

**Neues aus dem Högwald**

**Femel- und Kahlhieb im Vergleich**

**Ökologie der Mischwaldbegründung in einem stickstoffbelasteten Fichtenbestand**

*von Axel Göttlein, Manuela Baumgarten, Christian Huber, Wendelin Weis (Teil I)  
Hans Papen, Klaus Butterbach-Bahl, Rainer Gasche (Teil II)\**

*Im Untersuchungsgebiet Bayern/Mittelschwaben finden bei der Umwandlung hiebsreifer Fichtenaltbestände in erster Linie zwei waldbauliche Verfahren Anwendung. Der Femelhieb mit Laubholzvoranbau wird in großem Umfang von der staatlichen Forstwirtschaft in Bayern durchgeführt. Kleine und mittlere Kahlschläge mit Buchen- bzw. Fichten-Pflanzung werden allgemein von bäuerlichen Waldbesitzern bevorzugt. Am langjährig beobachteten, stickstoffgesättigten Fichtenökosystem Högwald wurden gemeinsam mit der forstlichen Praxis im Februar 2000 die oben genannten Verjüngungsmaßnahmen exemplarisch durchgeführt und auf ihre ökologischen Auswirkungen hin untersucht. Dabei beeinflussen sowohl unmittelbare als auch längerfristige Effekte die komplexen biologischen Prozesse in einem Waldökosystem und wirken damit auch auf benachbarte Systeme wie Boden, Wasser und Atmosphäre (Abb. 1).*

**Ergebnisse**

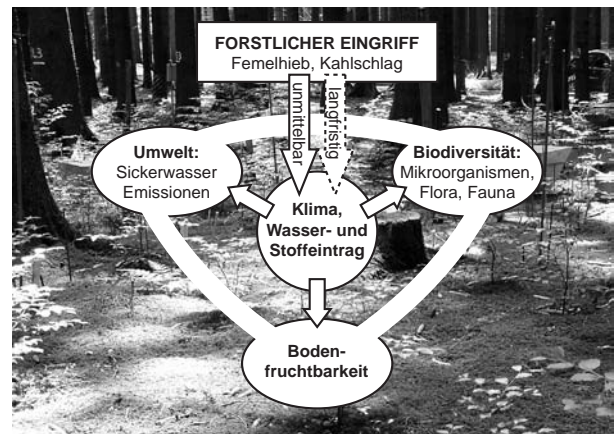
**Teil I: Wasserhaushalt, Sickerwasserchemie, Bodenvegetation und Fauna**

Nach Femelhieb blieben Bestands- und Bodenklima nahezu unverändert. Durch Auflichten des Altbestandes nahm die Interzeptionsverdunstung und Transpiration um ca. 15 % ab. Die Sickerung nahm entsprechend zu (Tab.1).

Nach Kahlschlag nahm die Strahlungsintensität am Boden um das zehnfache bis zwanzigfache zu. Als direkte Folge stieg die Temperatur in der organischen Auflage während der Vegetationsperiode um

**Tab. 1:** Charakteristische Unterschiede von Klima und Wasserhaushalt im Fichtenaltbestand, auf Femel- und Kahlfäche (Versuchsjahr 2001).

	Temperatur der org. Auflage [°C]		Niederschlag [l m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]		Gesamtverdunstung [l m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]	Sickerung in 1 m Tiefe [l m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]
	Jahresmittel	Vegetationsperiode	Freiland	unterhalb des Altholzschirms		
Fichtenaltbestand	5,85	10,58	1170	659	875	283
Femelfläche	6,32	10,52	1170	740	723	430
Kahlfäche	8,52	14,47	1170	1170	79	1070



**Abb. 1:** Ökologische Auswirkungen forstlicher Maßnahmen (Foto: W. Weis)

ca. 4 °C an. Das Fehlen des Altholzschirms führte zu einer sehr geringen Verdunstung und damit zu einer hohen Sickerung und nahezu konstanten Bodenwassergehalten mit maximalen Saugspannungen von ca. 60 hPa.

