



Denitrifikation - dannelse af lattergas eller frit kvælstof?

Fuldstændig denitrifikation omdanner nitrat til frit kvælstof, som er uskadeligt i atmosfæren. Ufuldstændig denitrifikation vil derimod betyde dannelse af den kraftige drivhusgas lattergas. Læs mere om under hvilke forhold, der sker hvad?

- [Jordens fugtighed](#)
- [Tilstedeværelse af tilgængeligt kulstof](#)
- [Koncentrationen af nitrat i jorden](#)
- [Overjord og underjord](#)
- [Temperatur og pH](#)
- [Jordtyper](#)
- [Litteratur](#)

Promilleafgiftsfonden for landbrug



Den Europæiske Union ved Den Europæiske Fond for Udvikling af Landdistrikter og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri har deltaget i finansieringen af projektet.

I mange nyere tiltag til reduktion af kvælstofudledningen til vandmiljøet udnyttes den naturlige denitrifikationsproces, hvor bakterier omdanner nitrat i jordvand eller drænvand til lattergas (N_2O) og frit kvælstof (N_2). Det er for eksempel tilfældet for reetablerede vådområder, konstruerede vådområder og kontrolleret dræning. Dannelse af N_2 er uskadeligt, idet 80 % af atmosfæren består af netop N_2 . N_2O er derimod en kraftig drivhusgas, hvis potentiale til global opvarmning er 300 gange større end for CO_2 .

Læs mere om lattergas og denitrifikationsprocessen i [Lattergas som drivhusgas](#).

Flere faktorer påvirker, hvorvidt der sker en fuldstændig denitrifikation og derved dannelse af N_2 eller en ufuldstændig denitrifikation og derved dannelse af N_2O . Andelen af N_2O af det samlede denitrifikationsprodukt kan være alt fra 0 til 100 % afhængigt af forholdene. I dette notat oprises betydningen af forskellige faktorer. Tabel 1 giver en oversigt over de tendenser som er beskrevet i artiklen.

Tabel 1. Forhold der giver enten stigende (↑) eller faldende (↓) a) andel N_2O af det totale denitrifikationsprodukt eller b) absolut N_2O -produktion. (-) angiver at produktionen forventes at være upåvirket. De viste tendenser er uddybet og nuanceret for de enkelte punkter i artiklen.

	Andel N_2O	Absolut N_2O -produktion
Øget fugtighed i jorden	↓	↑/↓
Øget mængde tilgængeligt kulstof	↓	↑
Øget indhold af nitrat i jorden	↑	↑
Underjord i forhold til overjord	↓	↓
Øget temperatur	↓	↑
Mindsket pH-værdi	↑	-
Øget lerindhold i jorden	↓	↑

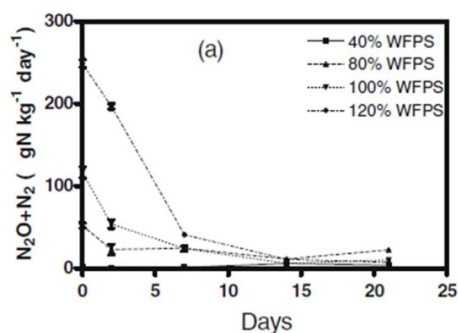
Bemærk at andelen af N_2O i de viste figurer og tabeller kan være angivet som $N_2O/(N_2O+N_2)$ eller som N_2/N_2O . De to forhold skal tolkes forskelligt. $N_2O/(N_2O+N_2)$ siger direkte, hvor stor en andel/procentdel af den samlede denitrifikation (N_2O+N_2), der er N_2O . Dvs. hvis værdien er høj, er der en stor andel N_2O . For N_2/N_2O -forholdet er det omvendt. Her angiver en høj værdi en lille andel N_2O , og hvis der stort set kun produceres N_2O vil forholdet været tæt ved 0.

Jordens fugtighed

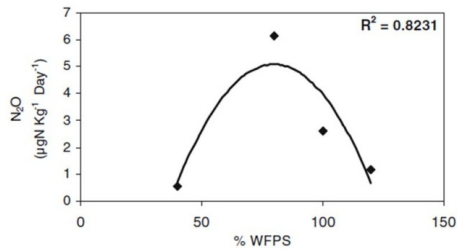
Jordens fugtighed er afgørende for, hvordan denitrifikationen forløber. Generelt vil den samlede denitrifikation øges med en øget fugtighed i jorden, men andelen af N_2O i forhold til N_2 vil mindskes.

