Dipl.-Geoökol. Burkhard Beudert

Změny hydrologické bilance a kvality vody na Šumavě po velkoplošných disturbancích

Zdroje dat:

Český hydrometeorologický ústav – Tschechischer Hydrometeorologischer Dienst (česká povodí)	data od roku 1978
Bavorský zemský úřad pro životní prostředí – Bayerisches Landesamt für Umwelt (povodí Markungsgraben)	data od roku 1987
Spolkový úřad pro životní prostředí - Umweltbundesamt (povodí Forellenbach)	data od roku 1991
Výzkumná asociace Große Ohe – Forschungsverbund Große Ohe (povodí Große Ohe)	data od roku 1978
Ústav vodního hospodářství v Deggendorfu – Wasserwirtschaftsamt Deggendorf (ostatní bavorská povodí)	data od roku 1978
Německá meteorologická služba – Deutscher Wetterdienst	data od roku 1978
Výzkumná služba vodstva Bavorsko – Gewässerkundlicher Dienst Bayern	data od roku 1978

Shrnutí

V národních parcích Bavorský les a Šumava došlo v posledních 20 letech ke dvěma přirozeným událostem, které způsobily plošné odumírání stromů a které na zasažených plochách masivně **narušily** lesní ekosystémy:

1. Kůrovcová gradace začátkem 90. let ve staré části NP Bavorský les (území Roklan-Luzný) a v části NP Šumava.
2. Velké polomy (Kyrill 2007, 2011) následované plošným kácením kůrovcem napadených stromů a/nebo odumíráním kůrovcem napadených stromů v dalších částech národních parků.

Narušení (disturbance) jsou události, které mají *„v krátkém, definovatelném časovém úseku náhlý vliv na měřitelné ekosystémové parametry ve větším než malém rozsahu“* (White & Jentsch 2001). K disturbancím patří kromě polomů a napadení hmyzem, také poničení porostů sněhem nebo námrazou, požáry a jiné přírodní úkazy, které modelují vývoj přirozených lesů. Lesnické zásahy jako holoseče, obzvláště ty s dobýváním pařezů a úpravou půdy, jsou také závažná, či dokonce ještě větší ekosystémová narušení.

Hlavním **následkem disturbancí** je odumření části vegetace, v tomto případě korunového patra, které se projeví na těchto parametrech ekosystému:

- Evapotranspirace (evaporace – výpar z povrchu stromů, aniž by voda prošla vodivými pletivy a transpirace – výdej vody průduchy jehlic a listů, voda prošla vodivými pletivy stromů) zasažených porostů drasticky klesá, protože mrtvé stromy netranspirují a mají menší povrch než živé; na půdu dopadne více vody, množství průsakové vody (obnova spodních vod) narůstá.
- Ustálený poměr mezi producenty (rostlinami) a rozkladači biomasy se posouvá z velké části směrem k rozkladačům (mikroorganismům). Mikroorganismy pak rozkladem organické hmoty vytváří v půdě velké množství dusičnanů, které jsou z ní vyplachovány.

Vyhodnocení měřitelných změn v množství a kvalitě vody

A) **Hydrologická reakce na disturbance a klimatické změny v šumavském masivu**

Od roku 1978 došlo v šumavském masivu k navýšení letních teplot o ~ 2°C. Tím došlo ke zvýšení výparu, což i **přes nezměněné množství srážek** vedlo ke snížení odtokových poměrů. Pouze v povodí horní Vydry a Große Ohe, která **byla nejvíce poznamenaná disturbancemi**, se odtokové poměry nezměnily. Důvodem bylo velkoplošné odumření smrkových porostů. V důsledku tohoto plošného odumření korunové úrovně došlo ke **snížení evapotranspirace, které vyrovnalo vyšší výpar zapříčiněný klimatickými změnami**.
Častější povodňové situace způsobené disturbancemi nebyly pozorovány. Povodní se není potřeba obávat, dokud povrch půdy (humus) zůstane nenarušen.
Nejsilnější oteplení bylo naměřeno v dubnu (~ 3,5°C). Toto oteplení způsobuje přibližně o čtyři týdny rychlejší tání sněhové pokrývky a posun vysokých odtoků do zimní poloviny hydrologického roku.

