

Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

Birte Scheler, Egbert Schönfelder und Johannes Suttmöller

1982 wurde von der Hessischen Landesregierung das Untersuchungsprogramm "Waldbelastung durch Immissionen" (Wdl) (heute: Waldökosystemstudie Hessen) eingesetzt. Im Rahmen dieses Programms wurden in den Gebieten der Hauptmessstationen Königstein (Taunus), Grebenau (Vogelsberg und östl. angrenzende Sandsteingebiete), Witzenhausen (Nordosthessisches Bergland), Biebergemünd (Spessart), Frankenberg (nördliches hessisches Schiefergebirge) und Fürth (kristalliner und südwestlicher Buntsandstein-Odenwald) neben dem Freiland- und Bestandesniederschlag sowie dem Bodensickerwasser seit 1987 insgesamt 35 Quellbäche mit bewaldeten Einzugsgebieten im 14-tägigen Rhythmus chemisch analysiert.

Die chemische Gewässerqualität der Waldbäche wird im Wesentlichen durch das Ausgangsgestein mit seiner spezifischen Versauerungsempfindlichkeit, die Höhe der Säuredeposition mit dem Niederschlag, die Lage der Versauerungsfront in den oberen Bodenschichten sowie durch die Mobilisation von im Boden gespeicherter Säuren bestimmt. Ob forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Kalkung, Baumartenzusammensetzung oder Hauptnutzung unmittelbare Auswirkungen auf die Gewässerqualität haben, soll im Rahmen weiterführender Auswertungen geklärt werden.

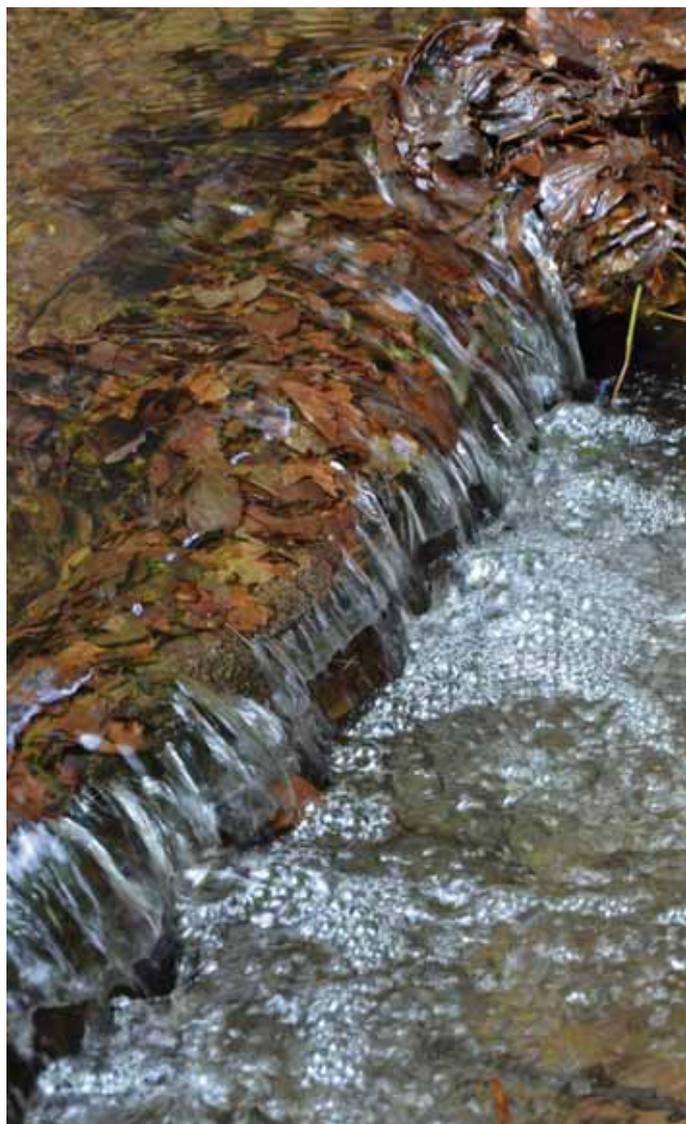
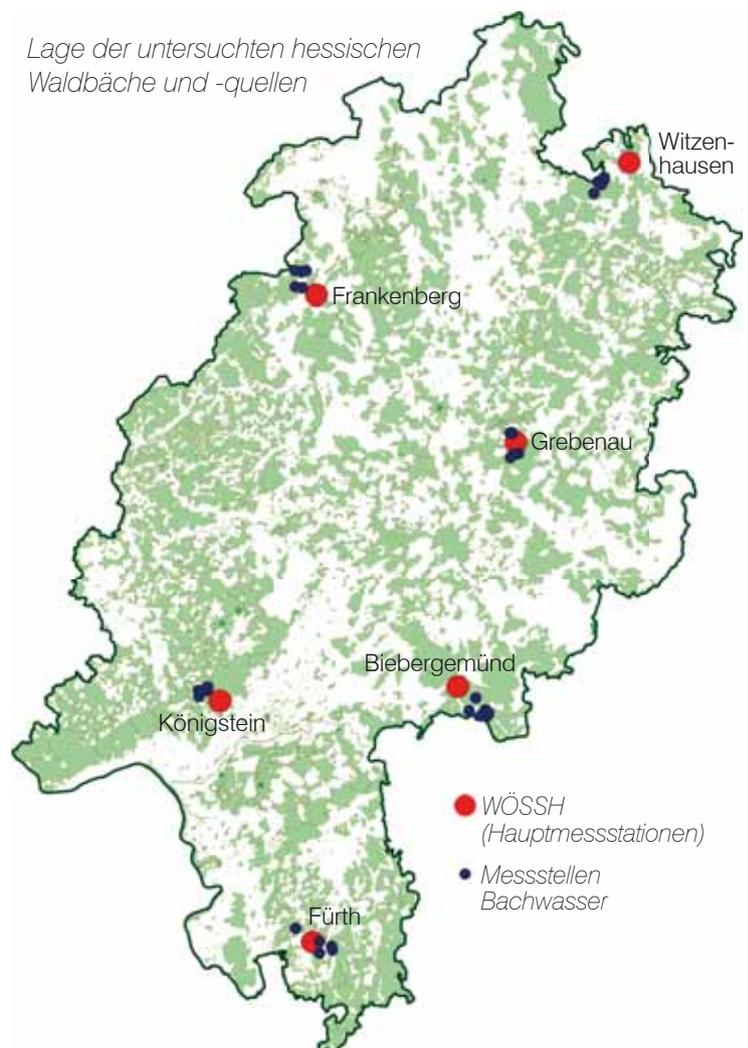


