

# Auswirkungen großflächiger Schadflächen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Wäldern

Birte Scheler

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7303467>

1972 wurde das Forsthydrologische Forschungsgebiet Reinhardswald am Rande des nordöstlichen Kasseler Beckens eingerichtet, um grundlegende Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen dem Niederschlagsgeschehen und dem Abfluss eines Baches mit bewaldetem Einzugsgebiet zu gewinnen. Für die Beantwortung neuerer Fragestellungen, beispielsweise zu Auswirkungen des Klimawandels auf Abflussmenge und -verteilung oder den Einfluss großflächiger Störungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt, sind solche langjährigen Untersuchungen von unschätzbarem Wert.

Das Einzugsgebiet des Elsterbachs ist 426 Hektar groß, weist einen Höhenabfall von 465 m auf 220 m ü. NN auf und ist zu 95 % bewaldet. Der Bach speist sich aus zwei Gewässerarmen, deren Quellgebiete geologisch sehr unterschiedlich sind, was sich in der chemischen Zusammensetzung der beiden Gewässer deutlich zeigt. Der nordöstliche Arm (Elsterbach „staunass“) entspringt in den vom Buntsandstein dominierten, staunassen Plateaulagen. Er fällt in den Sommermonaten zeitweise trocken, bei hohen Abflüssen überwiegt hingegen sein Anteil am Gesamtabfluss durch einen schnellen, lateralen Makroporenabfluss der in den ebenen Plateaulagen vorherrschenden Stagnogleye (Molkeböden). Der nordwestliche Arm („Elsterbach Basalt“) kommt aus dem basaltisch geprägten Gebiet mit tiefgründigen, gut wasserdurchlässigen, überwiegend eutrophen Böden und fließt dauerhaft.

Im Teileinzugsgebiet „staunass“ (131 Hektar) dominierte vor dem Sturm „Friederike“ im Januar 2018 die Fichte mit einem

Flächenanteil von 75 %, das Teileinzugsgebiet „Basalt“ (83 Hektar) ist hingegen zu 81 % mit Laubholz bestockt, der Fichtenanteil beträgt nur 19 %. Die Bestockung des Gesamteinzugsgebiets bestand zu 42 % aus Fichte, 39 % Buche, 6 % Eiche und 13 % sonstigen Baumarten.

Wie sich die Bestockung des Einzugsgebiets seit Januar 2018 durch Sturmwurf sowie massiven Borkenkäferbefall in den folgenden Jahren verändert hat, wurde von der Abteilung Waldschutz, Sachgebiet Fernerkundung und GIS der NW-FVA anhand von georeferenzierten Orthofotos nachgezeichnet. Die durch „Friederike“ entstandenen Freiflächen waren mit 5 % (Teileinzugsgebiet „staunass“), gut 2 % (Teileinzugsgebiet „Basalt“) bzw. 4,3 % (Gesamteinzugsgebiet) der Holzbodenfläche vergleichsweise moderat. Durch massiven Borkenkäferbefall in den Folgejahren vergrößerte sich der Anteil kalamitätsbedingter Freiflächen an der Holzbodenfläche bis zum Herbst 2020 jedoch auf 26 % (Teileinzugsgebiet „staunass“) respektive 10 % (Teileinzugsgebiet „Basalt“) und 17 % (Gesamteinzugsgebiet).

Hinzu kommt im Jahr 2021 noch stehendes Totholz auf 21 % der Holzbodenfläche (2020: 12 %) des Einzugsgebiets „staunass“ bzw. 3 % (2020: 2 %) des Teileinzugsgebiets „Basalt“ und auf 9 % (2020: 5 %) der Holzbodenfläche des Gesamteinzugsgebiets. In der Summe betrug der Anteil der verschiedenen Kalamitätsflächen an der ursprünglichen Holzbodenfläche im Herbst 2021 zwischen 47 % (Teileinzugsgebiet „staunass“), 27 % (Gesamteinzugsgebiet) bzw. 14 % (Einzugsgebiet „Basalt“). Die Rolle von stehendem Totholz ist im Hinblick auf den Wasser- und Stoffhaushalt noch weitgehend unerforscht.



