



# FAKTA OM KVÆLSTOF I LANDBRUGET OG VANDMILJØET

## FAKTA OM KVÆLSTOF I LANDBRUGET OG VANDMILJØET

er udgivet af

SEGES

Agro Food Park 15  
DK 8200 Aarhus N

Juni 2017, 1. udgave

FORFATTER

Leif Knudsen

REDAKTØR

Bodil Pedersen

BIDRAGSYDERE

Professor Tommy Dalgaard, Aarhus Universitet  
Professor Jørgen Eivind Olesen, Aarhus Universitet  
Professor Lars Stoumann Jensen, Københavns Universitet  
Faglig direktør Jørgen Evald Jensen, Bæredygtigt Landbrug  
Landskonsulent Søren Kolind Hvid, SEGES  
Specialkonsulent Kristoffer Piil, SEGES  
Landskonsulent Flemming Gertz, SEGES  
Chefkonsulent Carl Åge Pedersen, SEGES  
Afdelingsleder Irene Asta Wiborg, SEGES  
Specialkonsulent Hans S. Østergaard, SEGES

Forsidefoto: Claus Haagenzen

Grafisk design og layout: Marianne Kalriis-Nielsen

Tryk: Stibo

Denne publikation kan bestilles på [netbutikken.seges.dk](http://netbutikken.seges.dk)  
Pjecen kan findes som PDF med kildeangivelser på [LandbrugsInfo.dk](http://LandbrugsInfo.dk)

## SIDE INDHOLD

- 4 Kvælstofkredsløbet – fra jord til vandmiljø
- 6 Fødevarereproduktion påvirker miljøet
- 8 Landbrugets kvælstofregnskab
- 12 Nitrat i drikkevand og grundvand
- 14 Kvælstofs betydning for vandløb, søer og kystvande
- 16 Kvælstof i dyrkningsjorden
- 18 Gødskning med kvælstof i landbruget
- 20 Udvaskning af kvælstof fra planternes rodzone
- 23 Tiltag til reduktion af kvælstofudvaskningen fra landbrugsjorden
- 24 Fjernelse af kvælstof undervejs fra rodzone til kystvande
- 26 Virkemidler uden for dyrkningsfladen
- 28 Landbruget og målsætningerne i vandområdeplanerne

**Se oversigt over kvælstofforbindelser side 31**



Pjecen er udarbejdet  
i forskningsalliancen  
DNMARK

**dNmark**  
research alliance

Udviklingspulje for Plantesektoren har givet støtte til tryk  
og udsendelse af pjecen med LandbrugsAvisen



# *En god debat kræver troværdige fakta*

Landbrugets udledning af kvælstof er et af tidens store debatemner – og har været det de seneste 30 år. Vi ønsker med denne pjece at bidrage med fakta til debatten om kvælstof i landbruget og dets betydning for vandmiljøets tilstand. Problemstillingen er meget kompleks, men vi har gjort vores bedste for at fremstille stoffet, så det giver forståelse og overblik. Uden at gå på kompromis med fakta.

Tabet af kvælstof til vandmiljøet er mere end halveret siden 80'erne som følge af en stor forsknings- og rådgivningsindsats, en politisk regulering og dygtige danske landmænd, der har tilpasset sig nye produktionsvilkår. Prisen for landmændene har i en periode været underforsyning med kvælstof og tab af udbytte og kvalitet. Samtidig er der sket en stor overvågningsindsats, der sammen med forskningen giver et langt bedre vidensgrundlag om kvælstof i landbruget og miljøet og samspillet herimellem.

Men debatten er ikke slut endnu. Myndighedernes fortolkning af EU's vandrammedirektiv afføder yderligere krav til reduktion af landbrugets udledning af kvælstof. Også NEC-direktivet (om gasformige emissioner), er en udfordring for landbrugsproduktionen.

Fakta om kvælstof i landbruget og vandmiljøet er udarbejdet af SEGES i regi af forskningsprojektet DNMARK. En stor tak til bidragsyderne, som har bidraget med værdifulde input og fakta.

I den trykte udgave af pjecen er der kun litteraturhenvisninger på figurer mv. På LandbrugsInfo findes pjecen som pdf, hvor du kan se en oversigt over kilderne.

Troels Toft  
Sektordirektør, Planter  
SEGES



# KVÆLSTOFKREDSLØBET – FRA JORD TIL VANDMILJØ

## Kvælstof tilføres jorden

- når vi gøder med husdyr- og handelsgødning
- når bælgplanter binder kvælstof fra luften
- med nedbør og luft, men kun en lille mængde.