Foto: J. Evers

Der Bachabfluss setzt sich aus den Komponenten Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss (aus den oberflächennahen, i. d. R. stärker versauerten Bodenhorizonten) und dem vom Grundwasser gespeisten Basisabfluss zusammen. In Abhängigkeit von der Wassersättigung des Bodens, der Witterung sowie dem Relief variiert der Anteil der verschiedenen Abflusskomponenten am Bachabfluss ständig. Da sich insbesondere durch die Lage der Versauerungsfront die einzelnen Abflusskomponenten in den Gebieten chemisch mehr oder weniger deutlich unterscheiden, unterliegt die Konzentration der Inhaltsstoffe der untersuchten Quellbäche ebenfalls teilweise erheblichen Schwankungen im Jahresverlauf. Diese Saisonalität konnte durch die langjährigen Untersuchungen aufgezeigt werden. Mit Hilfe eines mathematischen Modells wurde die zeitliche Entwicklung nachgezeichnet und Trends berechnet. Das verwendete Modell zeichnet den langfristigen Trend unter Berücksichtigung von veränderlichen jahreszeitlichen Schwankungen und der Abhängigkeit zeitlich aufeinanderfolgender Messungen nach.

Für eine erste Charakterisierung der Quellbäche wurde für alle Parameter der Median des Zeitraums 1988/89-2001 berechnet. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil für ihn vollständige Messreihen für 31 Quellbäche vorliegen. Ab dem Hydrologischen Jahr 2002 wurden 13 Bäche, 2006/2007 weitere 15 Bäche aus Kostengründen nicht mehr beprobt. Ende 2012 wurde die Bachwasserbeprobung in den Gebieten der ehemaligen Hauptmessstationen vollständig eingestellt.