Jordens fugtighed kan angives som WFPS (Water filled pore space), som er et udtryk for, hvor stor en andel af porerne i jorden, der er vandfyldte. I en grovsandet jord kan WFPS ved markkapacitet være omkring 25 %, mens den i en almindelig lerjord måske vil ligge omkring 55-65 % ved markkapacitet.

Ciarlo et al. (2007) har målt denitrifikationen over 3 uger på jordsøjler med fire forskellige grader af fugtighed i et interval fra 40 til 120 % WFPS, hvor 120 % WFPS angiver en situation med 2 cm vandlag oven på jorden. Figur 1 viser, at den samlede denitrifikation er størst ved 120 % WFPS og lavest ved 40 %. Af tabel 2 fremgår det, at som gennemsnit af de tre uger, var andelen af N_2O faldende fra 32 % ved WFPS=40 % til 13 % ved WFPS=120 %. Forsøget viste, at den absolutte produktion af N_2O var størst ved 80 % WFPS (figur 1b). Forsøget tyder altså på, at op til en vis grad af vandindhold i jorden, vil produktionen af N_2O stige, men over dette punkt vil denitrifikationen begynde at forløbe så fuldstændigt, at al emission vil ske som N_2 .



Figur 1a. N_2O+N_2 emissioner gennem en 21-dages inkubationsperiode. De plottede punkter er gennemsnit af tre værdier. WFPS = Water filled pore spaced. Fra Ciarlo et al. (2007).



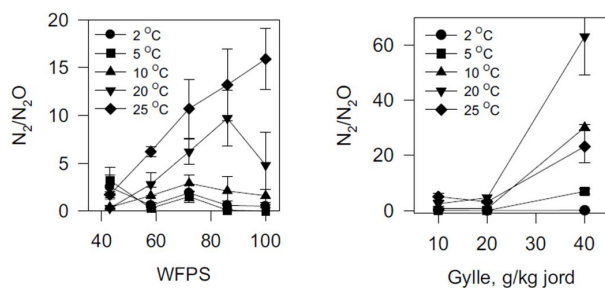
Figur 1b. Gennemsnitlig daglig emission af N_2O som funktion af fugtighed i jorden. WFPS = water filled pore spaces. Fra Ciarlo et al. (2007).

Tabel 2. Andel N_2O af den samlede denitrifikation (N_2O+N_2) ved forskellige grader af vand i jorden. WFPS = Water filled pore spaces. 120 % WFPS svarer til en oversvømmet jord med et 2 cm vandlag ovenpå. Resultater fra Ciarlo et al. (2007).

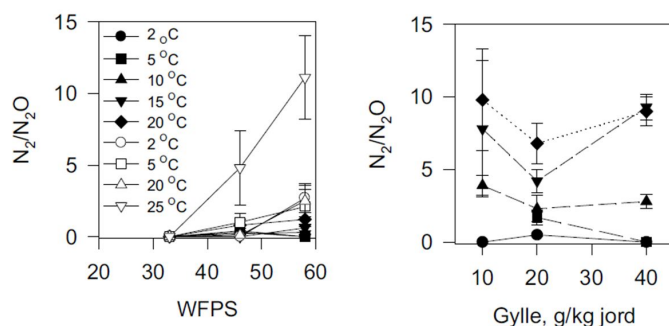
Vandfyldte porer	40 % WFPS	80 % WFPS	100 % WFPS	120 % WFPS
Andel N_2O af N_2O+N_2 (%)	32	27	19	13

Weier et al. (1993) og Vinther (1990) har beskrevet forsøg, der viser samme tendenser. Resultaterne fra forsøgene af Vinther (1990) er vist i figur 2 og 3 for hhv. en Askov-jord (JB 5) og en Jyndevad-jord (JB1). Resultater fra Weier et al. (1993) er vist i figur 4 og 6.