## Kvælstof kan strømme væk fra rodzonen

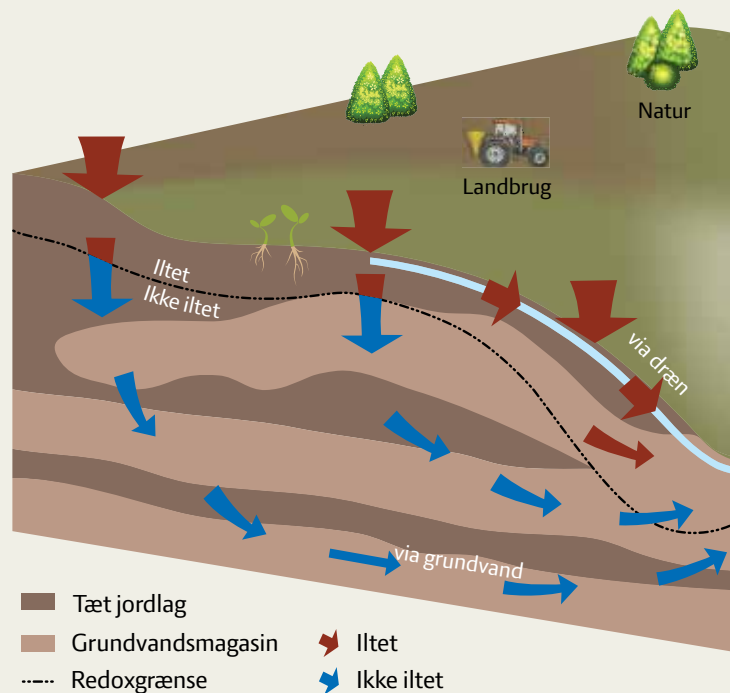
Efterår, vinter og forår sker der en afstrømning af vand fra rodzonen. Det skyldes, at nedbøren er større end fordampningen af vand fra afgrøderne, når temperaturen er lav. Jorden bliver derfor i løbet af efteråret mættet med vand. I jorden er nitrat-kvælstof helt opløseligt i vand, så når vandet strømmer væk fra rodzonen, følger kvælstoffet med. Der kan også være små mængder organisk kvælstof og ammoniumkvælstof i det vand, som forlader rodzonen.

## Vandet har forskellige strømningsveje til vandløbene:

- Via grundvandet
- Via dræn eller grøfter (overfladenær afstrømning)
- Via grundvand, der på lavere liggende arealer "trykkes op" og afstrømmer via dræn eller grøfter
- Via overfladeafstrømning m.v.

## Hvad sker der med kvælstof undervejs til grundvandet?

En del af vandet fra rodzonen strømmer til grundvandsmagasinerne. På sandjord gælder det størstedelen af afstrømningen, mens det på lerjord er en langt mindre del, fordi en stor del afstrømmer via dræn eller grøfter. På vej mod grundvandet fjernes en stor del af nitraten ved denitrifikation, hvis vandet passerer iltfrie jordlag.

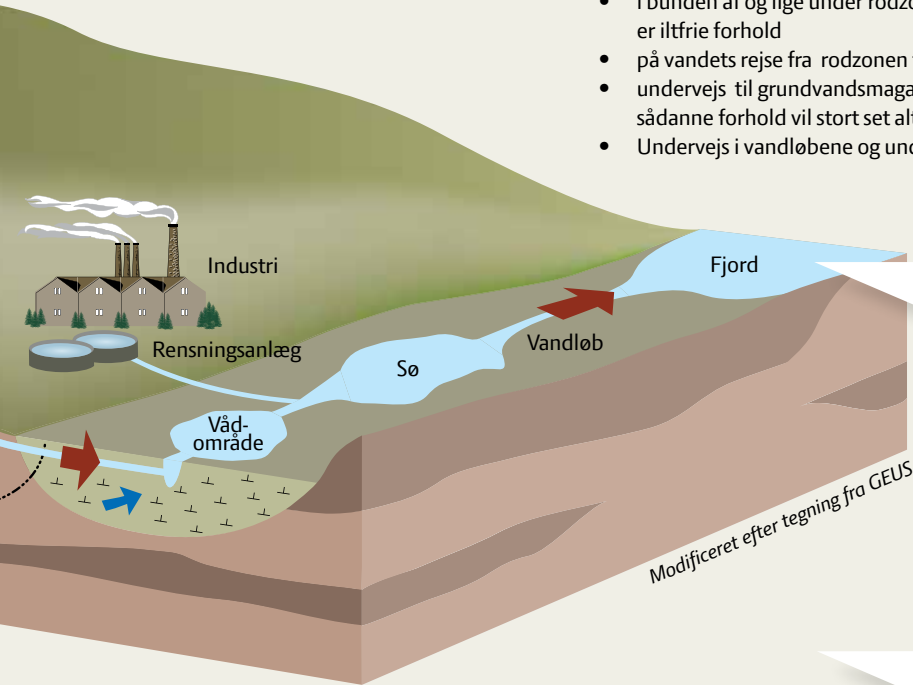


## Nitrat kan omdannes til atmosfærisk kvælstof

Når der er iltfrie forhold til stede i jorden, kan nitrat omdannes til atmosfærisk kvælstof (denitrifikation). Iltfrie forhold optræder typisk ved et højt vandindhold samtidig med, at der er organisk stof, pyrit eller andre reducerende forbindelser til stede. Processen har stor betydning for, hvor meget nitrat der ender i vandløb, fjorde og grundvand.

Nitrat omdannes til atmosfærisk kvælstof

- i bunden af og lige under rodzonen i perioder, når jorden er mættet med vand, og der er iltfrie forhold
- på vandets rejse fra rodzonen til vandløbene
- undervejs til grundvandsmagasinerne, når vandet løber igennem iltfrie jordlag. Under sådanne forhold vil stort set alt nitrat-kvælstof forsvinde, inden det når grundvandet
- Undervejs i vandløbene og under ophold i søer, vådområder og minivådområder.



### Hvad sker der med kvælstof undervejs til kystvandene?

Når vand fra rodzonen når vandløbet, vil det hurtigt ledes ud til kystvandene. Hvis det passerer søer undervejs, forsinkes transporten. I søerne vil der også ske en fjernelse af nitrat-kvælstof, fordi det i sedimentet omdannes til atmosfærisk kvælstof. Også i vandløbene sker der en vis reduktion af nitratkvælstof.

