

Effekter av stormen Gudrun på kväveutlakning från skogsmark



Stormskador vid Timrilt. Foto: Stefan Anderson, Skogsstyrelsen

Sofie Hellsten, Johanna Stadmark, IVL
Svenska Miljöinstitutet
Cecilia Akselsson, Lunds Universitet,
Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson,
IVL Svenska Miljöinstitutet

B1926
Augusti 2010

Rapporten godkänd:
2014-03-20

John Munthe
Forskningschef

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel Förhöjd kväveutlakning i skogsmark efter stormen Gudrun
Telefonnr 08-598 563 00	Anslagsgivare för projektet Naturvårdsverket
Rapportförfattare Sofie Hellsten, Johanna Stadmark, IVL Svenska Miljöinstitutet; Cecilia Akselsson, Lunds Universitet, Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet	
Rapporttitel och undertitel Effekter av stormen Gudrun på kväveutlakning från skogsmark	
Sammanfattning I denna rapport utvärderas effekter av stormen Gudrun på 35 ytor inom Krondroppsnätet, framförallt med avseende på kväveutlakningen från skogsmark efter en storm. Resultaten visade på ett tydligt samband mellan stormskadornas omfattning och nitrathalterna i markvattnet, med högre nitrathalter i de ytor som skadades mest. Effekten varierade dock inom samma skadeklass, vilket beror på andra faktorer som till exempel markvegetationen, kvävenedfallet, markvattnets surhetsgrad och beståndets ålder. Uppskalning av resultatet visade att den totala kvävebruttobelastningen till Östersjön och Västerhavet från skogsmark kan öka med ca 8 % till följd av en storm av Gudruns storlek.	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Kväveutlakning, stormskador, Gudrun, övergödning, Östersjön.	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B1926	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se , e-post: publicationservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Sammanfattning

I denna rapport utvärderas effekter av stormen Gudrun på 35 ytor inom Krondropps nätet, framförallt med avseende på kväveutlakningen från skogsmark efter en storm. Resultaten visade på ett tydligt samband mellan stormskadornas omfattning och nitrathalterna i markvattnet, med högre nitrathalter i de ytor som skadades mest. Effekten varierade dock inom samma skadeklass, vilket beror på andra faktorer som till exempel markvegetationen, kvävenedfallet, markvattnets surhetsgrad och beståndets ålder. Uppskalning av resultatet visade att den totala kvävebruttobelastningen till Östersjön och Västerhavet från skogsmark kan öka med ca 8 % till följd av en storm av Gudruns storlek.

Innehållsförteckning

1	Syfte.....	5
2	Bakgrund.....	5
3	Metod.....	6
4	Resultat & Diskussion.....	9
5	Slutsatser.....	15
6	Referenser.....	15

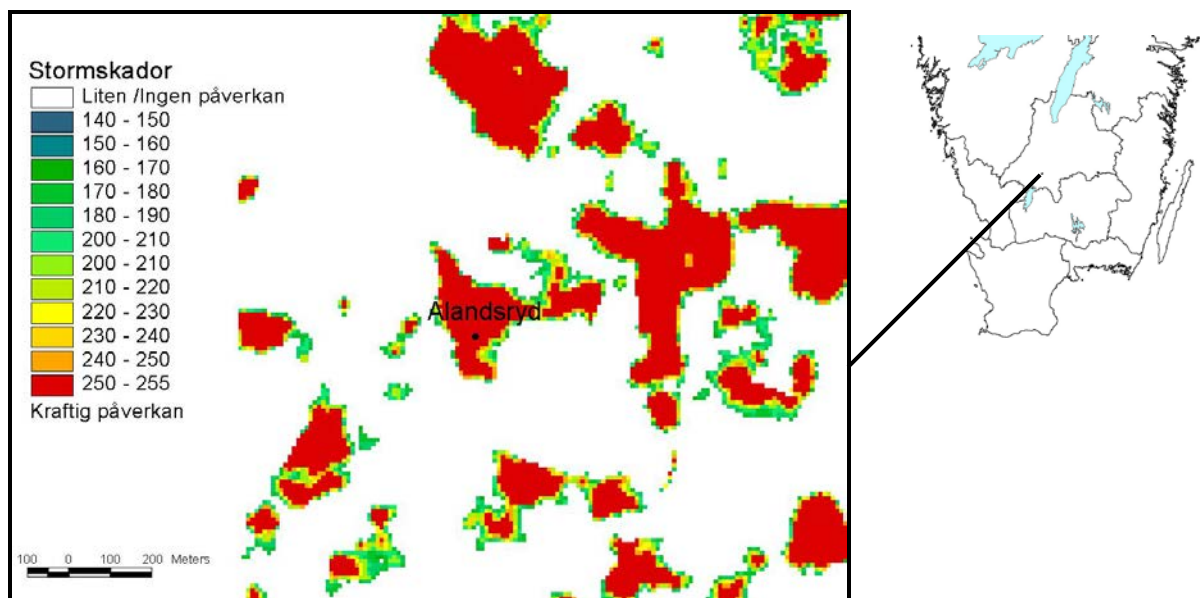
1 Syfte

Syftet med detta projekt är att, med det unika underlag som finns om stormeffekter på markvattenkemi inom Miljöövervakningsytorna inom Krondropps nätet, studera:

- Omfattningen på nitrattutlakningen på de ytor som drabbades av stormen Gudrun.
- Kopplingen mellan skadegrad och nitrattutlakning.
- Kopplingen mellan körskador och nitrattutlakning.
- Vilka parametrar som kan förklara skillnader i kväveutlakning.
- Om man utifrån nitrattläckage efter storm kan dra några slutsatser angående pågående kväveupplagring i skogsmarken i södra Sverige.
- Vilket bidrag en storm av Gudruns storlek kan få på kväveutlakningen från skogsmark.