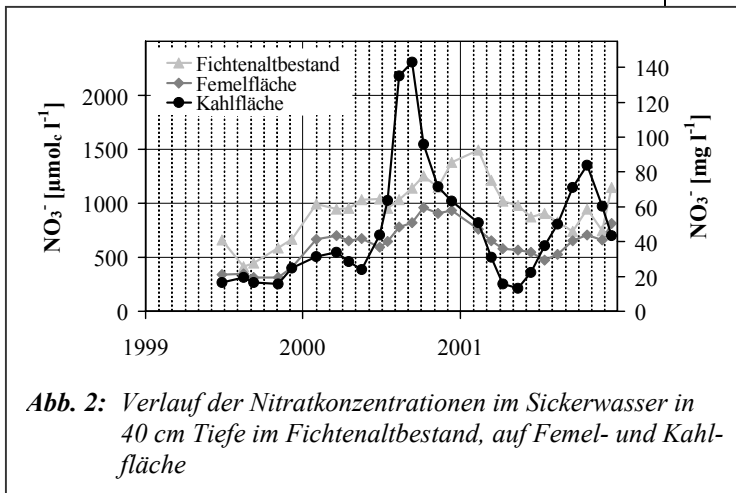
Die erhöhten Temperaturen und die gleichmäßig hohe Durchfeuchtung des Bodens beschleunigten

\* Prof. Dr. A. GÖTTLEIN, Dr. M. BAUMGARTEN, Dr. C. HUBER, Dr. W. WEIS vertreten das Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt; Wissenschaftszentrum Weihenstephan, TU München. PD Dr. H. PAPAN, PD Dr. K. BUTTERBACH-BAHL, DR. R. GASCHE sind am Institut für Meteorologie u. Klimaforschung - Atmosphärische Umweltforschung, Forschungszentrum Karlsruhe tätig.

die Stoffumsetzungen im Boden, wie Mineralisation, Nitrifikation und Denitrifikation (vgl. Teil II).

### Bodenvegetation

Als Folge wurde in den ersten beiden Jahren nach Kahlschlag eine hohe Nitratkonzentration im Sickerwasser, besonders am Ende der Vegetationsperioden, beobachtet (Abb. 2). Die Jahresmittelkonzentrationen der Kahlfläche lagen dagegen nur wenig über den Werten von Altbestand und Femelfläche.

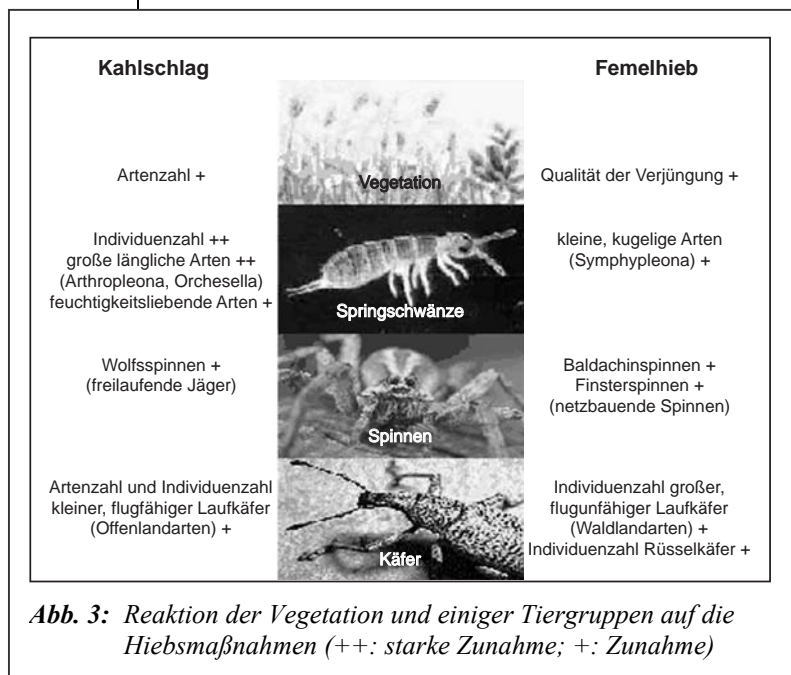


Auf Grund der hohen Sickerung kam es jedoch zu einem deutlich erhöhten Nitrataustrag nach Kahlschlag. Dieser bewirkte auch den Verlust von Nährelement-Kationen wie Kalium und Magnesium aus dem durchwurzelten Oberboden.