B) **Koncentrace dusičnanů v povrchových, podzemních a pramenných vodách po velkoplošných disturbancích**

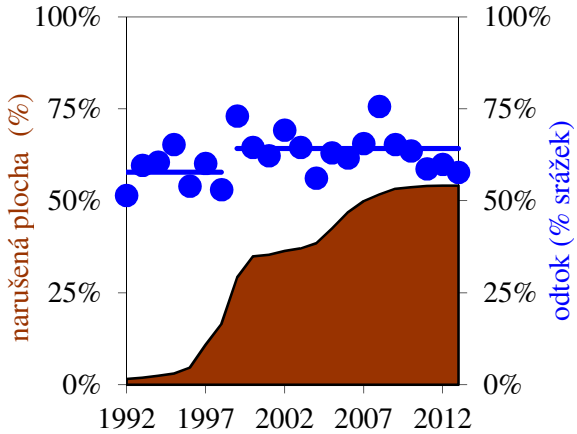
Využití podzemních a povrchových vod jako zdroje pitné vody pro místní region **nebylo případným navýšením koncentrace dusičnanů nikdy omezeno**. K omezení nedošlo ani tehdy, když disturbance zasáhly 50 – 100% plochy povodí. Druh disturbance (polomy, kůrovec) a způsob jejich managementu (zasahování, nezasahování) neměly na maximální výši koncentrace dusičnanů vliv. Ponechání lesů samovolnému vývoji tudíž **nemá žádný negativní dopad na využití pramenitých a podzemních vod**.

Podrobné informace

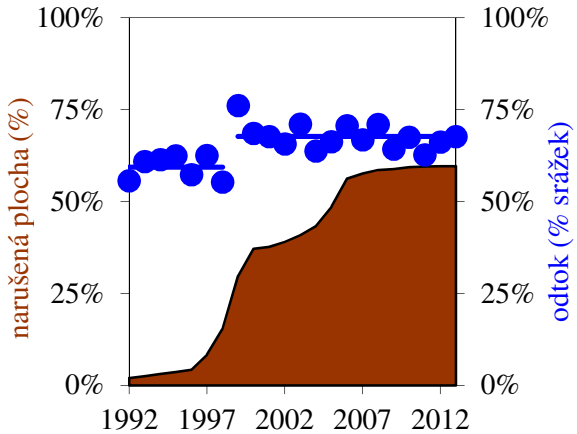
A) Hydrologická reakce na disturbance a klimatické změny v šumavském masivu

V povodí Forellenbachu na území Roklan-Luzný klesl roční výpar po odumření smrkového porostu vlivem kůrovce (v letech 1996/1997) z přibližně 700 l/m² na 450 l/m². Hlavním důvodem je chybějící evapotranspirace po odumření stromů, což vede k navýšení množství vsakující se vody a k rychlejší obnově zásob podzemních vod.

Výzkum provedený v letech 1992 – 2013 zkoumal změny hydrologické bilance u dvou potoků ležících v přírodní bezzásahové zóně, v oblasti Roklan-Luzný. Po odumření přibližně 30 % smrkových porostů v roce 1999 došlo v obou povodích k navýšení ročních odtoků o 146 l/m² (Forellenbach) a o 127 l/m² (Große Ohe). Množství srážek zůstalo ve zkoumaném území po celou dobu prakticky stejné. Kvůli velkému podílů narušených smrkových porostů totiž došlo v povodích Forellenbachu a Große Ohe ke snížení evapotranspirace z území o 120 l/m² resp. 90 l/m^2 (obr. 1). O toto množství se navýšilo množství vsakující se vody, zlepšilo se doplňování podzemních vod a zvýšila vydatnost pramenů (Beudert et al. 2016, připravuje se).