2 Bakgrund

Stormen Gudrun i januari 2005 drabbade delar av södra Sverige hårt, med stora skador på skogen som följd. Många ytor inom Krondropps nätet (Hallgren-Larsson, et al., 1995) drabbades, i större eller mindre omfattning, av stormen. Figur 1 visar stormskador vid Alandsryd, en yta som blåste ner i samband med stormen Gudrun.



Figur 1. Stormskador vid krondroppsytan Alandsryd i södra Jönköpings län där skogen helt blåste ner. Stormskadorna baseras på en förändringsanalys av fjärranalysbilder (10 x 10 m) före och efter stormen Gudrun (Skogsstyrelsen, Claesson & Paulsson, 2005).

Inom Krondropps nätet tas markvattenprov tre gånger per år och tidsserierna är som längst drygt 20 år gamla. Vid flera av ytorna finns en tydlig förhöjning av nitrattutlakningen efter stormen (Figur 4). Det stora flertalet av ytorna med stormskador och/eller förhöjd nitrattutlakning ligger i Götaland. Ett flertal av krondroppsytorna i Götaland uppvisar en förhöjning av nitrathalten i markvattnet efter stormen Gudrun. Nitrattoppen kan förklaras av att trädens upptag av kväve minskar när

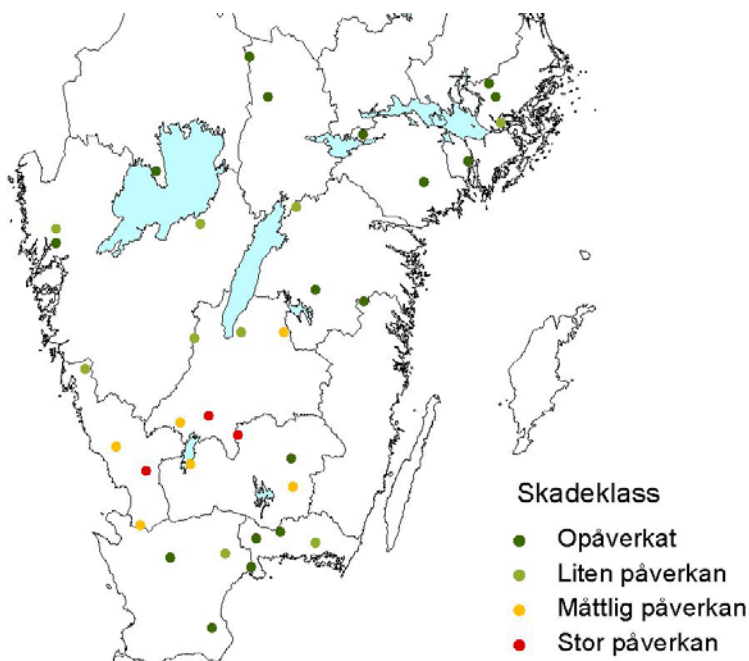
träden faller eller rötterna skadas. Eventuellt kan den även förklaras av en ökad mineralisering i marken pga ökad strålningsvärme samt ökad syretillförsel. I flera ytor kan även kraftiga körskador orsakade av den krissituation som uppstod och som innebar att miljöhänsynen ofta fick stå tillbaka, ha bidragit till den ökade utlakningen. Inom Krondroppsnetet finns även ytor där skador på skogen efter stormen Gudrun noterats, men där inga effekter på nitrutlakningen uppmätts.

I denna rapport presenteras kortfattat resultaten som finns om stormeffekter på markvattenkemi inom Krondroppsnetet. Resultaten kommer även att presenteras mer omfattande i en vetenskaplig publikation under 2010.

3 Metod

Data om stormskador på krondroppsytorna har sammanställts i en databas. Data om stormskador baserades i huvudsak på fältprotokoll och telefonsamtal med provtagarna. Ytorna delades in i fyra olika "skadeklasser" beroende på omfattningen av stormskadorna i ytan (Tabell 2). Lövskog beaktades inte i studien, och inte heller ytor med korta tidsserier eller med oklar information om stormskadornas omfattning. Sammanlagt ingick 35 krondroppsytor i studien (Figur 2), då sju ytor föll bort på grund av oklar information om stormskadornas omfattning. Följande skadeklasser användes:

- 1) Ingen påverkan av stormen Gudrun, 17 ytor.
- 2) Liten påverkan (< 10 träd i ytan föll), 9 ytor.
- 3) Måttlig påverkan (minst 10 träd och max 50 % av träden i ytan föll), 6 ytor.
- 4) Stor påverkan (minst 50 % av träden i ytan föll), 3 ytor.