Die Bodenvegetation wurde durch den Femelhieb kaum beeinflusst. Auf der Kahlfläche nahm der Deckungsgrad von Moos- und Krautschicht vor allem durch das Absterben schattenliebender Arten zunächst ab. Die typische Schlagvegetation stellte sich nur sehr langsam ein und konnte so bisher auch nicht als Zwischenspeicher für Nährelemente fungieren. Vergleichsweise geringe Nährstoffverluste auf der Kahlfläche fanden sich jedoch an Stellen mit Fichtennaturverjüngung. Dabei blieb ungeklärt, ob dies in der Beschattung des Bodens und den damit niedrigeren Temperaturen in der organischen Auflage oder aber in der Nährstoffaufnahme der Verjüngung begründet ist.

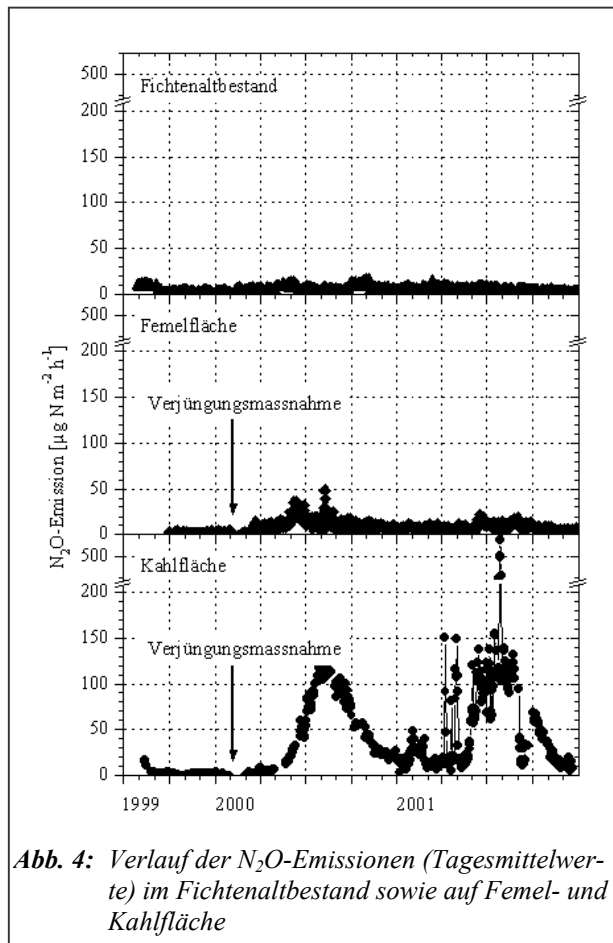
### Bodenfauna

Rasch auf die neuen Gegebenheiten reagierte das Artenspektrum von Bodenfauna und -flora. Arten, die schnelle Ausbreitungsmöglichkeiten besitzen, werden durch einen Kleinkahlhieb gefördert. Bei vielen untersuchten Tiergruppen sowie bei der Bodenflora wurden deutliche Dominanzverschiebungen festgestellt. So nimmt die Individuen- und Artenzahl an kleinen, flugfähigen Laufkäfern nach dem Kleinkahlschlag deutlich zu. Überraschend ist dabei, wie schnell der neue Lebensraum erobert wird. Innerhalb weniger Monate besiedelten Generalisten und Offenlandarten die Kahlflächen. Dabei konnten kleinflächig unterschiedlichste Artenzusammensetzungen durch ein Nebeneinander verschiedenster Strukturen (wassergefüllte Fahrspuren, vielgestaltige Bodenvegetation, unbewachsene Kleinstrukturen und dichte Fichtennaturverjüngung) festgestellt werden. Arten, die sehr stark an den Lebensraum Wald gebunden sind, z. B. einige große flugunfähige Laufkäfer, werden auf Kahlflächen zurückgedrängt, nicht aber auf Femelhiebflächen. In Abbildung 3 sind einige Veränderungen des Artenspektrums und der Individuenzahl nach den Hiebsmaßnahmen zusammengefasst.