### Ikke alt kvælstof stammer fra markerne

Under vandets transport fra jordoverfladen til vandløb og videre ud i kystvandene ledes der også kvælstof til fra andre kilder, f.eks. fra spredt bebyggelse i det åbne land, der ikke er kloakeret, rensningsanlæg i byerne samt industrien.

### Hvad sker der med kvælstof undervejs til vandløbene?

På sandjord strømmer det meste af vandet til vandløbene via grundvandet. Her er nitratindholdet generelt lavt, fordi meget er fjernet under transporten mod grundvandet. I vandløb på lerjorde kommer en stor del af vandet fra dræn. Det møder sjældent iltfrie forhold, inden det når vandløbet, og her omdannes nitrat kun i begrænset omfang til atmosfærisk kvælstof. Derfor er kvælstofkoncentrationen normalt højere i vandløb i lerjordsoplande end i sandjordsoplande. Hvis drænvandet ledes gennem vådområder eller minivådområder forøges nitratreduktionen, fordi der her opstår iltfrie forhold.

Prøv det  
interaktive kort, og  
se videoer om kvælstof



# FØDEVAREPRODUKTION PÅVIRKER MILJØET

Tilførsel af kvælstof til markerne er en forudsætning for en stor fødevareproduktion. Danmark er et landbrugsland med gode klimatiske forudsætninger for landbrugsproduktion, og vi producerer fødevarer nok til at brødføde tre gange så mange mennesker, som der bor i Danmark. Kvælstof tilføres i form af husdyrgødning og restprodukter fra byerne og industrien samt i handelsgødning. I økologisk landbrug bruger man kun husdyrgødning og restprodukter i tillæg til dyrkning af bælglplanter, der kan fikserer kvælstof fra atmosfæren. Dette er en medvirkende årsag til, at udbytterne på økologisk landbrug er lavere. En stor fødevareproduktion kan ikke ske uden at påvirke det omgivende miljø. Tabet af kvælstof til vandmiljøet vil uundgåeligt være større, end hvis landet lå hen som naturarealer.

Landmanden ønsker, at afgrøden akkurat har så meget kvælstof til rådighed, at han kan høste et højt udbytte af en god kvalitet.

I naturen og i vandmiljøet ønsker vi imidlertid kun den naturlige vækst i planter, herunder planteplankton, som kendetegner en situation, der stort set er upåvirket af tilførsel af kvælstof; f.eks. kvælstof tabt fra landbrugsarealer. Derfor kan der være en konflikt mellem en stor fødevareproduktion og ønsket om et upåvirket miljø.

EU har vedtaget Vandrammedirektivet, hvor der står, at grundvand, vandløb, søer og kystvande skal have en god økologisk tilstand, hvilket betyder, at miljøtilstanden kun må afvige svagt fra naturtilstanden. Det er Vandrammedirektivet, der er udgangspunktet for at fastsætte de grænser for udledning af kvælstof til fjerde mv., der administreres efter i dag.

## Tabet er reduceret markant

Indkøb af kvælstof i form af handelsgødning er en stor omkostning. I kornproduktionen udgør omkostningen til handelsgødningen typisk 10-20 procent af bruttoindtægten. Derfor er landmanden meget interesseret i at forbedre kvælstofudnyttelsen og minimere tabet. Ved godt landmandskab kan tabet af kvælstof reduceres markant. Men på et tidspunkt overstiger omkostningen ved at forbedre kvælstof-

udnyttelsen gevinsten, og en yderligere reduktion i overskuddet af kvælstof vil være en nettoomkostning for landmanden. Dansk landbrug har siden 1980'erne reduceret tabet af kvælstof til vandmiljøet markant. Det er først og fremmest sket ved, at næsten al husdyrgødning i dag udbringes om foråret. Dermed udnyttes husdyrgødningen meget bedre, hvilket har mindsket forbruget af handelsgødning. Tidligere blev halvdelen af husdyrgødningen udbragt om efteråret, hvor kvælstof kunne udvaskes af vinterens overskudsnedbør. En anden væsentlig årsag til den mindre kvælstofudledning i dag er et øget areal med efterafgrøder, vintersæd og plantedække af ukrudt og spildkorn, der optager kvælstof fra jorden om efteråret og derfor giver mindre kvælstoftab.

Men selvom kvælstofudledningen er reduceret markant, vurderede myndighederne i 2012, at 95 procent af vores kystvande ikke lever op til Vandrammedirektivets krav om "god økologisk tilstand".

De danske myndigheder har oversat Vandrammedirektivets biologiske målsætninger til, at kvælstofudledningen skal under en vis grænse for hvert vandområde, hvis målene skal nås. Dette bliver meget vanskeligt for landbruget i mange oplande, med mindre der findes nye innovative løsninger.

## EU'S VANDRAMMEDIREKTIV

Vandrammedirektivet trådte i kraft d. 22. december 2000.

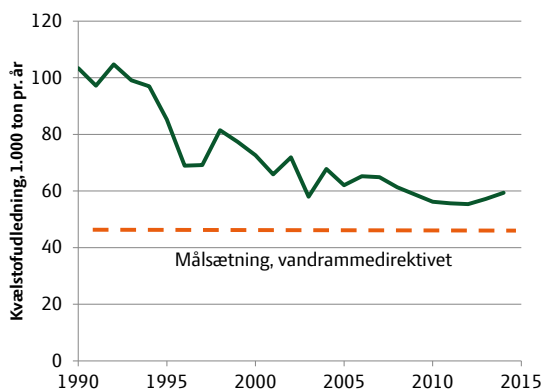
EU's vandrammedirektiv fastlægger rammerne for beskyttelsen af vandløb og søer, overgangsvande (flodmundinger, laguner o.l.), kystvande og grundvand i alle EU-lande.