	1992-1998	1999-2013	Diff.	p <
srážky ± s	1603 218	1639 244	36	0.38
odtok ± s	932 198	1059 214	127	0.08
odpařování ± s	671 66	581 91	-90	0.01

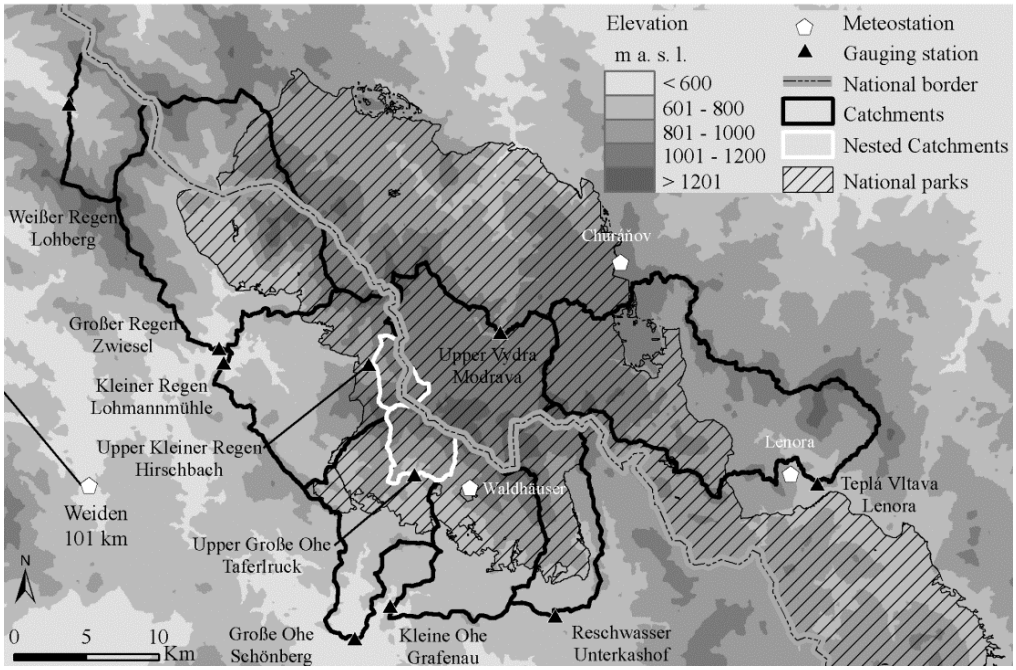


	1992-1998	1999-2013	Diff.	p <
srážky ± s	1564 211	1590 234	25	0.41
odtok ± s	931 157	1077 167	146	0.04
odpařování ± s	633 75	513 92	-120	0.01

Obr. 1: Roční odtoky (% srážek v povodí, vlevo) a znázornění roční hydrologické bilance (l/m², vpravo) v povodí Große Ohe (nahoře) a Forellenbachu (dole) z let 1992 – 2013. Poté, co velikost narušených ploch přesáhla 30 % plochy území (1998/1999), se vypařování signifikantně snížilo ($p < 0,05$). Zároveň se zvýšily odtoky. (Beudert et al. 2016, připravuje se).

Další výzkum, který porovnával vodní poměry velkých toků v okolí Národního parku Bavorský les (obr. 2) v delším časovém období (1978 - 2013), ukázal, že od roku 1978 došlo v územích s menším

rozsahem disturbancí (< 36 %) k poklesu ročních odtoků (tab. 1). I v tomto delším časovém horizontu zůstalo roční množství srážek stejné (obr. 3).