## Teil II: Gasaustausch und Mikrobiologie

Die Kahlschlagsmaßnahme führte zu dramatisch erhöhten Emissionen des extrem klimawirksamen Spurengases  $N_2O$  (Lachgas) aus dem Boden (Abb. 4). Diese Emissionen betragen jährlich ca. 5 kg  $N_2O$ -N je Hektar.



**Abb. 4:** Verlauf der  $N_2O$ -Emissionen (Tagesmittelwerte) im Fichtenaltbestand sowie auf Femel- und Kahlfäche

Zusätzlich war die Aufnahme des Treibhausgases  $CH_4$  aus der Atmosphäre in den Waldboden reduziert. Diese Ergebnisse sind von hoher Bedeutung für die Anrechnung von  $CO_2$ -Senken im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Die  $N_2O$ -Emissionen kompensieren ca. 700 kg  $CO_2$ -Fixierung. Eine realistische Berechnung der Senkenstärke von Wäldern muss damit neben  $CO_2$  auch alle anderen klimawirksamen Spurengase berücksichtigen. Darüber hinaus führte die Kahlschlagsmaßnahme zu hohen Stickstoffverlusten in Form von  $N_2$  über die mikrobielle Denitrifikation bei gleichzeitigem Anstieg der Denitrifizierer-Population.

Der Anstieg der mikrobiellen Biomasse verhindert durch Stickstoffspeicherung einen noch höheren Nitrataustrag.

Der Femelhieb führte zwar auch zu erhöhten, im Vergleich zum Kahlschlag jedoch geringeren  $N_2$ - und  $N_2O$ -Emissionen.

## Folgerungen

Die Entscheidung, die Verjüngung von Fichtenaltbeständen über Femel- oder Kahlhieb einzuleiten, unterliegt meist nicht allein ökologischen Kriterien. Betriebswirtschaftliche Gründe, Bestandesstabilität sowie Wärme- und Strahlungsansprüche der Verjüngung stehen meist im Vordergrund. Um unerwünschte Nebenwirkungen auf die Umwelt zu vermeiden, sollte Folgendes beachtet werden:

- Kahlfächen weisen zunächst hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf. Darüber hinaus kommt es zu Verlusten von Nährstoffkationen sowie zu mehrere Jahre andauernden drastischen Emissionen des klimarelevanten Spurengases Lachgas ( $N_2O$ ).
- Bodenvegetation schon im Altbestand, Naturverjüngung oder eine frühe Vorausverjüngung helfen hohe Nitratausträge im Falle zufällig entstehender Kahlfächen zu vermeiden.
- Findet eine femelartige Auflichtung verteilt über die gesamte Fläche und nicht konzentriert auf kleine „Lochhiebe“ statt, ist die Erhöhung des Nitrataustrags gering. Darüberhinaus kann erwartet werden, daß ein solches Vorgehen auch zu deutlich geringeren  $N_2O$ - und  $N_2$ -Emissionen aus dem Boden führt.
- Die Biodiversität wird durch das Nebeneinander verschiedener Strukturen (Altbestand, Verjüngungsflächen, Windwürfe, Bestandeslöcher, Randeffekte usw.) erhöht. Für die Schonung der an den Wald angepassten Arten ist der Anteil von Kahlfächen gering zu halten und die Verjüngung über Femelhiebe zu bevorzugen. Freiflächen, wie sie nach Kahlschlag, Windwürfen etc. entstehen, können für bestimmte, manchmal auch für seltene Arten wichtige Lebensräume darstellen.