I Danmark skal alle vandområder opnå god økologisk tilstand.

Indsatsen foregår i tre vandplanperioder:

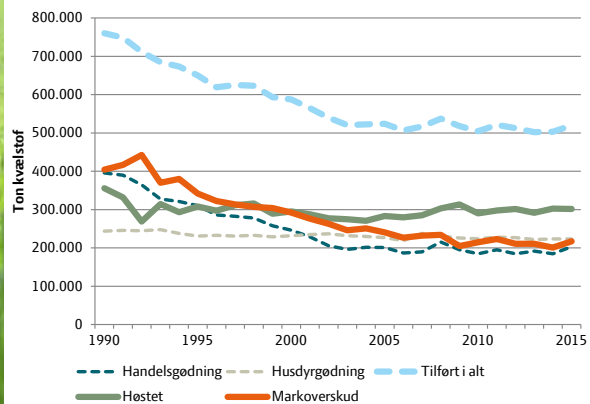
2009-2015, 2015-2021, 2021-2027.

### KVÆLSTOFUDLEDNING TIL KYSTVANDE



**FIGUR 1** Udviklingen i kvælstofudledningen (klimanormaliseret) til kystvandene. Kvælstofudledningen er halveret siden 1980'erne primært på grund af en reduktion i udvaskningen fra landbruget. Data fra DCE.

### KVÆLSTOF I DANSK MARKBRUG



**FIGUR 2** Udvikling i landbrugets kvælstofregnskab. Tilførslen af kvælstof i dansk landbrug er reduceret fra 760.000 ton til 519.000 ton. Reduktionen skyldes først og fremmest et fald i tilførslen af handelsgødning, mens mængden af husdyrgødning er nogenlunde konstant. Kvælstofoverskuddet er reduceret med knap 50 procent i perioden. Data fra Landovervågningsoplande, 2015.

# LANDBRUGETS KVÆLSTOFREGNSKAB

Det er vanskeligt at måle præcist, hvor meget kvælstof der tabes ved fødevarerproduktionen. Men man kan beregne kvælstofoverskuddet i den samlede landbrugsproduktion, dvs. forskellen mellem den mængde kvælstof, der tilføres det samlede landbrug og den mængde kvælstof, der bortføres landbruget. Tilførsel af kvælstof sker med handelsgødning, med importeret foder, bælgplanternes kvælstoffiksering og tilførsel af kvælstof fra atmosfæren med nedbør mv. (deposition). Bortførsel af kvælstof fra landbruget sker med solgte planteprodukter og med kød, mælk og æg.

Det er vigtigt at forstå, at der ikke kan produceres fødevarer uden et vist tab og dermed overskud af kvælstof. Det er også vigtigt at forstå, at en stor del af kvælstofoverskuddet ikke resulterer i et tab, der påvirker miljøet, fordi en stor del fordamper til luften som atmosfærisk frit kvælstof.

## Hvor bliver det overskydende kvælstof af?

Kvælstofoverskuddet ved landbrugsproduktionen fordeler sig på følgende poster:

- Ændring i jordens kvælstofindhold
- Tab ved udvaskning fra landbrugsjorden til vandmiljøet
- Tab ved denitrifikation, hvor kvælstof omdannes fra nitrat til frit atmosfærisk kvælstof
- Tab ved ammoniakfordampning til atmosfæren.

Kvælstofoverskuddet i samfundets kvælstofregnskab tabes først og fremmest i form af frit kvælstof. Denne proces fremmes i byernes og industriens rensningsanlæg. Der sker også en udledning af kvælstof til vandmiljøet fra rensningsanlæg og spredt bebyggelse uden kloakering.



Foto: Landbrug & Fødevarer



### Bedriftsbalancen

Kvælstofoverskuddet i det samlede landbrug inkl. mark og stald udgjorde i 2014 261.000 ton kvælstof eller 99 kg pr. ha landbrugsjord. Kvælstofoverskuddet i landbruget er reduceret med 193.000 ton kvælstof siden 1990. Kvælstofudnyttelsen dvs. fraført i forhold til tilført kvælstof er forbedret fra 32 til 43 procent.

**TABEL 1 Hele landbrugets kvælstofbalance (bedriftsbalancen)**

	1990	2014	1990	2014
	1.000 ton kvælstof		Kg N pr. ha	
Tilførsel	666	455	240	173
Fraførsel	213	194	77	74
Overskud	454	261	164	99
Kvælstofudnyttelse, procent	32	43		

Der er anvendt et gennemsnit for 1989-91 og 2013-15.

### Markernes kvælstofbalance

Kvælstofoverskuddet gøres også op for marken alene. Forskellen fra bedriftsbalancen er, at markbalancen alene udtrykker forskellen mellem tilført og fraført kvælstof i marken. I markbalancen indgår tilført husdyrgødning, der overføres fra stalden og i fraførslen indgår tilsvarende afgrøder, der opfodres i stalden. I markbalancen såvel som bedriftsbalancen indgår indkøbt handelsgødning og en beregnet kvæstoffiksering fra atmosfæren. Markbalancen viser samme udvikling som bedriftsbalancen. Kvælstofudnyttelsen i marken er forbedret væsentligt siden 1990 og udgør nu 59 procent.