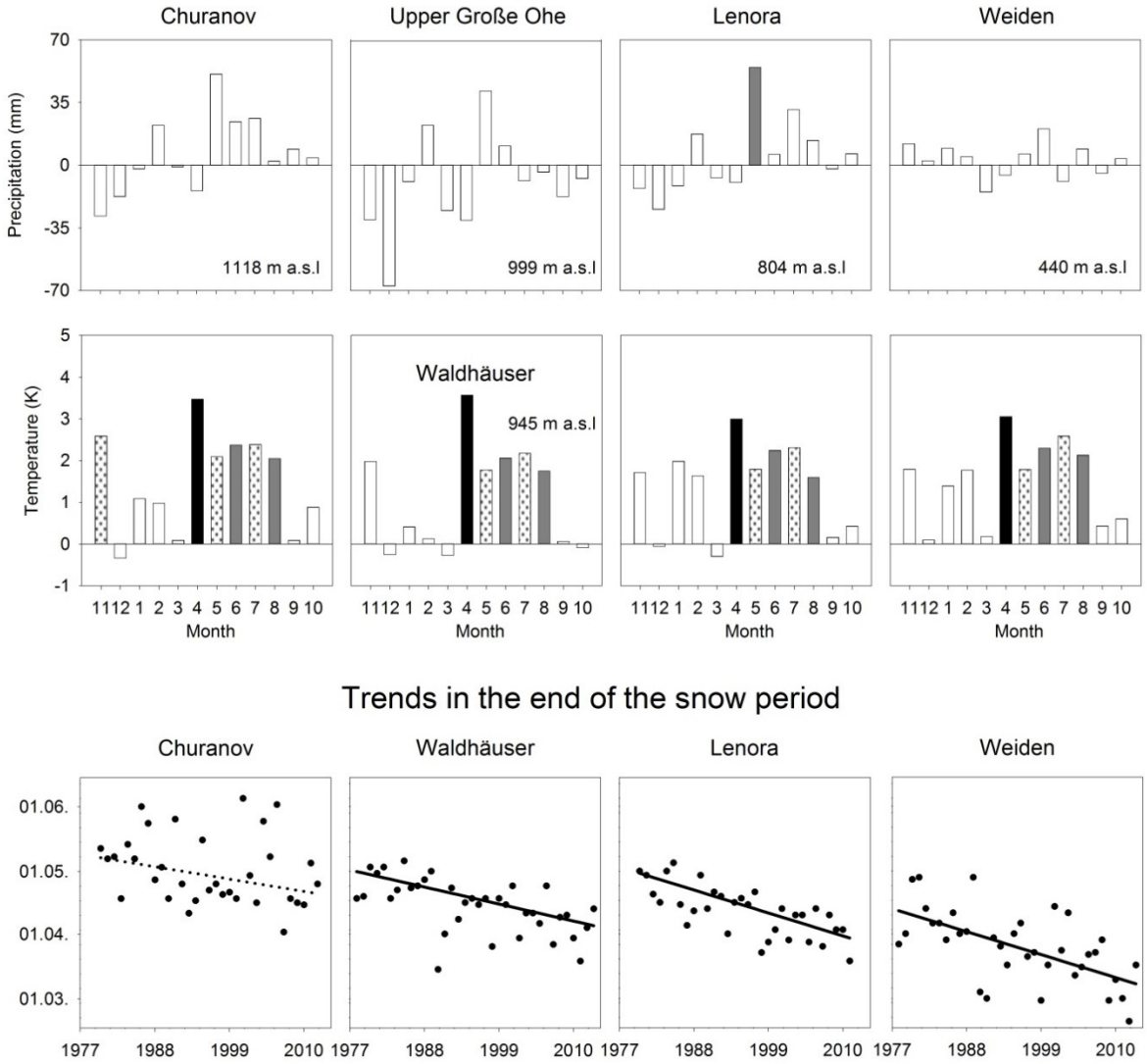
Obr. 2: Zkoumaná povodí v česko-německém pohraničním pohoří (Beudert et al. 2016).

To jasně ukazuje na zvýšené odpařování, které je zapříčiněné silným, statisticky významným oteplením (~ 2°C) v měsících květen až srpen, které bylo zaznamenáno na všech sledovaných meteorologických stanicích (obr. 3). Přímo to potvrzují i klesající odtoky v letní polovině roku (tab. 1), přestože se v něm srážky zvýšily (Beudert et al. 2016, připravuje se).