Af figur 2 og 3 ser man, at tendenserne til stigende andel N_2O er klarest ved de højeste temperaturniveauer ved 10 og 20°C eller når andre forhold giver en stor potentiel denitrifikation (eks. glucose-tilsætning i figur 3). Forsøget af Ciarlo et al. (2007) er udført ved temperaturer omkring 18-20°C. Det kan derfor ikke, på baggrund af de beskrevne forsøg, fastsættes om man ved danske vinterforhold vil se de samme klare tendenser til en større andel N_2O ved lavere fugtighed.



Figur 2. N_2/N_2O -forhold i en JB5-jord med stigende vandindhold (til venstre) og med stigende tilførsel af gylle (til højre). Begge er vist ved forskellige temperaturer. WFPS = Water filled pore spaces. Fra Vinther (1990).



Figur 3. N_2/N_2O -forhold i en JB1-jord ved stigende vandindhold (til venstre) og stigende tilførsel af gylle (til højre). Begge er vist ved forskellige temperaturer. Åbne symboler markerer tilsætning af 0,2 % glukose. WFPS = Water filled pore spaces. Fra Vinther (1990).

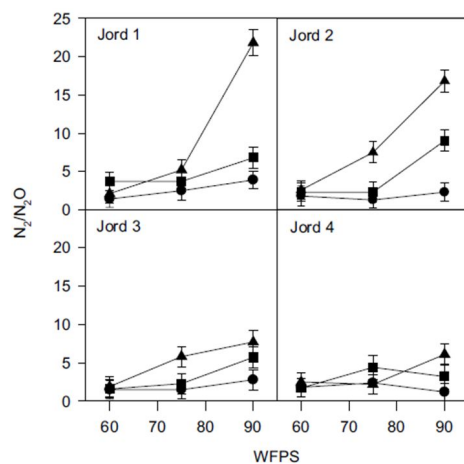
Ciarlo et al. (2007) nævner desuden at produktionen af N_2O peakede umiddelbart efter tilførsel af vand, hvilket kunne tyde på, at overgangen mellem aerobe og anaerobe forhold øger dannelse af N_2O . Forfatterne foreslår, at det kan skyldes påvirkning af dannelsen og reguleringen af de enzymer, som er involveret i N_2O -produktionen.

[Til top](#)

Tilstedeværelse af tilgængeligt kulstof

Kulstof er nødvendigt for at denitrifikationen kan forløbe, så generelt vil tilførsel af organisk stof øge potentialet for denitrifikation. Jo lettere tilgængeligt det tilførte kulstof er, jo nemmere vil processen forløbe og jo mindre en andel af produktet vil blive udledt som N_2O .

Resultaterne i figur 3 viser, at tilsætning af glukose til en jord vil give en kraftig øgning i produktionen af N_2 i forhold til N_2O , specielt hvis jorden også har et forholdsvis højt vandindhold. Den samme tendens ser man af figur 4 (Weier et al. 1993).



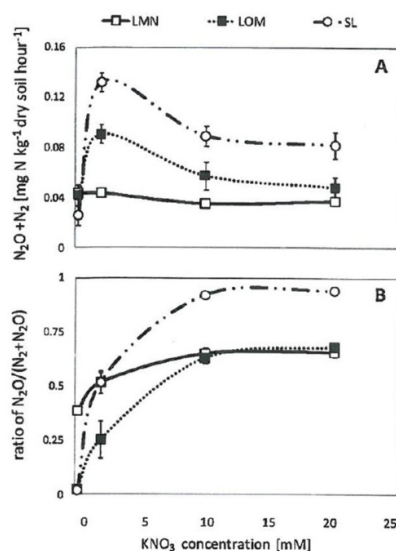
Figur 4. Effekt af glukosetilsetning (●=0 ppm, ■=500 ppm, ▲=1000 ppm) på N_2/N_2O ved stigende vandfyldt porevolumen (WFPS = Water filled pore spaces). Jord 1, 2, 3 og 4 svarer til hhv. JB1-2, JB7-8, JB9 og JB10 ifølge Vinther og Hansen (2004). Resultater fra Weier et al. (1993).