**TABEL 2 Markbalancen for dansk landbrug**

	1990	2014	1990	2014
	1.000 ton kvælstof		Kg N pr. ha	
Tilførsel	746	508	269	193
Fraførsel	344	299	124	113
Overskud	399	210	144	80
Kvælstofudnyttelse, procent	46	59		

Der er anvendt et gennemsnit for 1989-91 og 2013-15.

### Samfundets kvælstofbalance

Kvælstofbalancen uden for landbruget opgøres ikke årligt på samme måde som for landbruget. Værdierne er derfor mere usikre end landbrugets balance. Tilførsel af kvælstof sker i form af planter og animalske produkter fra landbruget, der anvendes til konsum, energi eller industrielle formål. Tilførsel sker også i fisk. I balancen indgår ikke import af kvælstof i andre produkter end fødevarer. Fraførsel sker ved tilbageførsel af kvælstof til landbruget. I forhold til i landbruget er udnyttelsen af kvælstof lav. Det skyldes den meget lave andel af kvælstof i restprodukter inkl. slam, som tilbageføres. Spildevandsanlæg er indrettet til at fjerne kvælstof ved denitrifikation frem for at tilbageføre det til landbruget. Kvælstofoverskuddet er 90.000 ton pr. år. Dertil kommer et tab af kvælstof i NO<sub>x</sub> til atmosfæren fra forbrænding i motorer og ved varmeproduktion på 35.000 ton N.

**TABEL 3 Samfundets kvælstofbalance**

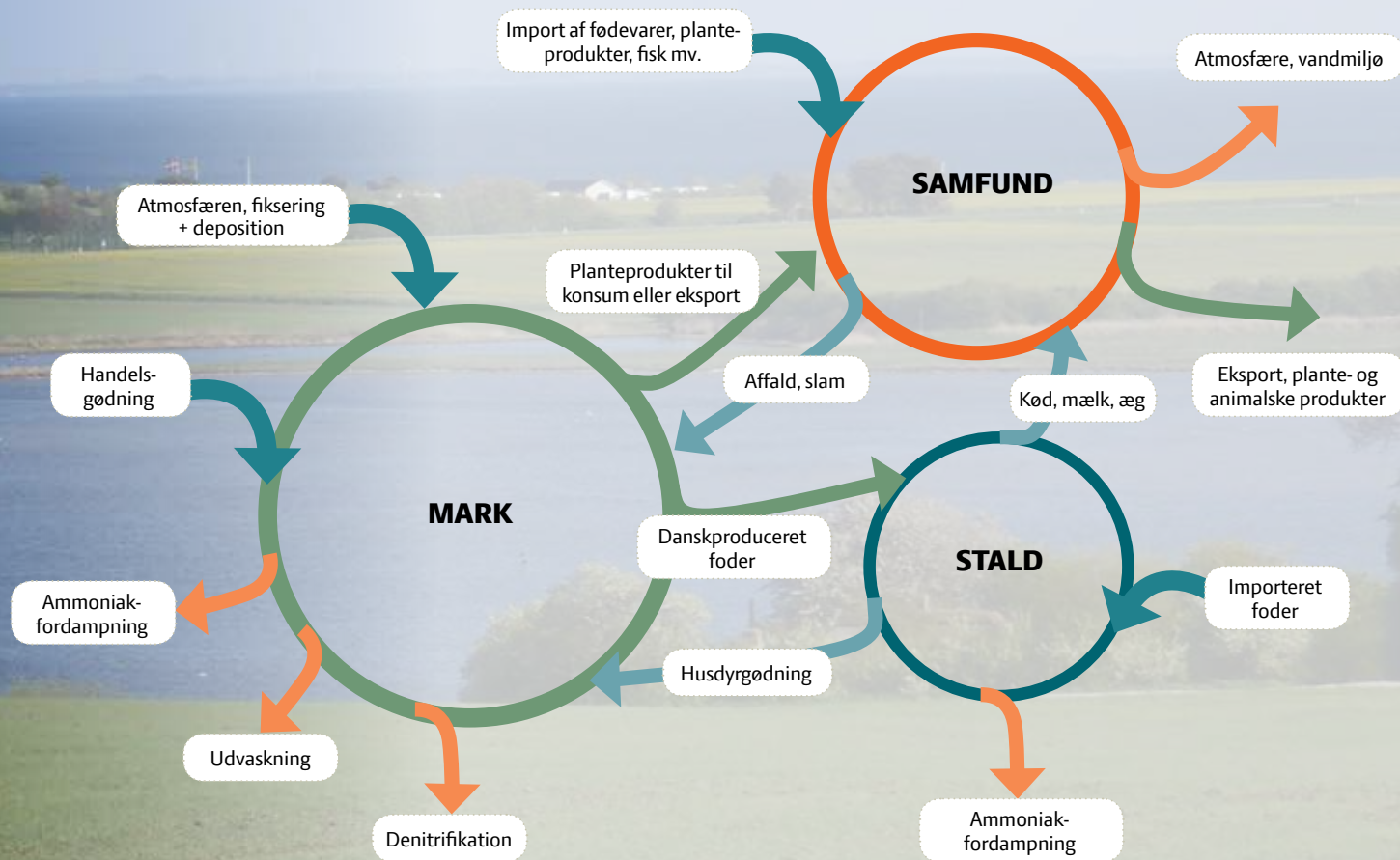
	1.000 ton kvælstof
Nettotilførsel med landbrugsprodukter, fisk mv.	139
Nettobortførsel (tilbageført til landbrug)	49
Overskud	90
Kvælstofudnyttelse, procent	35

Data fra Aarhus Universitet. Nettotilførsel og -bortførsel fremkommer ved at fratække eksport af kvælstof fra samlet tilførsel og -bortførsel.