Lage der untersuchten hessischen Waldbäche und -quellen



Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

Güteklassifikation für Nährstoffe und Salze; Auszug aus der Tabelle der LAWA, Überwachungswert: 90-Perzentil-Wert

Stoff	Einheit	Stoffbezogene chemische Gewässergütequalifikation						
		I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Nitrat-N	mg/l	≤ 1	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 5	≤ 10	≤ 20	> 20
Ammonium-N	mg/l	≤ 0,04	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	> 2,4
Sulfat	mg/l	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800
Chlorid	mg/l	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800

Anzahl der Quellbäche bewaldeter Einzugsgebiete hessischer Mittelgebirge in den Güteklassen für Nährstoffe und Salze nach LAWA

Stoff	1989					Letztes Beobachtungsjahr (2001, 2005, 2006 oder 2012)				
	I	I-II	II	II-III	III	I	I-II	II	II-III	III
Nitrat-N		13	8	10		4	10	10	7	
Ammonium-N		1	7	22	1	21	4	6		
Sulfat	10	15	6			19	9	3		
Chlorid	30	1				28	3			



Foto: J. Evers

Bachtypen

30 der 31 Bäche weisen elektrische Leitfähigkeiten zwischen 43 und 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mikro-Siemens pro cm, 5- bzw. 95-Perzentil-Wert) auf und gehören damit zu den ionenarmen Silikat-Bergbächen. Besonders ionenarm mit einem 95-Perzentil-Wert kleiner als 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sind die Bäche mit den Ausgangsgesteinen unterer Buntsandstein (Spessart) und mittlerer Buntsandstein (Witzenhausen, Fürth). Drei von fünf Bächen in Königstein mit den Substraten Tonschiefer bzw. Glimmersandstein sind ebenfalls sehr ionenarm. Diese Bäche sind durch geringe bis sehr geringe Gehalte an Calcium- und Magnesiumionen gekennzeichnet und haben dadurch nur eine geringe Pufferfähigkeit gegenüber Säuren. Die Gesamthärte bei den untersuchten Bächen lag bei 25 Bächen zwischen 0 und 4 °dH (Grad deutscher Härte; nach HÖLL (1986) gilt Wasser bis 4 °dH als sehr weich, bis 8 °dH als weich und über 30 °dH als sehr hart) bzw. bei 6 Bächen zwischen 4 und 8 °dH. Aufgrund der geringen Härtegrade kann davon ausgegangen werden, dass die pH-Werte aufgrund der im Wasser gelösten freien Kohlensäure auch ohne anthropogene Belastung im leicht sauren Bereich liegen würden.

Bei allen untersuchten Bächen des Buntsandsteins (18 von 31 Quellbächen) ist Sulfat (SO_4) das dominierende Anion (Abb. S. 35 unten), sein Anteil an der Anionensumme beträgt in diesen Wässern bis zu 78 %, bei vier Bächen im Taunus mit den Ausgangssubstraten Tonschiefer und Glimmersandstein dominiert Chlorid (Cl) mit einem Anteil an der Anionensumme zwischen 34 und 59 %, fünf Bäche mit dem Ausgangssubstrat Tonschiefer/Grauwacke in Frankenberg sowie ein Bach aus einem Diorit dominierten Einzugsgebiet (Odenwald) sind durch hohe Alkalinität (Alk) (46 bis 65 % der Anionensumme) gekennzeichnet.

Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) sind in fast allen untersuchten Quellbachwässern die wichtigsten Kationen mit Anteilen zwischen 33 und 61 % für Calcium bzw. 20 und 33 % für Magnesium. In sieben Bächen zeigen nennenswerte bis hohe Anteile von Aluminium (4 bis 28 %) und freien Protonen (1,4 bis 5,4 %) an der Kationensumme die weit fortgeschrittene Versauerung dieser Gewässer.

In allen Quellbächen des unteren Buntsandsteins (Spessart) liegt der Kaliumanteil (K) an der Kationensumme mit 11 bis 12 % deutlich über denen der Bäche anderer Ausgangssubstrate.

Chemische Gewässergüteklassifikation

Von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurde für Wasserinhaltsstoffe ein 7-stufiges Klassifikationsschema mit vier Haupt- und drei Unterklassen zur Bewertung der chemischen Gewässergüte entwickelt. Die Stoffkonzentrationen der Güteklasse I sind von den geogenen Hintergrundwerten abgeleitet und charakterisieren einen Zustand ohne anthropogene Belastung. Die Stoffkonzentrationen der Stufe II sind die einzuhaltenden Zielvorgabenwerte und werden als mäßige Belastung interpretiert, von einer deutlichen Belastung wird bei Konzentrationen bis zum zweifachen Wert der Zielvorgabe gesprochen. Als Überwachungswert wird der 90-Perzentil-Wert herangezogen. Von den in der LAWA-Gewässergüteklassifikation genannten 11 Nährstoffen, Salzen und Summenkenngrößen wurden in den hessischen Bachwässern lediglich die Stoffe Nitrat-N, Ammonium-N, Sulfat und Chlorid analysiert (Tabellen oben).