Figur 2. De 35 ytorna som ingick i studien uppdelade på de fyra skadeklasserna.

Tabell 1. De 35 krondroppsytorna som ingick i studien fördelat på skadeklass.

Skadeklass	Yta	Stormskadornas omfattning
Ingen påverkan	Arlanda (A 92)	Inga stormskador
	Attsjö (G 21)	Inga stormskador
	Bergby (A 01)	Inga stormskador
	Edeby (D 11)	Inga stormskador
	Farstanäs (A 35)	Mycket träd föll i stormen, men alla utanför ytan.
	Greckssundet (T 02)	Inga stormskador
	Hensbacka (O 35)	Inga stormskador, men enstaka träd utanför ytan föll.
	Hjärtsjömåla (K 03)	Inga stormskador
	Knutsta (D 14)	Inga stormskador
	Komperskulla (K 11)	Inga stormskador
	Marydn (L 15)	Inga stormskador
	Risebo (H 21)	Inga stormskador, förutom något toppbrott. Ett träd som stod utanför ytan ramlade in.
	Ryssberget (K 07)	Inga stormskador
	Solltorp (E 21)	Inga stormskador
	Södra Averstad (S 05)	Inga stormskador
	Västra Torup 2 (L 03)	Inga stormskador. Enstaka träd föll utanför ytan. Körskador.
	Örlingen (T 03)	Inga stormskador
Liten påverkan	Arkelstorp (L 05)	Enstaka träd föll (2-3 träd).
	Humlered (P 93)	En nedblåst tall inom ytan. Enstaka nedblåsta träd utanför ytan.
	Höka (E 22)	1 träd (tall) nedblåst.
	Sticklinge (A 05)	En stor gran föll mitt i ytan.
	Stora Ek (R 09)	Ett nedblåst träd på ytan. Liten lucka i ena hörnet på ytan då 4 träd blåst ner utanför ytan. Skördare har kört i ytan.
	Söstared (N 01)	1 tall blåste ner, närmsta omgivningen orörd.
	Vång (K 13)	Ett fåtal träd blåste ner, samt en hel del 200 m NV om ytan.
	Värnvik (F 12)	2-3 granar vindfällda i ytan.
	Åboland (O 01)	4 träd nedblåsta (2 gran & 2 tall). Enstaka träd utanför ytan har också blåst ner.
Måttlig påverkan	Angelstad (G 23)	ca 35 % blåste ner. Gudrun tog skogen nord-ost om ytan. Ej körskador.
	Bordsjö (F 22)	10-12 granar fallna i ytan eller in i ytan.
	Borgared (N 12)	15 granar föll. Lucka i provytan.
	Knapanäs (G 09)	Skogen nedblåst. Ytan flyttades 20 m och tre nya lysimetrar installerades (3 gamla lysimetrar fanns kvar på den ursprungliga ytan i bruk)
	Mellby (F 18)	15 granar blåste ner. Rikligt med nedblåsta träd utanför ytan.
	Vällåsen (N 17)	13 granar blåste ner. Omgivningen: beståndskanter har kommit närmare ytan och luckor har bildats. Körskador.
Stor påverkan	Alandsryd (F 09)	Den knappt 80-åriga skogen blåste ner i samband med stormen Gudrun.
	Tagel (G 22)	Ca 50 % blåste ner. Körskador. Ytan flyttades hösten 2007 pga barkborrar.
	Timriilt (N 13)	Kraftigt skadat. Mer än 50 % blåste ner.

Utöver skadeklassningen sammanställdes skogliga data, markdata, väderdata, nedfallsdata, eventuell information om körskador, mm för de utvalda ytorna. Väderdata hämtades från SMHI och baseras på den av SMHI:s mätlokaler som ligger närmast den aktuella krondroppsytan (temperatur och nederbörd). Markdata och nedfallsdata (krondropp) hämtades från Krondroppsnätets databas. Information om körskador baseras på fältprotokoll och telefonsamtal med provtagarna.

Ett typvärde på kväveutlakningen togs fram för varje skadeklass. För varje yta beräknades medelvärdet av nitrathalten i markvattnet under tidsperioden 2005-2008. Medelvärdet användes istället för medianvärdet för att fånga upp ”toppen” i den ökade utlakningen efter stormen. Typvärdet beräknades sedan som medelvärdet från samtliga ytor inom varje skadeklass. För samtliga ytor beräknades också medelvärdet över tiden för nitratutlakningen före stormen (perioden 2001-2004). Medelvärdet användes för att beakta de variationer i nitratkoncentration som kan förekomma i vissa ytor t. ex. Timrilt (Figur 4a). Dessa båda värden jämfördes och differensen anses representera ”Gudruneffekten”, det vill säga den ökade nitrathalten i markvattnet till följd av stormen Gudrun.

Ett typvärde för ”växande skog” beräknades baserat på medelvärdet av medianen för samtliga ytor under tidsperioden 2001-2004. Medianvärdet användes för att reducera effekten av tillfälliga ”toppar” i nitratvärden i markkvatten så att värdet blir representativt för ytan.

Inom varje skadeklass studerades skillnader i nitratutlakning och sambandet med andra parametrar såsom nedfall, beståndsålder och pH i markvattnet. Sambandet mellan nitratutlakning i markvattnet och körskador utvärderades inte i denna studie, då det saknades adekvat information om körskador i krondroppsyterna.