# Det store kvælstof- kredsløb

## ÅRSAGER TIL FORBEDRET KVÆLSTOFUDNYTTELSE I LANDBRUGET SIDEN 1990

- Bedre udnyttelse af husdyrgødning i marken
- Forbedring af dyrenes udnyttelse af kvælstof i foder
- Mindre tab fra stalde og lagre
- Mere præcis fastsættelse af afgrødernes kvælstofbehov
- Bedre teknologi til udspreddning af handels- og husdyrgødning
- Bedre sorter og dyrkningsteknik generelt, herunder efterafgrøder og øget plantedække om efteråret.



# NITRAT I DRILLEKVVAND OG GRUNNVAND

Danmarks og EU's højst tilladelige grænse for nitratindhold i grundvand og drikkevand er 50 mg nitrat pr. liter (svarende til 11,3 mg nitrat-kvælstof). Denne værdi er på linje med WHO's vejledende værdi. Grænseværdien i drikkevand er fastsat for at undgå akutte sundhedseffekter hos børn ("blå børn").

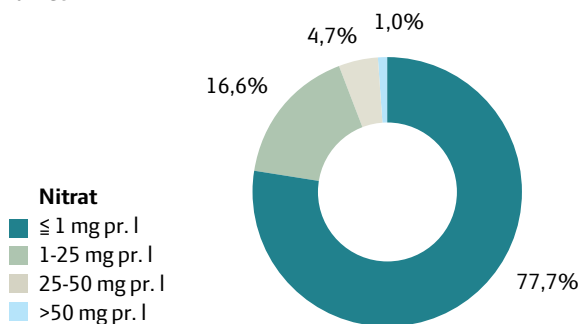
Undersøgelser peger på, at der kan være en sammenhæng mellem nitrat i drikkevandet og kroniske sundhedseffekter som kræft. En stor del af vores samlede nitratindtag kommer fra fødevarer, specielt grønsager. Her er effekten af nitrat dog sandsynligvis mindre på grund af vitaminer, der forhindrer omdannelsen til kræftfremkaldende stoffer.

Drikkevandsboringer med over 50 mg nitrat pr. liter lukkes af myndighederne, hvis ikke problemet kan løses.

## Nitratindholdet i drikkevand

Op mod 80 procent af de almene vandværker indvinder vand fra boringer, hvor vandet er nitratfrit. Kun i 1 procent af boringerne overskrides grænseværdien på 50 mg nitrat pr. liter.

Den store andel af nitratfrit drikkevand skyldes, at vandet indvindes fra en dybde, hvor der er iltfrie forhold, og hvor nitrat under transporten fra rodzonen er reduceret til atmosfærisk kvælstof. Det skyldes også, at vandværkerne undgår at indvinde nitratholdigt grundvand, for eksempel er boringer med et højt nitratindhold lukket.



**FIGUR 3** Fordeling af nitrat i drikkevandsboringer. Fra Grundvandsovervågning 2015, GEUS

## Beskyttelse af drikkevand

Selvom der ikke generelt er problemer med nitrat-indholdet i drikkevand, kan der være højt nitratindhold i nogle områder. Det gælder specielt i det såkaldte nitratbælte, som hovedsageligt strækker sig fra Himmerland ned over Djursland. Det skyldes, at kalk i undergrunden når helt op til dyrkningslaget. I kalklaget løber vandet i sprækker og reduktionen af nitrat er begrænset. Problemer med nitrat forekommer også lokalt andre steder i landet.

Kvaliteten af det fremtidige drikkevand beskyttes af lovgivningen. Kommunerne skal udarbejde indsatsplaner for at beskytte grundvandet i de områder, som staten har kortlagt som følsomme indvindingsområder og indsatsområder. Udviklingen i grundvandets nitratindhold følges løbende, og der er en bred vifte af tiltag, der kan iværksættes, hvis der er et dokumenteret behov herfor. Indsatserne går lige fra at følge udviklingen og først sætte ind, hvis der er tegn på forurening til at etablere skov i større eller mindre dele af indvindingsområder.

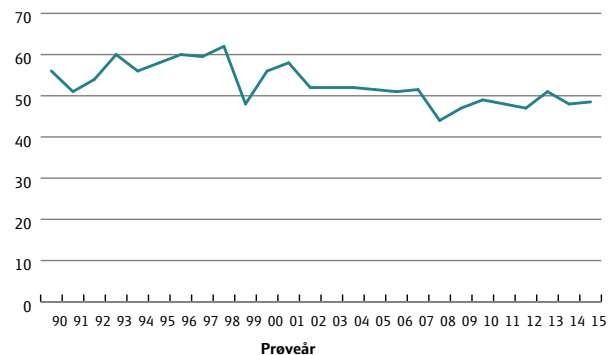
### Nitratindholdet i overvågningsboringer

Udover måling af nitratindholdet i vandværksboringer bestemmes nitratkoncentrationen også i en række overvågningsboringer. Her måles nitratkoncentrationen i mange forskellige dybder helt op til kun godt 1 meter under jordoverfladen. Ca. 45 procent af de filtre, hvor målingerne foretages, er placeret i iltholdigt grundvand, dvs. hvor nitraten ikke er reduceret.