Tab. 1: Odtokové trendy pro celý rok a pololetí (zima a léto) a minimální a maximální denní odtoky v různých povodích šumavského masivu z let 1978 – 2013. Pouze povodí pramenů Vydry a Obere Große Ohe vykazují více než 35 % narušené plochy (57 % resp. 58 %) a přitom zároveň jenom velmi malé změny v odtocích (Beudert et al. 2016, připravuje se).

	odtok (l/m^2)			minimální denní odtok (l/m^2)			maximální denní odtok (l/m^2)	
povodí	zima	léto	rok	prosinec	únor	květen	duben	květen
Große Ohe	39	-56	-41	0,0	0,1	-0,4	-1,1	-2,8
Kleine Ohe	23	-75	-50	0,1	0,1	-0,7	-1,6	-3,0
Reschwasser	32	-122	-80	0,2	0,5	-1,1	0,6	-5,3
Obere Große Ohe	129	-85	**27**	0,0	0,3	-0,8	-0,9	-5,2
GroßerRegen	17	-94	-81	0,0	0,2	-0,9	-2,2	-3,8
Kleiner Regen	19	-39	-39	0,3	0,3	-0,6	-2,7	-3,1
WeißerRegen	33	-102	-56	0,0	0,2	-0,8	-3,0	-4,7
Oberer Kleiner Regen	96	-203	-115	-0,3	0,0	-1,2	2,0	-11,1
Teplá Vltava	-62	-52	-82	**-0,3**	0,0	**-0,5**	-1,2	**-2,8**
Horní Vydra	52	-82	**-13**	-0,3	-0,4	-0,8	9,7	-1,0
nárůst (% povodí)	90	0	10	30	70	0	30	0
pokles (% povodí)	10	100	90	30	10	100	70	100

Naproti tomu během zimního pololetí odtoky stouply, přestože množství srážek na všech sledovaných meteorologických stanicích výrazně kleslo. Logickým vysvětlením je především silný nárůst dubnových teplot - ve zkoumaném období od roku 1978 se zvýšily o 3 - 4 °C (obr. 3). To urychlilo roztání sněhové pokrývky o tři až pět týdnů (obr. 3) a posunulo vysoké odtoky v době tání z letní poloviny hydrologického roku (květen - říjen) do zimního pololetí (listopad - duben).



Obr. 3: Trendy změn (1978 – 2013) měsíčního množství srážek (l/m²/a, nahoře) a měsíčních teplot ovzduší (°C/a, uprostřed) a konec sněhové pokrývky na českých a bavorských meteorologických stanicích mezi 440 a 1118 m n. m. (Beudert et al. 2016, připravuje se).

Podobně jako v prvním výzkumu vykazují disturbancemi nejvíce narušená povodí – horní toky Vydry a Große Ohe (57 % resp. 58 % odumřelých stromů) v této dlouhodobé studii ne pokles, nýbrž téměř nezměněný roční odtok. I to je jasný doklad snížení evapotranspiračního odpařování z území zasaženém velkoplošnými disturbancemi, které kompenzuje zvýšené odpařování zapříčiněné klimatickými změnami. To je ovšem pouze dočasný stav. Rychle se obnovující porosty budou časem spotřebovávat vodu stejně jako ty nezasažené.

Nedošlo ke zvýšení četnosti povodňových situací, které by byly zapříčiněné velkoplošnými disturbancemi (Bernsteinová et al. 2015). Častý a rozšířený názor, že les zadržuje srážky, můžeme označit za přílišné zjednodušení. Koruny smrků mohou podle hustoty porostu zadržet 1,5 – 5 l/m²

srážek. Naproti tomu je vrstva nadložního humusu v závislosti na její tloušťce schopna zachytit 30 – 100 l/m^2. Skutečným zadržovatelem vody v lese je proto nadložní humus. Dokud zůstane tato vrstva neporušená, a to bez ohledu na způsob narušení porostů (vítr, hmyz), bude i nadále zadržovat srážkové vody a tlumit srážkové extrémy.
Vyčesávání srážek smrkovými porosty má v jižně orientovaném NP Bavorský les význam pouze u návětrných stanovišť na hřebenech hor v nadmořské výšce přes ~ 1200 m.Plošně je proto v NP Bavorský les málo významné. (Baumgartner 1958). Les může vyčesáváním srážek získat ročně kolem 300 – 600 l/m² vody (Beudert a Breit 2015). V rozpadlém horském smrkovém lese tento dodatečný přísun vody schází, nicméně schází v něm i evapotranspirace živého porostu dosahující podobné výše. Bilance obou procesů (vyčesávání x odpařování) je tedy nulová.