Foto: B. Scheler

Kahlfläche und abgestorbene Fichten im Einzugsgebiet „staunass“

## Auswirkungen auf die Gewässerqualität

Die Gewässerqualität des Elsterbachs (Wehr) und seiner Zuflüsse zeigen einen ausgeprägt saisonalen Verlauf. Ursache hierfür sind im Wesentlichen die unterschiedlichen Abflussmengen. Bei niedrigen Abflüssen im Sommerhalbjahr handelt es sich hauptsächlich um Wasser aus tieferen Bodenschichten und dem Grundwasser. Hohe Abflüsse im Winterhalbjahr oder ganzjährig nach extremen Starkregenereignissen speisen sich hingegen großenteils durch Wasser aus oberen, versauerten Bodenschichten.

Mit Werten um 3 mg je Liter (Median) und Maximalwerten von 10 mg je Liter war die Nitratkonzentration an der Messstelle Wehr im Zeitraum 1984–2003 relativ gering. Im hydrologischen Jahr 2021 wurde dann mit bis zu 22 mg je Liter Nitrat ein massiver Anstieg bei den Spitzenkonzentrationen beobachtet. Wesentlich deutlicher war der Anstieg der Nitratkonzentrationen im Bachwasser des Gewässerarms „staunass“ mit einem großen Anteil von Kahlflächen im Einzugsgebiet. An allen Probenahmeterminen wurden in diesem Bach im Vergleich zu früheren Jahren deutlich höhere Konzentrationen gemessen, der Median der Nitratkonzentration stieg von 3 mg je Liter auf 10,5 mg je Liter, die Spitzenkonzentration von 15 mg je Liter auf 23 mg je Liter an. Ursache hierfür dürften die Mineralisierungsprozesse auf den Kalamitätsflächen sein. Da das Anion Nitrat durch die basischen Kationen Kalium, Magnesium und Calcium sowie die sauren Kationen Aluminium und Mangan begleitet wird, sind steigende Nitratkonzentrationen mit höheren Verlusten wichtiger Nähr-elemente oder einer stärkeren Lösung von Aluminium und Mangan verbunden.

Bis 2003 wurde im Bachwasser kein Kohlenstoff analysiert, ein Vergleich zu den Gehalten bei weitgehend ungestörten Verhältnissen im Einzugsgebiet ist deshalb nicht möglich. Mit 6 mg je Liter (Median) und Spitzenkonzentrationen im Juli 2021 von 14 mg je Liter waren die Konzentrationen von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) im Gesamteinzugsgebiet Elsterbach jedoch deutlich höher als in den Bächen des zweiten hessischen forsthydrologischen Forschungsgebiets Krofdorf bei Gießen. Im Gewässerarm „staunass“ des Elsterbachs wurden sogar DOC-Konzentrationen von 14 mg je Liter (Median) bzw. 33 mg je Liter (Maximum) gemessen.

## Auswirkungen auf die Abflussmenge

Der mittlere Niederschlag betrug im Zeitraum 1973–2005 783 mm, der mittlere Abfluss 246 mm, d. h. rund 30 % des Niederschlags flossen im Mittel im Vorfluter ab. Während im hydrologischen Winter (November–April) rund 48 % des Niederschlags fielen, flossen 70 % des Jahresabflusses in diesem Zeitraum ab.

Aufgrund des großen Anteils zusätzlicher unbestockter Flächen und der hierdurch verringerten Interzeption und Trans-



Foto: B. Scheler

Hochwasser am 21.05.2019 nach 60 mm Regen innerhalb von 10 Stunden. 77.000 Liter Wasser flossen an diesem Tag durch das Wehr.

piration könnte erwartet werden, dass ein höherer Anteil des Niederschlags im Vorfluter abfließt. Dies war in den beiden Jahren 2020 und 2021, für die lückenlose tägliche Abflussdaten vorliegen, jedoch nicht der Fall. In beiden Jahren war der Abfluss mit 20 % (2020) respektive 17 % (2021) des Niederschlags sogar sehr gering.

Dies dürfte einerseits eine Folge der seit Jahren beobachteten strukturellen Trockenheit in dem Waldökosystem sein, andererseits an der Niederschlagsverteilung liegen. So fiel in den hydrologischen Jahren 2020 und 2021 trotz durchschnittlicher Jahresniederschläge nur an vier bzw. zwei Tagen mehr als 20 mm Niederschlag.