I overvågningsboringerne har omkring 20 procent af filtrene et nitratindhold over grænseværdien på 50 mg pr. l. Ser man kun på prøver udtaget i de iltholdige filtre viser 40 procent af målingerne et nitratindhold over 50 mg pr. l. Når andelen er større end i drikkevandsboringerne, skyldes det, at flere af prøverne udtages tættere på jordoverfladen, hvorfra der sjældent indvindes drikkevand.

Udviklingen i nitratindholdet i det iltede grundvand siger ikke direkte noget om kvaliteten af drikkevand. Nitraten vil ofte forsvinde under passage gennem iltfrie jordlag, før vandet når ned i den dybde, hvor drikkevandet indvindes fra. Disse prøver kan derimod bruges til at vurdere, hvordan landbrugsdriften over årene har påvirket indholdet i det nydannede grundvand. Man skal dog være opmærksom på, at det meste af det iltede grundvand, som man måler på i dag, er dannet for 10-25 år siden. Nitratindholdet er generelt faldet over årene og ligger i det iltede grundvand gennemsnitlig på lidt under 50 mg nitrat pr. liter for 2015.

Nitrat (mg pr. l)



**FIGUR 4** Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i grundvandsovervågningen (GRUMO). Modificeret fra Grundvands-  
overvågning 2015, GEUS.



*Kvaliteten af det fremtidige drikkevand beskyttes af lovgivningen, og udviklingen i grundvandsnitratindhold følges løbende.*

# KVÆLSTOFS BETYDNING FOR VANDLØB, SØER OG KYSTVANDE

## Vandløb og søer

For vandløbenes miljøtilstand er kvælstoftilførslen og -koncentrationen kun af mindre betydning. Her er vandløbets fysiske rammer afgørende, dvs. om vandløbet er udrettet, oprenset eller skåret fri for grøde. Tilførsel af organisk materiale med f.eks. spildevand har også en negativ indflydelse.

I langt de fleste søer er fosfor det begrænsende næringsstof for algevæksten, og dermed har kvælstof kun mindre betydning. I ferskvand og vand med lav saltholdighed kan blågrønalger ligesom bælgplanter på marken fikserer kvælstof fra atmosfæren og kan medføre en opblomstring af giftige alger. Betydningen af kvælstoffikseringen tillægges dog kun mindre betydning. I meget næringsfattige søer såsom lobeliesøer kan kvælstof dog være det begrænsende næringsstof. Her kan kvælstofudledninger således påvirke miljøtilstanden.

**ILTSVIND** optræder i kystvandene ved kombinationen af kraftig algevækst og varmt og stille vejr og sker oftest i sensommeren.

Kraftig algevækst i forsommeren betyder, at mange døde alger synker ned på bunden og rådner. Denne omsætning kræver ilt, der kommer fra vandet. Hvis vejret samtidig er stille og varmt, sker der en lagdeling af vandet. Ilten har svært ved at passere fra det lettere mere ferske overfladelag til det tungere mere salte bundvand. Det betyder, at bundvandet tømmes for ilt. Ved under 4 mg ilt pr. liter betegner man det som iltsvind og ved under 2 mg pr. liter som kraftigt iltsvind. I yderste konsekvens frigøres svovlbrinte fra bunden, og der sker en "bundvending", der dræber planter og fisk.

Der har altid forekommet iltsvind i en vis udstrækning – selv for hundreder af år siden. Opfattelsen er, at de udbredte hændelser med iltsvind i 80'erne og 90'erne i danske farvande skyldtes øgede tilførsler af kvælstof og fosfor kombineret med perioder med varmt og stille vejr i sensommeren og først på efteråret.

## Kystvande

Ifølge Vandrammedirektivet fastlægges miljøtilstanden i danske kystvande ud fra

- planteplankton, dvs. alger
- havgræsser
- bundfauna.

I Danmark har myndighederne besluttet at anvende klorofylkoncentrationen som udtryk for algevækst, og dybdegrænsen for ålegræs anvendes som udtryk for havgræssers tæthed. Udbredelsen af ålegræs afhænger af vandets klarhed (sigtdybden). Om foråret, når temperaturen og lysindstrålingen stiger, begynder algerne at vokse. Jo kraftigere algevækst, jo mere skygger algerne for lys ned til bunden, og det kan gå ud over væksten af ålegræs. I visse tilfælde kan algevæksten være så kraftig, at det udløser iltsvind.



Billedet viser kraftigt iltsvind, hvor bunden er dækket af svovlbakterier.  
Foto: Peter Bondo Christensen, Aarhus Universitet

### KVÆLSTOF ER EN AF FLERE FAKTORER

Der er mange andre faktorer end vores tilførsel af kvælstof fra land, der påvirker tilstanden i vandmiljøet.

- Tilførsel af kvælstof fra udenlandske kilder bortset fra i de indre fjorde
- Frigivelse af næringsstoffer fra sedimentet i bunden fra tidligere tiders udledning
- Fiskeri, råstofindvinding, klapning og udgravning af sejlerender
- Fysisk stress, idet det tager mange år for f.eks. ålegræs at reetablere sig trods lave næringsstoffilførsler.

Samlet betyder disse faktorer, at tilstanden i vandmiljøet ikke umiddelbart vender tilbage til den oprindelige, selvom næringsstoffilførslen reduceres til et niveau svarende til kun en svag påvirkning af menneskelig aktivitet.

Både fosfor og kvælstof kan være det begrænsende næringsstof for algevæksten. Om foråret er fosfor typisk det begrænsende næringsstof, mens det er kvælstof om sommeren.