En uppskalning av resultatet gjordes baserat på metoden i Akselsson et al. (2009) för att se vilken effekt en storm av Gudruns storlek kan ha på den totala kväveutlakningen. Två scenarier tillämpades för att beräkna bruttobelastningen från skogsmark i Södra Östersjöns, Norra Östersjöns och Västerhavets vattendistrikt.

- 1) Normalfall (speglar normala förhållanden).
- 2) Gudrun (stormskador i samma omfattning som stormen Gudrun).

Ett GIS-skikt (geografisk data) med 5284 delavrinningsområden inom Östersjöns och Västerhavets vattendistrikt, ursprungligen från SMHI men anpassat av SMED, utgjorde basen för beräkningarna. SMED-databaser (www.smed.se), utnyttjades för data på avrinning och markanvändning (areal skogsmark och hygge). Areal stormskadad skog per avrinningsområde beräknades från Skogsstyrelsens förändringsanalys av satellitbilder med en upplösning på 10 x 10 m (Claeson & Paulsson, 2005). Utbredningen av området som omfattas av förändringsanalysen visas i Figur 3 (grått område) där även de tre aktuella vattendistrikten visas. Skogsstyrelsens förändringsanalys gjordes genom att jämföra satellitbilder före och efter stormen Gudrun (Claeson & Paulsson, 2005). Skogsstyrelsens skadeklassning var graderad från värdet 140-255, där värdet 255 innebar att skogen var helt nedblåst (Figur 1). Baserat på denna förändringsanalys klassades i denna studie två olika stormskadeklasser: 1) Måttligt skadat (värde 140-230) och 2) Kraftigt skadat (>230).



Figur 3. Det aktuella området i studien omfattar Västerhavets vattendistrikt, samt Norra- och Södra Östersjöns Vattendistrikt. Det gråa området omfattar en storminventering baserat på en förändringsanalys av satellitbilder före och efter stormen.

Bruttobelastningen från skog beräknades med hjälp av typhalter för olika kväveformer enligt Tabell 2. Bruttobelastningen ger enbart de yttre ramarna för kväveutlakningen från skogsmark, eftersom eventuella kväveretentionsprocesser på vattnets väg från rotzonen till havet inte har beaktats. Bruttobelastningen från skogsmark vid de två scenarierna beräknades genom att kombinera data på avrinning och markanvändning med halter på avrinningsområdesnivå, det vill säga genom att multiplicera halt, avrinning och areal skogsmark.

Tabell 2. Halter som använts för olika kväveformer vid beräkningarna av bruttobelastningen av kväve från skogsmark.

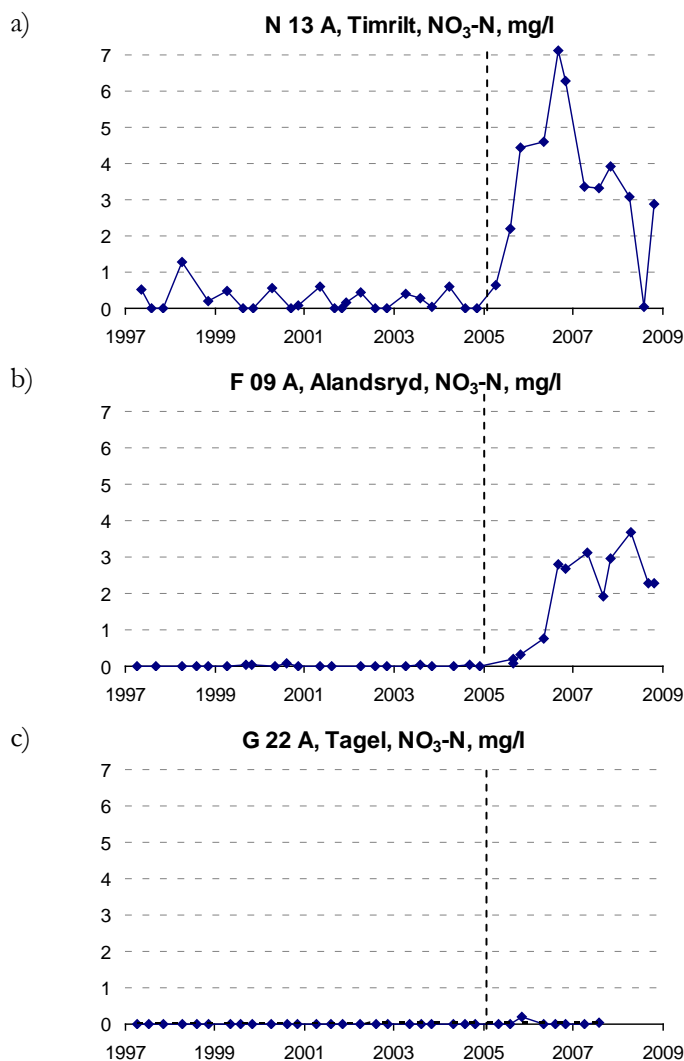
Kväveform	Halt (mg/l)
Organiskt kväve	0,4*
Ammoniumkväve (NH ₄ -N)	0,015*
Nitratkväve (NO ₃ -N)	Varierar enligt Tabell 3

