im Pfälzerwald. – UBA-Texte **22/87**: 52–55

SCHÜLER, G. (1992): Erste Auswirkungen der Bodenschutzkalkung auf den Sickerwasserchemismus in versauerten Waldökosystemen. Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren von 1988 bis 1991. – Mitt. Forstl. Versuchsanst. Trippstadt, Rheinland-Pfalz, **21**, Trippstadt

SCHULTZ, F. W. (1846): Flora der Pfalz. – Speyer, Nachdruck i. Verlag d. Buchhandlung J. Richter, Pirmasens 1971

THIENEMANN, A. (1950): Verbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. – Die Binnengewässer **XVIII**, 879 S., Stuttgart: Schweizerbart

TRILLING, B. (1996): Grundwasserversauerung im Pfälzerwald. – Gemeinsamer Abschlußbericht zum Forschungsprojekt „Grundwasserqualitätsänderungen aufgrund von Bodenversauerung durch atmosphärische Einträge im Pfälzerwald" der Professur für Hydrologie und des Instituts für Forstökonomie im Auftrage des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Freiburg

TRÖGER, U. (1997): Pflanzensoziologische Bearbeitung ausgesuchter Quellen des Pfälzerwaldes unter besonderer Berücksichtigung des Säurezustandes. – Diplomarbeit der Universität Kaiserslautern, Fachbereich Biologie, 147 S., Kaiserslautern (unveröff.)

WILD G. (1992): Charakterisierung des im Mittleren Pfälzerwald gelegenen Schwarzbaches und Vergleich mit Bachsystemen im Hunsrück. – Diplomarbeit der Universität Mainz, Fachbereich Biologie, 144 S., Mainz (unveröff.)

WILMANNS, O. (1989): Ökologische Pflanzensoziologie. – UTB für Wissenschaft, 382 S., Heidelberg, Wiesbaden: Quelle & Meyer

(bei der Schriftleitung eingegangen am 21. 10. 1998)

Verfasser:

Dr. Hans Jürgen Hahn, Institut für Regionale Umweltforschung und Umweltbildung an der Universität in Landau, Im Fort 6, 76829 Landau/Pfalz

Prof. Dr. Günter Preuß, Hugenottenstr. 7, 76855 Annweiler am Trifels

Prof. Dr. Eckhard Friedrich, Institut für Regionale Umweltforschung und Umweltbildung an der Universität in Landau, Im Fort 6, 76829 Landau/Pfalz

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: 85

Autor(en)/Author(s): Hahn Hans Jürgen, Preuß Günter, Friedrich Eckhard

Artikel/Article: Wie sauer ist das Wasser im Pfälzerwald tatsächlich? Betrachtungen zum Versauerungsgeschehen im Pfälzerwald 19-34