B) Koncentrace dusičnanů v povrchových, podzemních a pramenných vodách po velkoplošných disturbancích

Po napadení smrkových porostů kůrovcem v povodí potoku Forellenbach (1996/1997) byly ve půdních vodách pod odumřelými smrky naměřeny velmi vysoké koncentrace dusičnanů (1997 – 2001; až 200 mg/l). Čerstvě opadané jehlice a odumřelé kořenové vlásečnice umožnily mikroorganismům z této na dusík bohaté organické hmoty vytvořit vyšší množství dusičnanů (Dieffenbach-Fries & Beudert 2007). Smrk, jako nejdůležitější konzument dusičnanů, po odumření porostů z koloběhu vypadl. Proto byly dusičnany z půdy vyplavovány do podzemních a povrchových vod. Po šesti letech od disturbance se ale tento proces zastavil. „Výrobní materiál“ (odumřelé jehlice, kořenové vlásečnice, volný humus) pro tvorbu dusičnanů byl již spotřebován. Koncentrace dusičnanů jsou nyní dokonce nižší, než byly před odumřením porostů. Smrkové a bukové zmlazení, trávy a byliny spotřebovávají stále více dusičnanů a tím snižují jejich koncentraci ve vsakujících se vodách.
Tyto procesy následující po rozšíření kůrovce proběhly po roce 1992 na 60 % až 80 % plochy povodí třech zkoumaných potoků v přírodní bezzásahové zóně v oblasti Roklan-Luzný (Beudert et al. 2015). Koncentrace dusičnanů v tocích a podzemních vodách stouply maximálně na 25 mg/l.
Povodí potoka Kleiner Rachelbach na severní straně Velkého Roklanu bylo kůrovcem napadeno na 90 % plochy. Koncentrace dusičnanů v tocích a spodních vodách stouply maximálně na 16 mg/l (obr. 4).

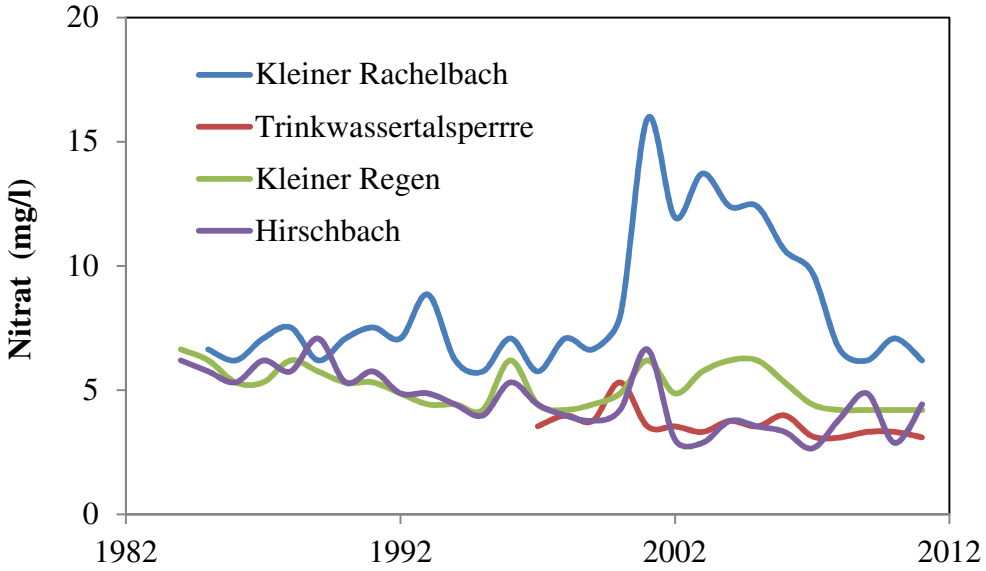


Abb. 4: Roční maximální koncentrace dusičnanů v potocích a v přehradě Frauenau na území Falkenstein-Roklan. (Beudert et al. 2016, připravuje se).