* Baserat på data i Löfgren & Westling (2002)

4 Resultat & Diskussion

Effekter av stormen Gudrun i markvattnet noterades på ett flertal ytor inom Krondroppsnetet. Figur 4 visar nitratkvävehalten i de tre krondroppsytor som drabbades mest av stormen Gudrun. Dessa tre ytor skadades så allvarligt i stormen att de delades in i skadeklass 4 (stor påverkan). Vid Timrilt (Halland) och Alandsryd (Jönköpings län) noterades kraftigt förhöjda nitrathalter i markvattnet efter stormen, men i Tagel, där 50 % av träden i ytan blåste ner noterades inte motsvarande effekt i markvattnet (endast en liten nitrattopp). Stormskadorna i Tagel var visserligen mindre än i både Timrilt och Alandsryd, men det är ändå anmärkningsvärt att ingen tydlig stormeffekt

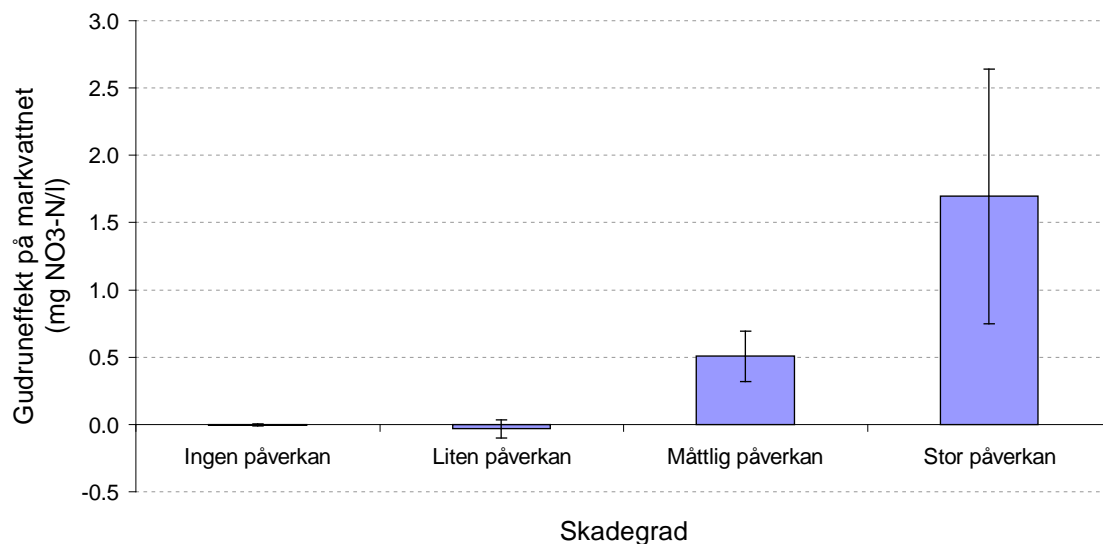
noterades i markvattnet trots att ungefär hälften av träden på ytan blåste ner. En förklaring till att ingen tydlig stormeffekt noterades i markvattnet, kan vara att ytan har en kraftig undervegetation av nitrofila växter som binder kväve och således har en förmåga att reducera den ökade kvävehalten i markvattnet. Undervegetationen vid Tagel består av bl.a. kruståtel, blåbär, ormbunkar (örnbräken) och mossvegetation, till skillnad från Timrilt som bara har mossvegetation. Hösten 2007 flyttades ytan vid Tagel 800 m på grund av barkborreangrepp till en granskog med ungefär samma ålder. Dock borde stormeffekten vara synlig i markvattnet innan ytan flyttades.



Figur 4. Nitratkväve (NO₃-N) i markvattnet 1997-2009 i de tre krondroppsytor som drabbades värst av stormen Gudrun: a) Timrilt (Halland), b) Alandsryd (Jönköpings län) och c) Tagel (Kronobergs län). Notera att krondroppsytan vid Tagel flyttades under hösten 2007 pga barkborreangrepp. Streckad linje indikerar stormen Gudrun.

Gudruneffekten i de tre kraftigast skadade ytorna visade att undervegetationen troligtvis är en viktig parameter som påverkar storleken på nitratutlakningen efter en storm. Halten nitratkväve i markvattnet kan variera kraftigt mellan olika ytor även beroende på andra faktorer såsom kvävebelastning, klimat, markegenskaper, beståndsegenskaper och hydrologiska förhållanden (Gundersen et al., 1998). Många studier har gjorts för att försöka knyta risken för förhöjd kväveutlakning till olika beståndsegenskaper, och skogsområdets storlek, tidigare markanvändning, jordart, nedfall, hydrologi, jordmån och C/N-kvoten i humuslagret är några av de parametrar som har lyfts fram (Callesen et al., 1999; Gundersen et al., 2006; Rothwell et al., 2008). Det är troligt att dessa parametrar även har betydelse för kväveutlakningen vid stormfällan.