Senbayram et al. (2012) har undersøgt, hvordan organiske materialer med forskellige tilgængeligheder af kulstof påvirker denitrifikationen og udledningen af N_2O . De undersøgte materialer var sukrose (højt tilgængelig kulstof-kilde), majsstrå (moderat tilgængelig) og biogas-rester (majs) (lavt tilgængelig). Det blev fundet, at både denitrifikationsraten og den samlede udledning af N_2O steg ved tilførsel af organisk stof, og at udledningen af N_2O steg med stigende tilgængelighed af det organiske materiale (tabel 3). Der blev i denne del af forsøget ikke målt på udledningen af N_2 , og resultaterne siger derfor ikke noget om udviklingen i forholdet mellem N_2 og N_2O .

Tabel 3. Akkumulerede emissioner af N_2O efter 90 dages inkubation i potter med forskellige organiske materialer. Forskellige bogstaver indikerer signifikant forskellige værdier. Fra Senbayram et al. (2012).

	Kontrol	Biogas-rester	Majsstrå	Sukrose
mg N_2O -N pr. kg tør jord	14,1c	16,3bc	19,9ab	22,5a

Senbayram et al. (2012) har yderligere lavet forsøg, der viser, at en jord med langtids-tilførsel af organisk stof i form af husdyrgødning giver en lavere andel N_2O af den samlede denitrifikation end en jord med langtidstilførsel af uorganisk kvælstof (se figur 5). Samme tendens er blevet vist af Dembreville et al. (2005) for jorde tilført svinegylle. For resultaterne i figur 5 ses dog, at for meget høje nitratkoncentrationer forsvinder forskellen mellem de to jorde. De høje nitratkoncentrationer på 10 og 20 mM KNO_3 er her svarende til hhv. 140 og 280 mg nitrat-N pr. liter, dvs. der er tale om ekstremt høje koncentrationer, idet niveauet i jordvandet typisk vil ligge i intervallet 5-40 mg nitrat-N pr. liter.



Figur 5. Effekt af forskellige nitratkoncentrationer på A) produktionen af N_2O+N_2 og B) forholdet $N_2O/(N_2+N_2O)$ i tre forskellige jorde: LMN, LOM og SL. LMN og LOM er samme jordtype (sandblandet lerjord), hvor LMN har fået tilført uorganisk kvælstof gennem lang tid, mens LOM har fået tilført husdyrgødning. SL er en jord med højere ler- og siltindhold end de øvrige. KNO_3 -koncentrationer på 2 og 10 svarer til hhv. 28 og 140 mg nitrat-N pr. liter. Fra Senbayram et al. (2012).

[Til top](#)

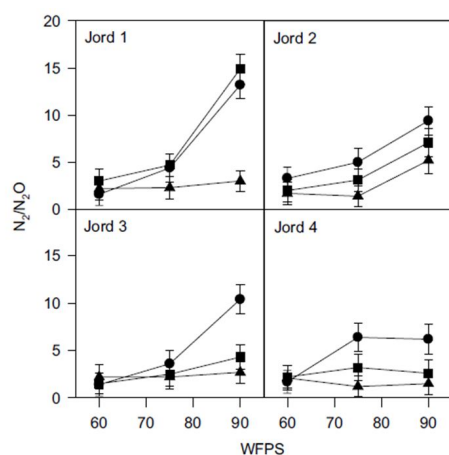
Koncentrationen af nitrat i jorden

Da nitrat er udgangspunktet for denitrifikation, er et vist indhold af nitrat i jorden nødvendigt for at denitrifikationen kan forløbe. Men høje koncentrationer af nitrat i jorden kan betyde at den sidste del af processen, nemlig reduktionen af N_2O til N_2 , inhiberes, hvilket medfører at andelen af dannet N_2O i forhold til N_2 øges.

Senbayram et al. (2012) har, for tre forskellige jorde, vist en stigning i andelen af N_2O med en stigende nitrat-koncentration fra 2,8 mg pr. liter til 280 mg pr. liter. Den samlede denitrifikation (målt som udledning af N_2+N_2O) steg indtil 28 mg nitrat-N pr. liter og faldt derefter frem mod de

højeste koncentrationer (se figur 5).

Også Weier et al. (1993) har vist en større andel N_2O ved stigende nitrat-koncentrationer fra 0 mg pr. liter til 277 mg nitrat-N pr liter (figur 6).