### Niederschlags- und Abflussmengen im Vergleich

	Mittel 1973-2005	2020	2021
Niederschlag [mm/m <sup>2</sup> ] im Hydrologischen Jahr	783	715	737
Niederschlag [mm/m <sup>2</sup> ] November bis April	376	373	344
Abfluss [mm/m <sup>2</sup> ] im Hydrologischen Jahr	246	146	126
Abfluss [mm/m <sup>2</sup> ] November bis April	170	119	89

Hydrologisches Jahr: November des Vorjahres bis Oktober

## Nährstoffverluste mit dem Bachwasser

Der Stickstoffverlust (Nitrat-N) belief sich 2021 auf 3,1 kg je Hektar und war damit trotz sehr geringer Abflüsse 0,7 kg je Hektar höher als im Mittel der Jahre 1985–2003. Im Vergleich mit den ähnlich abflussarmen Jahren 1996 und 2001 betrug der zusätzliche Verlust je Hektar 2,5 kg resp. 1,6 kg Nitratstickstoff je Hektar. Der Verlust an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) betrug 10,7 kg je Hektar bzw. 4560 kg insgesamt. Ein Vergleich mit früheren Jahren ist mangels Daten leider nicht möglich.

Der Nährstoffexport der wichtigen Nährelemente Calcium und Magnesium war 2021 mit 17,6 bzw. 6,9 kg je Hektar deutlich geringer als im Mittel der Jahre 1985–2003 (Calcium 40,1, Magnesium 16,6 kg je Hektar). Ursache hierfür sind vermutlich die deutlich zurückgegangenen Sulfatfrachten (Mittel 1985–2003: 48 kg je Hektar, 2021: 14,8 kg je Hektar) infolge der seit Mitte der 1980er sehr deutlich reduzierten Sulfateinträge. Der Kaliumverlust war mit 1,8 kg je Hektar zwar 1 kg je Hektar geringer als im Vergleich zum mehrjährigen Mittel (1985–2003), entsprach jedoch trotz stark reduzierter Sulfatfrachten in etwa den Kaliumverlusten der abflussarmen Jahre 1996 (1,5 kg je Hektar) und 2001 (1,8 kg je Hektar).

### Fazit

Die Ergebnisse aus dem langjährig untersuchten Forschungsgebiet Elsterbach belegen, dass großflächige Störungen der Waldstruktur Störungen im Stoffhaushalt verursachen und Nährstoffverluste nach sich ziehen. Ein wichtiger Schlüsselprozess ist in diesem Zusammenhang die vermehrte Bildung von Nitrat (Überschussnitrifikation) aufgrund des veränderten Kleinklimas auf Kahlflecken bei gleichzeitig geringerer Stickstoffaufnahme durch die Vegetation, da die Bäume fehlen.

Erhöhte Nitratausträge können zum einen eine Belastung für das Grund- und Trinkwasser darstellen, außerdem verursachen sie je nach Standort erhöhte Austräge der Nährstoffkationen Kalium, Magnesium oder Calcium sowie der sauren Kationen Aluminium und Mangan.



Foto: B. Scheler

Elsterbach „staunass“ im Mai 2022

Insbesondere auf sehr nährstoffarmen Standorten mit einer Basensättigung um 5 % über die gesamte Profiltiefe, wie sie im Einzugsgebiet Elsterbach „staunass“ vorherrschend sind, sind solche Nährstoffverluste aus dem oberen Mineralboden für die kommende Waldgeneration sehr kritisch.

Beim verstärkten Abbau organischer Substanz auf Freiflächen wird außerdem Kohlenstoff freigesetzt, der einerseits in Form von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgegeben wird, andererseits in gelöster Form mit dem Bodenwasser in Richtung Grundwasser verlagert wird bzw. mit dem Bachwasser das Ökosystem verlässt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass einige Auswirkungen der Kalamitäten „auf den ersten Blick“ nicht sichtbar sind.

### Ausblick

Die Stoffkonzentrationen schwanken in Abhängigkeit von Wasserführung und Jahreszeit stark, die Probenahme für die Bachwasseranalysen kann aber nur an Stichtagen (i. d. R. wöchentlich) ohne vorherige Kenntnis der Abflusshöhe durchgeführt werden. Um genauere Daten zur Berechnung der Stofffrachten zu erhalten, wurde im Februar 2022 am Wehr des Elsterbachs eine Multiparametersonde eingebaut, die stündlich die Nitrat-N- sowie DOC-Konzentration (gelöster organischer Kohlenstoff) erfasst.

Hierdurch wird es möglich sein, die Nährstoffverluste genauer zu berechnen und festzustellen, wann sich die infolge der Auswirkungen der Kalamität erhöhten Stoffkonzentrationen wieder auf dem Vor-Kalamitätsniveau einpendeln.



Foto: B. Scheler

Elsterbach „staunass“ im Januar 2021