Markvattendata från före (2001-2004) och efter (2005-2008) stormen jämfördes och skillnaderna i nitratutlakning mellan de två tidsperioderna visas i Figur 5 uppdelat på de olika stormskadeklasserna. Skillnaden representerar ”Gudruneffekten”, det vill säga den ökade nitratkvävehalten i markvattnet till följd av stormen Gudrun. Resultatet visar på ett tydligt samband mellan skadegrad och nitratutlakning med högre nitrathalter i de ytor som skadades mest. Dock kan effekten variera kraftigt inom samma skadeklass (Figur 4), vilket beror på andra faktorer. Tabell 3 visar de typvärden (medelvärden 2005-2008) på nitratutlakning som räknades fram för de olika skadeklasserna.

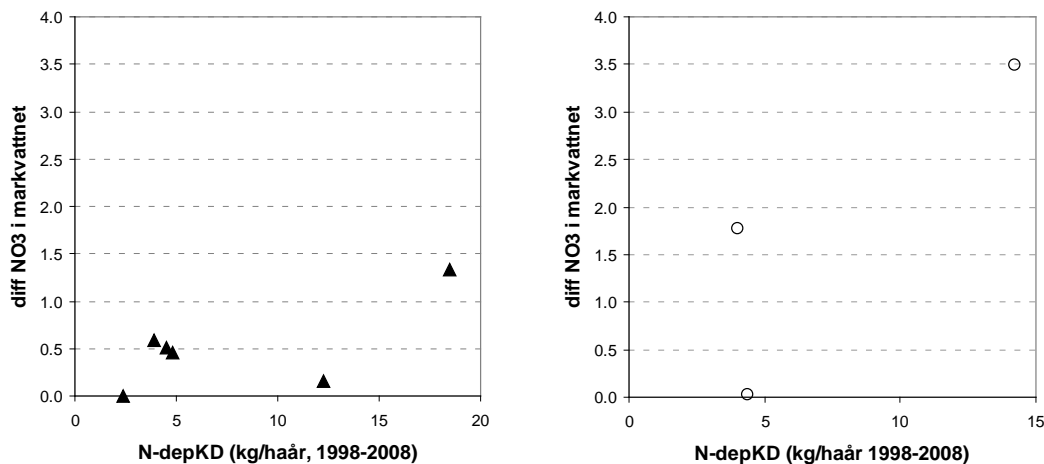


Figur 5. Stormen Gudruns effekt på NO₃-N-koncentrationen i markvattnet uppdelat på skadegrad. Gudruneffekten representerar differensen mellan perioden 2005-2008 & perioden 2001-2004. Medelvärde \pm standardfel för de olika skadegraderna.

Tabell 3. Typvärden (medelvärde) på nitratkväve (NO₃-N, mg/l) i markvattnet för de fyra skadeklasserna. Före stormen var medelvärdet på medelvärdet för samtliga 35 ytor 0,113 mg NO₃-N/l och medelvärdet på medianvärdet för samtliga 35 ytor var 0,079 mg/l.

Skadeklass	Antal ytor	Typvärde
1. Ingen påverkan	17	0.03
2. Liten påverkan	9	0.17
3. Måttlig påverkan	6	0.87
4. Stor påverkan	3	1.76

Förhöjningen i kväveutlakning på hyggen har visat sig vara större i områden med hög kvävestatus i marken (Akselsson et al., 2004). Timrilt är den lokal där den högsta nitrattoppen noterats efter stormen, och denna lokal befinner sig i ett område med högt kvävenedfall, vilket kan vara en indikation på att kvävestatusen i marken är hög. För att utvärdera sambandet mellan kvävenedfallet (i krondropp) och kväveutlakningen plottades krondroppet mot den så kallade Gudruneffekten (differensen mellan perioden före och efter stormen) inom skadegraderna måttlig påverkan och stor påverkan (se Figur 6).

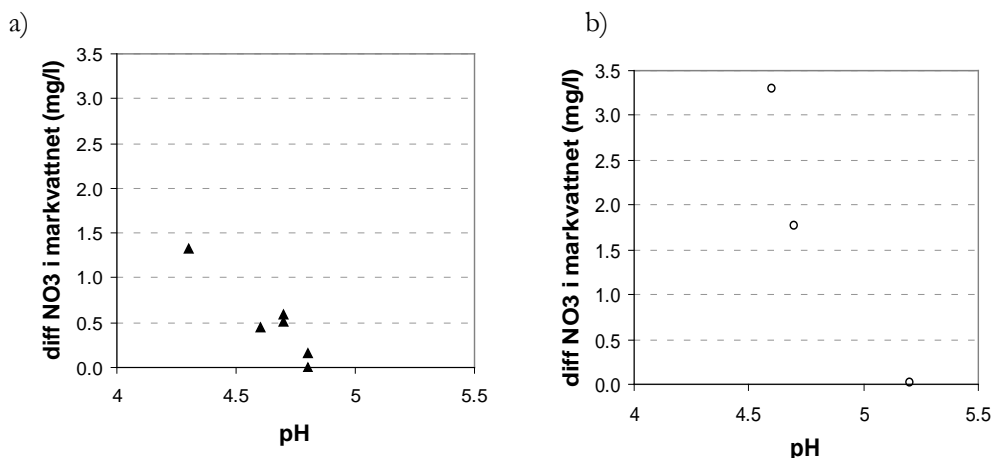


Figur 6. Sambandet mellan kvävenedfallet (i kron dropp) och differensen i kväveutlakning ("Gudruneffekten"). a) ytor med måttlig stormpåverkan, b) ytor med stor stormpåverkan.