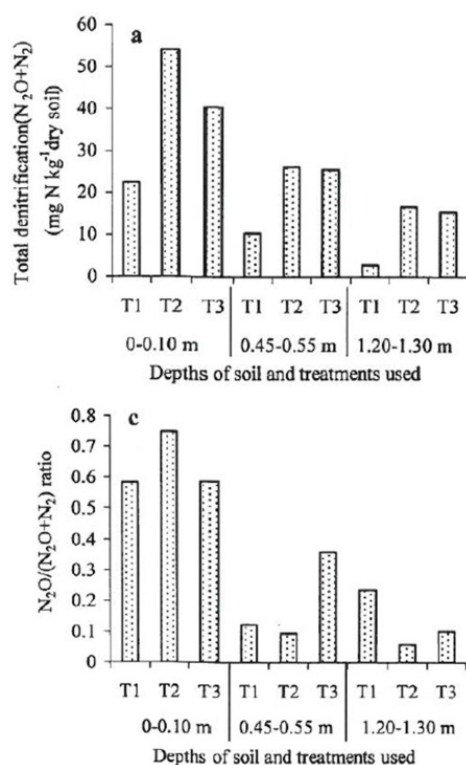


Figur 6. Effekt af NO_3 -N-tilsætning (●=0 ppm, ■=139 ppm, ▲=227 ppm). på N_2/N_2O -forholdet ved stigende vandfyldt porevolumen (WFPS = Water filled pore spaces). Jord 1, 2, 3 og 4 svarer til hhv. JB1-2, JB7-8, JB9 og JB10 ifølge Vinther og Hansen (2004). Fra Weier et al. (1993).

[Til top](#)

Overjord og underjord

På baggrund af et forsøg med jordprofiler fra tre forskellige dybder konkluderer Jahangir et al. (2012), at underjorde har potentiale til en mere komplet denitrifikation, og dermed udledning af en mindre andel N_2O , end overjorde (se figur 7). Den totale denitrifikation var størst i overjorden (A horisont: 0-10 cm), og her udgjorde N_2O -N 60-75 % af denitrifikationsproduktet. I underjorden (C horisont: 120-130 cm) var den totale denitrifikation væsentligt lavere, og N_2O udgjorde kun 5-20 % af denitrifikationsproduktet. Resultater fra forsøget viser også, at tilførsel af kulstof i form af både glukose og DOC-C (opløst organisk kulstof) gav en stor stigning i denitrifikationen i underjorden, samtidig med at andelen af N_2O blev lavere.



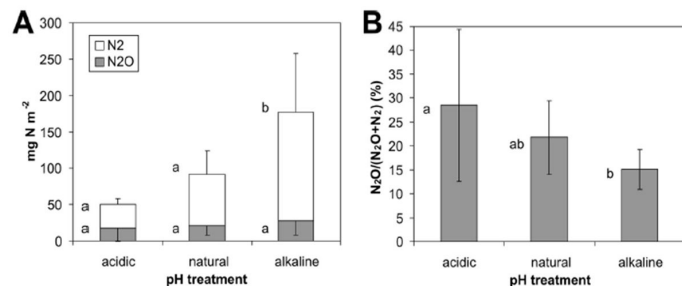
Figur 7. Akkumuleret denitrifikation gennem 17 dages inkubation vist som % tabt N_2O+N_2 af tilført N (øverst) og forholdet $N_2O/(N_2O+N_2)$ (nederst). Vist for forskellige dybder i jorden og for behandlinger T1 (kontrol), T2 (150 mg glukose-C pr. kg) og T3 (150 kg DOC-C pr. kg, DOC=opløst organisk kulstof).

[Til top](#)

Temperatur og pH

Denitrifikationsprocessen vil generelt forløbe mere fuldstændigt, dvs. med lavere andel N_2O , ved højere temperaturer. Dette viser bl.a. forsøg af Vinther (1990) vist i figur 2 og 3.

pH påvirker denitrifikationen således, at lavere pH medfører en større andel N_2O . Resultater af Cuhel et al. (2010) viser, at den samlede denitrifikation falder ved mindsket pH, mens produktionen af N_2O forbliver konstant (figur 8a) og dermed udgør en større andel (figur 8b). Ifølge Vinther og Hansen (2004) vil der ved pH-værdier under 4,5 næsten udelukkende dannes N_2O .