Im Vergleich des Jahres 1989 mit dem jeweils letzten Jahr der Beobachtung konnten hinsichtlich der Nitratkonzentration 12 Quellbäche einer besseren Güteklasse zugeordnet werden,

Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

fünf Bäche verschlechterten sich um eine oder zwei Güteklassestufen, 14 Bäche blieben in der gleichen Güteklasse. Hinsichtlich der Ammonium-Konzentration verbesserte sich der Zustand von 29 Quellbächen um bis zu drei Stufen, einer verschlechterte sich um eine Stufe, einer blieb in der gleichen Stufe. Bei der Sulfat-Konzentration erreichten 13 Bäche eine bessere Stufe, zwei Quellbäche wurden eine Stufe schlechter und 16 blieben in der gleichen Güteklasse.

Die Gesamtbeurteilung eines Baches richtet sich nach der jeweils schlechtesten für einen Inhaltsstoff vergebenen Güteklasse. 1989 fielen drei Bäche in die Kategorie mäßige Belastung (Stufe II), 27 Bäche in die Kategorie deutliche Belastung (Stufe II-III) sowie ein Bach in die Kategorie erhöhte Belastung (Stufe III). Die Gesamteinstufung erfolgte bei allen Bächen aufgrund der Konzentrationen der beiden untersuchten Stickstoffparameter und zwar in den meisten Fällen wegen der Ammoniumkonzentration.

In dem jeweils letzten Jahr der Beobachtung sind nur noch sieben Bäche als deutlich (Stufe II-III), 12 Bäche als mäßig (Stufe II), 11 als sehr gering (Stufe I-II) und ein Bach als anthropogen unbelastet (Stufe I) einzustufen. In der Mehrzahl der Fälle war zu diesem Zeitpunkt aufgrund des starken Rückgangs der Ammoniumkonzentration die Güteklasse für Nitratstickstoff, in einzelnen Fällen auch die Güteklasse für Sulfat bzw. Ammonium entscheidend für die Gewässergüteklassifikation.

Insgesamt hat sich die chemische Gewässergüte bei 14 von 31 untersuchten Quellbächen um eine Gütestufe, bei neun Quellbächen um zwei Gütestufen und bei einem Bach um drei Gütestufen verbessert. Sechs von sieben Bächen, die in der gleichen Gütestufe geblieben sind, befinden sich aufgrund der Nitratkonzentration in der Stufe II-III.

Trinkwassergrenzwerte

Die Trinkwassergrenzwerte für Aluminium in Höhe von 0,2 mg pro Liter wurden bei sieben Bächen sowohl im Anfangsjahr als auch im letzten Jahr der Beobachtung zum Teil erheblich überschritten. Die Trinkwassergrenzwerte für Blei (10 µg pro Liter), Cadmium (3 µg pro Liter) und Kupfer (2 mg pro Liter) wurden an allen Bächen eingehalten.

Versauerungszustand

Im Folgenden werden Versauerungsstatus bzw. -gefährdung der untersuchten Bäche mit Hilfe der Indikatoren pH-Wert und Versauerungsquotient $(Ca+Mg)/(SO_4+NO_3)$ dargestellt.

Nach dem Kriterium "pH-Wert" war 1989 ein Bach permanent nicht sauer (Stufe 1), die pH-Werte von neun Bächen lagen im schwach sauren bis neutralen Bereich (Stufe 2) und waren damit zum Untersuchungszeitpunkt nicht

*Kriterien für den Versauerungsstatus bzw. das Gefährdungspotenzial schwach mineralisierter Wässer (verändert nach DVWK 1997),
Überwachungswert: 10-Perzentil-Wert*

Versauerungszustand/Gefährdungspotenzial	pH-Wert	$(Ca+Mg)/(SO_4+NO_3)$
1: permanent nicht sauer/ungefährdet	≥ 7	> 4
2: schwach sauer-neutral, z. Zt. nicht gefährdet/ zunehmende Gefährdung	7 bis 6	1,5- 4
3: schwach sauer/versauerungsempfindlich	6 bis 5	1 - 1,5
4: versauert	< 5	< 1



Foto: R. Steffens

Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

gefährdet, 11 Bäche fielen in die Stufe permanent schwach sauer (Stufe 3) und 10 Bäche waren ganzjährig stark versauert mit pH-Werten von oft unter 4,5 (Stufe 4). Im Vergleich mit dem Zustand 1989 hatte sich im jeweils letzten Jahr der Probenahme der Versauerungszustand bei drei Bächen von Stufe 3 (schwach sauer) auf Stufe 2 (schwach-sauer bis neutral) und bei zwei Bächen von Stufe 4 auf Stufe 3 verbessert.