Inom skadegraderna måttlig påverkan och stor påverkan ökade NO₃-differensen (Gudruneffekten) med ökad N-deposition (Figur 6). Om man analyserar hela datasetet finns samma trend. Resultaten indikerar således en ökning i markvattnets NO₃-N-koncentration med ökad deposition inom en skadegrad (i alla fall om området blivit stormpåverkat). Kvävenedfallet i stort är högre i de områden som stormskadades mest, på grund av det geografiska läget av stormen och kvävenedfallet.

Kväveutlakningen utvärderades även med avseende på beståndets ålder (visas ej). Om skadegraderna måttlig och stor slås samman (totalt 8 lokaler har då åldersdata) blir det ett negativt samband mellan ålder och NO₃-diff (medel) i markvattnet, det vill säga, N-utlakningen minskar med ökad ålder på skogsbeståndet. Om alla skadegrader finns med i samma graf blir sambandet även då negativt.

Figur 7 visar vilken effekt markvattnets surhetsgrad (pH) har på skillnaden i nitratkoncentration efter stormen Gudrun. Eftersom även pH-värdet i markvattnet kan påverkas av stormeffekter användes medianvärdet för pH från tidsperioden före stormen (2001-2004). Markvattnets surhetsgrad samvarierar med kvävedepositionen, och liksom vid jämförelsen med kvävenedfallet i kron dropp noterades ett samband. Resultaten visar att påverkan blir störst vid sura förhållanden (låga pH). Vid högre pH blir det en lägre ökning av NO₃-N-koncentrationen än vid lågt pH. Detta samband är tydligast om måttlig och stor påverkan analyseras var för sig, men sambandet noterades även då alla lokaler med måttlig och stor påverkan analyseras samtidigt.



Figur 7. Sambandet mellan markvattnets surhetsgrad (pH) och kväveutlakningen a) måttlig påverkan, b) stor påverkan.

Resultaten från studien skalades upp för att utvärdera vilket bidrag en storm av Gudruns storlek kan få på kväveutlakningen från skogsmark. Stormskadorna var störst i Kronobergs län, södra Halland samt den sydvästra delen av Jönköpings län. Hyggesarealen i det studerade området (Figur 3) utgör normalt sett 4,6 % av skogsarealen (www.smed.se). Förändringsanalysen på stormskador från Skogsstyrelsen (Claesson & Paulsson, 2005) visade att 8085 km² skog skadades i stormen, vilket motsvarar ungefär 8,8 % av skogsarealen. Ungefär hälften av den stormskadade ytan klassades som ”Kraftigt stormskadad” (Stor påverkan).

I beräkningen tillämpades typvärdet för NO₃-N från skadeklass 4 (stor påverkan, Tabell 3) på de kraftigast skadade ytorna (stormskador med värde > 230). Detta typvärde tillämpades även på arealen som representerar ”hygge”. För de mindre skadade ytorna (stormskador 140-230) användes typvärdet för skadeklass 3 i Tabell 3. För växande skog användes typvärdet 0,079 mg/l, baserat på medelvärdet på medianen för samtliga ytor före stormen (2001-2004).

Tabell 4 visar den totala bruttobelastningen till Östersjön och Västerhavet från skogsmark före och efter stormen Gudrun. Beräkningen indikerar att bruttoutlakningen av kväve från skogsmark till Västerhavet och Östersjön kan öka med 8 % till följd av en storm av Gudruns storlek, räknat som ett medelvärde för 4-årsperioden efter stormen (2005-2008). Om man beaktar enbart nitratkväve blir ökningen 28 %. Utlakningen av nitratkväve kulminerar efter ca 2 år (Figur 4), vilket gör att den maximala effekten av stormen Gudrun troligtvis inträffade under 2006-2007. Fem år efter stormen (2009-2010) förväntas att den ökade utlakningen har minskat kraftigt.

Tabell 4. Total bruttobelastning från skogsmark (ton) före (normalfall) och efter Gudrun, samt ökningen i kväveutlakningen till följd av stormen Gudrun.

Vattendistrikt	Scenario	Bruttobelastning, kväve (ton)	N ökning vid Gudrun (%) I nom parantes: enbart nitrat
Östersjön (Södra & Norra)	1. Normalfall ¹⁾	6 979	
	1. Normalfall ²⁾	7 157	
	2. Gudrun	7 800	9,0 % (32 %)
Västerhavet	1. Normalfall ¹⁾	8 649	
	1. Normalfall ²⁾	10 531	
	2. Gudrun	11 260	6,9 % (26 %)
Västerhavet & Östersjön	1. Normalfall ¹⁾	15 629	
	1. Normalfall ²⁾	17 688	
	2. Gudrun	19 059	7,8 % (28 %)

1) Baserat på typvärdena som använts inom SMED (www.smed.se).

2) Baserat på typvärden från Krondroppsnätet (Tabell 3).

Bruttobelastningen av kväve från skogsmark utgör ca 30 % av den totala bruttobelastningen (Brandt et al, 2008), och bidraget från skogsmark är därför begränsat jämfört med andra källor som jordbruksmark och andra verksamheter. En ökning med 8 % av kvävet från skogsmark får därför inte lika kraftig genomslagskraft vid jämförelse med bruttobelastningen från samtliga källor. Det är dock viktigt att minimera utlakningen av kväve även från skogsmark, i strävan att reducera belastningen på havet.