V nové části NP Bavorský les na území Falkenstein-Roklan se přírodní zóny vyhlašují průběžně. Proces jejich rozšiřování bude ukončen v roce 2027, kdy bude jejich plošná výměra představovat 75 % plochy NP Bavorský les. V oblasti Falkenstein-Roklan způsobil orkán Kyrill v lednu 2007 velkoplošné polomy a to obzvlášť na vrchu Plesná. Vysoko položené povodí potoka Rindelseige bylo zasaženo polomy i v roce 2011 (30 % plochy – dřevo zpracováno) a následným rozšířením kůrovce (dřevo zpracováno) bylo skoro ze 100 % zbaveno živých porostů. Koncentrace dusičnanů v tocích a podzemních vodách stouply v roce 2012 na maximálních 15 mg/l a od té doby klesají.
Výzkum všech pramenů na území národního parku sloužících jako zdroj pitné vody zjistil maximální koncentrace dusičnanů hluboko pod 25 mg/l a to i tehdy, když všechny smrkové porosty v povodí pramenů odumřely (Wasserwirtschaftliches Gutachten 2004).
Přehrada Frauenau sousedící s NP Bavorský les zásobuje pitnou vodou čtvrt miliónu obyvatel východního Bavorska. V jejím povodí, které leží v nové části NP Bavorský les a částečně i v NP Šumava, je podíl narušených smrkových porostů cca 30 %. Hlavní přehradní přítoky vykazují maximální koncentrace dusičnanů nižší než 10 mg/l, sama přehrada pak nižší než 5 mg/l (obr. 4).
Nezávisle na tom, jestli byly polomy nebo kůrovcem napadené porosty zpracovány, zůstaly maximální koncentrace dusičnanů ve všech zkoumaných vodách (od pramenů po přehradu) pod 30 mg/l. Limit koncentrace dusičnanů stanovený pro pitnou vodu (50 mg/l) tedy nebyl nikdy překročen.
Důvodem, proč nedochází k navýšení koncentrace dusičnanů, jsou geologické a půdní vlastnosti krajiny a bohatost srážek. Na dusičnany bohatá půdní voda pod odumřelými porosty se mísí se podzemními, na dusičnany chudými vodami. Celkový objem těchto podzemních vod představuje osmi až patnáctinásobek roční tvorby nových podzemních vod. Díky tomu nedochází k navýšení koncentrace dusičnanů.

Vědecké články:

Baumgartner, A., 1958: Nebel und Nebelniederschlag als Standortsfaktoren am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald). Forstwissenschaftliches Centralblatt 77, 257-272

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2004: Wasserwirtschaftliches Gutachtenfür den Nationalpark Bayerischer Wald. München.

Bernsteinová et al., 2015: Changes in runoff in two neighbouring catchments in the Bohemian Forest related to climate and landcover changes. J. Hydrol. Hydromech., 63, DOI: 10.1515/johh-2015-0037

Beudert B. und Breit, W., 2015: Interzeption von Wasserund reaktivem Stickstoff in Fichtenbeständen entlang eines Höhengradienten im Nationalpark Bayerischer Wald. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau.

Beudert et al., 2015: Bark Beetles Increase Biodiversity While Maintaining Drinking Water Quality. Conservation Letters, *DOI: 10.1111/conl.12153*

Dieffenbach-Fries H. & Beudert B., 2007: Fifteen years of monitoring in the Forellenbach area – using massbalances, bioindication and modelling approaches to detect air pollution effects in a rapidly changing ecosystem. Finish Environ., 26, 68-81.