Das Gefährdungspotenzial eines Bachs kann mit Hilfe des Versauerungsquotienten $(Ca+Mg)/(SO_4+NO_3)$ abgeschätzt werden. Danach kann infolge der geringen Basenausstattung der untersuchten silikatischen Quellbäche kein Bach als ungefährdet eingestuft werden, da selbst bei pH-Werten um 7 der Versauerungsquotient im Jahresverlauf häufig unter 4 liegt. Bei sechs Bächen herrscht das Hydrogencarbonat-Puffersystem vor (Stufe 2), es zeigt sich jedoch eine zunehmende Versauerungsgefährdung. 6 Bäche befinden sich im Übergangsbereich vom Hydrogencarbonat- in das Aluminium-Puffersystem (Stufe 3), 17 von 18 Bächen mit dem Ausgangssubstrat Buntsandstein sowie ein Bach mit dem Ausgangssubstrat Glimmersandstein sind ganzjährig stark versauert (Stufe 4). Das Gefährdungspotenzial von 2 Bächen im Gebiet Königstein (Ausgangssubstrat Tonschiefer) hatte sich im letzten Jahr der Beobachtung von Stufe 2 auf Stufe 3 verschlechtert, ein Bach im Gebiet Frankenberg (Ausgangssubstrat Tonschiefer/Grauwacke) hat sich von Stufe 3 auf Stufe 2, ein Bach im Buntsandstein (Witzenhausen) hat sich von Stufe 4 auf 3 erholt.



Foto: J. Evers

Fazit

Bei der Bewertung der Entwicklung des Gewässerzustands anhand des ersten und jeweils letzten Beobachtungsjahrs handelt es sich insbesondere aufgrund der Zuordnung zu Gewässergüteklassenstufen und damit ggf. verbundenen Sprüngen um eine vereinfachte Betrachtungsweise, die die zeitliche Entwicklung nicht detailliert nachzeichnen kann, sondern den Fokus auf den aktuellen Zustand im Vergleich zum Beginn der Untersuchung legt. Die Ergebnisse von Zeitreihenanalysen bestätigen jedoch die beschriebenen Entwicklungen.

So konnte für 21 der 31 untersuchten Bäche durch Zeitreihenanalysen ein signifikanter Rückgang der Sulfatkonzentration belegt werden, der bei 13 Bächen auch zu einer Einstufung in eine bessere Sulfat-Gütestufe geführt hat. Acht Bäche wiesen keinen signifikanten Trend auf, bei zwei Bächen (Buntsandstein und Diorit) nahm die Sulfatkonzentration zu. Diese wurden auch einer schlechteren Gütestufe zugeordnet. Hauptursache für den beobachteten Rückgang der Sulfatkonzentration in Bachwässern sind vermutlich die seit Mitte der 1980er Jahre deutlich reduzierten Sulfateinträge mit dem Niederschlag.

Die Zeitreihenanalysen für Nitrat zeigen für 17 Bäche einen abnehmenden und für 12 Bäche einen zunehmenden Trend auf, zwei Bäche zeigen keinen signifikanten Trend. Hier spiegelt die Zuordnung zu den Gütestufen nach LAWA die Entwicklung nur teilweise wider, da acht der zwölf Bäche trotz einer Zunahme der Nitratkonzentration weiterhin in der gleichen Gütestufe sind. 12 von 17 Bächen mit einer signifikanten Abnahme erreichten eine bessere Nitrat-Gütestufe. Ob die Baumartenzusammensetzung und/oder das Alter der Bestände in den Einzugsgebieten, waldbauliche Maßnahmen wie Hauptnutzung, Kalkung oder Kalamitäten ursächlich mitverantwortlich sind für den teilweise beobachteten Anstieg der Nitratkonzentration, soll in weiterführenden Auswertungen untersucht werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Mehrzahl der beobachteten Waldbäche aufgrund ihrer geringen Pufferkapazität versauerungsempfindlich sind und daher der weiteren Reduzierung der Stoffeinträge, insbesondere der Stickstoffeinträge, eine zentrale Rolle für die Erhaltung bzw. Verbesserung der chemischen Qualität von Bächen bewaldeter Einzugsgebiete zukommt.

Hydrochemischer Charakter ausgewählter hessischer Waldbäche; Median der Jahre 1988/89-2001