Figur 8. Denitrifikation i jorde med forskellig pH-status (acidic/pH=5,5, natural/pH=6,82 og alkaline/pH=7,76) vist som A) den samlede emission opdelt på hhv. N_2 og N_2O , og B) $N_2O/(N_2O+N_2)$ i %. Resultater fra Cuhel et al. (2010).

[Til top](#)

Jordtyper

Vinther og Hansen (2004) anfører, at andelen af N_2O falder med stigende JB-nr, og angiver at N_2/N_2O -forholdet varierer fra omkring 0 i en JB1-jord til omkring 10 i en JB9-jord. Ifølge de angivelser vil denitrifikationsproduktet udelukkende bestå af N_2O i en grovsandet jord, mens N_2 vil udgøre 10 gange mere end N_2O for denitrifikation i en jord med høj lerindhold. I tabel 4 fremgår estimater for "baggrunds-denitrifikationen" for forskellige jordtyper.

Tabel 4: Baggrunds-denitrifikationen (SimDen-modellen) for forskellige jordtyper, opdelt på N_2O -emission, N_2/N_2O -forhold og samlet denitrifikation. Fra Vinter og Hansen (2004).

	JB 1	JB 2	JB 3	JB 4	JB 5-6	JB 7-8
N_2O -emission, kg N pr. ha pr. år	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,50
N_2/N_2O -forhold	1,3	2,0	3,0	4,5	6,0	7,0
Denitrifikation, kg N pr. ha pr. år	0,3	1,0	2,3	4,5	9,0	17,5

Jorde med højt humusindhold burde, som følge af højt indhold af organisk materiale, have potentiale til en ret fuldstændig denitrifikation og dermed lav andel N_2O . pH i disse jorde kan dog være lav og under 4,5 hvilket kan give den modsatte effekt og dermed en høj andel N_2O .

[Til top](#)

Litteratur

Ciarlo, E. Conti, M., Bartoloni, N og Rubio, G. (2007): The effect of moisture on nitrous oxide emissions from soil and the $N_2O/(N_2O+N_2)$ ration under laboratory conditions. *Biol fertil soils* 43: 675-681.

Dembreville, C., Hénault, C., Bizouard, F., Morvan, T., Chaussod, R. og Germon, J.C. (2006). Compared effects of long-term pig-slurry applications and mineral fertilization on soil denitrification and its end products (N_2O , N_2). *Biol Fertil Soils* 43: 490-500.

Jahangir, M.M.R., Khalil, M.I., Johnston, P., Cardenas, L.M.m Hatch, D.J., Butler, M., Barrett, M., O'flaherty, V., og Richards, K.G. (2012): Denitrification potential in subsoils: A mechanism to reduce nitrate leaching to groundwater. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 12-23.

Senbayram, M., Chen, R., Budai, A., Bakken, L. og Dittert, K. (2012): N_2O emission and the $N_2O/(N_2O+N_2)$ product ration of denitrification as controlled by available carbon substrates and nitrate concentrations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 147, 4-12.

Vinther, F.P. og Hansen, S. (2004): SimDen – en simpel model til kvantificering af N_2O -emission og denitrifikation. DJF rapport Markbrug nr. 104. <http://web.agrsci.dk/difpublikation/difpdf/difma104.pdf>

Weier, K. L., Doran, J. W., Power, J. F. & Walters, D. T. (1993): Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. *Soil Science Society of America Journal* 57, 66-72.

Vinther, F. P. (1990) Temperatur og denitrifikation. *NPo-forskning fra Miljøstyrelsen* Nr. A3,

Miljøministeriet, Miljøstyrelsen, København, p. 48.

Cuhel, J., Simek, M., Laughlin, R.J., Bru, D., Cheneby, D., Watson, C. and Philippot, L. (2010): Insights into the effect of soil pH on N_2O and N_2 emissions and denitrifier community size and activity. *Applied and Environmental Microbiology* 76, s. 1870-1878. <http://www.nitrousoxide.org/docs/Cuhel%202010.pdf>

[Til top](#)