I beräkningen av bruttobelastningen till Östersjön och Västerhavet hänförs ökningen efter stormen enbart till den stormskadade arealen från Claesson & Paulsson (2005) och en ökad avrinning orsakad av stormen har således inte beaktats. Arealen stormfällda träd baseras på satellitbilder som endast täcker in delar av det aktuella området. I stort sett hela Södra Östersjöns vattendistrikt, men enbart södra delen av Västerhavets vattendistrikt och en mycket liten del av Norra Östersjöns vattendistrikt omfattas av det storminventerade området (Figur 3). Detta gör att stormskadorna i Västerhavets och Norra Östersjöns vattendistrikt troligtvis är underskattade. Dock omfattar det storminventerade området de delar där de mest omfattande stormskadorna inträffade. Även inom det storminventerade området har stormskadorna troligtvis underskattats, eftersom förändringsanalysen endast tog med pixlar (rutor om 10 x 10 m) som var grupperade om minst åtta pixlar. Således faller en del mindre stormskadade ytor bort i analysen. Vidare har studien inte beaktat skogsområden med liten stormpåverkan som trots allt kan ha fått en något högre utlakning efter stormen.

Kväveretentionen, det vill säga kvarhållningen av kväve i rotzonen innan avrinningsvattnet når vattendragen och havet, har inte inkluderats i nuvarande modellberäkning. Resultatet är endast tänkt att användas som ett mått på vad kväveläckaget, motsvarande det som uppmättes i kron-droppsytor i samband med stormen, skulle innebära för bruttobelastningen. För att beräkna den faktiska belastningen på havet, nettobelastningen, krävs ökad kunskap om kväveretentionen på vattnets väg ut till havet, framförallt retentionsmekanismerna i avrinningsområdena.

5 Slutsatser

- Utvärderingen av nitrathalterna i markvatten från Krondroppsytorna visar på ett tydligt samband mellan stormskadegrad och nitratutlakning, med högre nitrathalter i de ytor som skadades mest. Dock kan effekten variera kraftigt inom samma skadeklass, vilket beror på andra faktorer.
- Gudruneffekten (differensen i nitrathalterna i markvattnet före och efter stormen) i de tre kraftigast skadade ytorna visade att undervegetationen troligtvis är en viktig parameter som påverkar storleken på nitratutlakningen efter en storm.
- Övriga parametrar som troligtvis har betydelse för nitratutlakningens storlek är: kvävenedfallet, beståndets ålder och markvattnets surhetsgrad, varav en del av dessa parametrar samvarierar (t.ex. nedfall och markvattnets surhetsgrad).
- Uppskalning av resultatet visade att den totala kvävebruttobelastningen till Östersjön och Västerhavet från skogsmark kan öka med ca 8 % till följd av en storm av Gudruns storlek. Dock är denna siffra troligtvis underskattad, då inte hela det studerade området omfattades av storminventering, samt att den ökade utlakningen orsakad av mindre stormskador inte ingick i beräkningen.

6 Referenser

- Akselsson, C., Westling, O. and Örlander, G., (2004): Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 202: 235-243.
- Akselsson, C., Klarqvist, M. & Hellsten, S. (2009): Kväveutlakning från skogsmark – hur mycket kan det bidra till bruttobelastningen? – Uppskalning för avrinningsområden i södra Östersjöns, norra Östersjöns samt Västerhavets vattendistrikt med olika scenarier för nitratkvävehalter i markvatten. Slutrapport till Naturvårdsverket 2009-09-17.
- Brandt, M., Ejhed, H. & Rapp, L. (2008): Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2006. Sveriges underlag till HELCOMs femte Pollution Load Compilation. Naturvårdsverket Rapport 5815, maj 2008.
- Callesen, I., Raulund-Rasmussen, K., Gundersen, P. & Stryhn, H. (1999): Nitrate concentrations in soil solutions below Danish forests. *Forest Ecology and Management* 114, 71-82.
- Claesson, S. & Paulsson, J. (2005): Flyginventering av stormfälld skog – januari 2005. PM 2005-02-02. Skogsstyrelsen. 10 s.
- Gundersen, P., Callesen, I. & de Wries, W. (1998): Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution* 102, 403-407.
- Gundersen, P., Schmidt, I.K., Raulund-Rasmussen, K., (2006): Leaching of nitrate from temperate forests – effects of air pollution and forest management. *Environmental Reviews* 14, 1-57.
- Hallgren Larsson, E., Knulst, J., Malm, G. & Westling, O. (1995): Deposition of acidifying compounds in Sweden. *Water Air and Soil Pollution* 85, 2271-2276.
- Löfgren, S. & Westling, O. (2002): Modell för att beräkna kväveförluster från växande skog och hyggen i Sydsverige. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Miljöanalys, Rapport 2002:1, Uppsala.
- Rothwell, J.J., Fitter, M.N. & Dise, N.B. (2008): A classification and regression tree model of controls on dissolved inorganic nitrogen leaching from European forests. *Environmental Pollution* 156, 544-552.