### Betydningen af den danske udledning

Kystvandet strækker sig fra de inderste fjorde, hvor vandet er meget påvirket af afstrømningen fra land og til åbne farvande, hvor bidraget fra Danmark overskygges af tilførsler fra andre lande. Totalt set angives, at ned til 7 procent af kvælstoffet i danske farvande stammer fra Danmark.

Udledningen af kvælstof fra Danmark påvirker derfor kun vandmiljøet på et begrænset areal. Men en stor del af afstrømningen af ferskvand sker gennem fjorde, hvor det danske bidrag særligt i de indre fjorde har betydning.

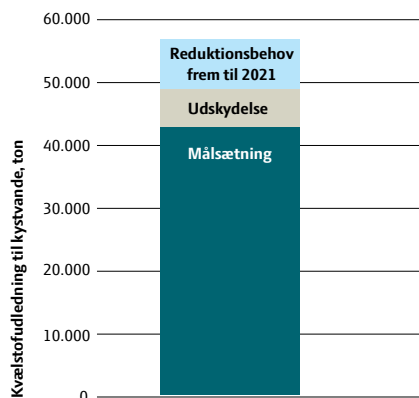
### Målsætninger for vandmiljøet

I forbindelse med EU's Vandrammedirektiv har myndighederne i Danmark udarbejdet handlingsplaner for, hvordan der kan opnås god økologisk tilstand i vandmiljøet. Med god økologisk tilstand

menes en tilstand, der kun afviger "svagt" fra en tilstand påvirket af menneskelig aktivitet, målt på de tre parametre fytoplankton, havgræsser og bunddyr.

Med modelsystemer har myndighederne beregnet, hvor meget kvælstofudledningen skal reduceres for at opnå den krævede gode økologiske tilstand. Dette er gjort for de 119 kystvandsoplande i Danmark. For en række fjorde er der dog anvendt meget simple modeller.

Der er en betydelig usikkerhed på sådanne beregninger, fordi tilstanden af vandmiljøet er afhængig af langt flere faktorer end tilledningen af kvælstof. Modelarbejdet kritiseres kraftigt, og regeringen har i forbindelse med Fødevarer- og landbrugspakken (december 2015) besluttet, at der skal foretages en international evaluering af kvælstofmodellerne med inddragelse af udenlandske forskningsinstitutioner.



**FIGUR 5** Reduktionsbehovet i kvælstofudledning er vist i forhold til den målte kvælstofudledning fra 2010-2014. Udskydelsen udtrykker den del af kvælstofindsatsen, der foreløbig er udskudt til 3. vandplanperiode. Der er dog store forskelle fra opland til opland. Se side 30.

# KVÆLSTOF I DYRKNINGSJORDEN

Det er primært fra jorden, at planterne optager kvælstof. Og det er fra jorden, at kvælstof kan tabes til vandmiljøet ved udvaskning. Derfor er det vigtigt at forstå, hvordan kvælstof opfører sig i jorden. Omsætning af kvælstof i jord udføres først og fremmest af levende organismer i jorden – bakterier, svampe, mikrofauna mv.

Langt hovedparten af kvælstof i jord er bundet som organisk kvælstof i mere eller mindre omsatte planterester (herunder humus). Jorden indeholder typisk pr. ha 3.500-12.000 kg organisk kvælstof (0,10 -0,40 procent) i de øverste 25 cm og en tilsvarende mængde i 25-100 cm's dybde. Organisk kvælstof tilføres jorden som rødder og planterester fra afgrøderne, men kan også tilføres med husdyrgødning, restprodukter mv. Organisk kvælstof er ikke opløseligt i vand og tabes derfor kun i mindre omfang ved udvaskning. I dræn og vandløb udgør organisk bundet kvælstof typisk under 10 procent af den totale kvælstofkoncentration i vandet. Resten er nitrat.

Organisk kvælstof omsættes (*mineraliseres*), hvorved der dannes *ammonium-kvælstof* ( $NH_4^+$ ). Mineraliseringen udføres af bakterier i jorden, der udnytter det organiske stof i jorden som fødekilde. Mineraliseringen er meget temperaturafhængig, men foregår med lav hastighed helt ned til 0°C. Kun en lille del af det organiske kvælstof

mineraliseres hvert år. I det første år efter tilførsel af planterester eller husdyrgødning er omsætningen høj, med den falder hurtigt og efter to år er den nede på et lavt niveau, og selv efter 100 år er ikke alt nedbrudt.

*Ammonium*, som dannes ved mineralisering af organisk stof eller tilføres i form af handels- eller husdyrgødning, kan optages og udnyttes af planterne. Ammonium er positivt ladet og binder sig derfor let til ler- og humuspartikler i jorden. Derfor transporteres ammonium kun i ringe grad med overskydende nedbør ned gennem jorden og udvaskes.

Nitrat dannes ved, at ammonium i jorden omdannes (*nitrificeres*) hurtigt i jorden til *nitrat-kvælstof* ( $NO_3^-$ ). Nitrifikationen udføres af bakterier og forløber meget hurtigt ved sommer-temperaturer, hvor en fuld omsætning kan ske på få dage til uger. Om vinteren sker processen væsentligt langsommere og tager uger til måneder. Ved nitrifikationen sker der et lille tab af kvælstof i form af *lattergas* ( $N_2O$ ). Ved nitrifikationen sker også en forsuring af jorden. Nitrat tilføres

**TABEL 5** Typiske værdier for kvælstof i jord

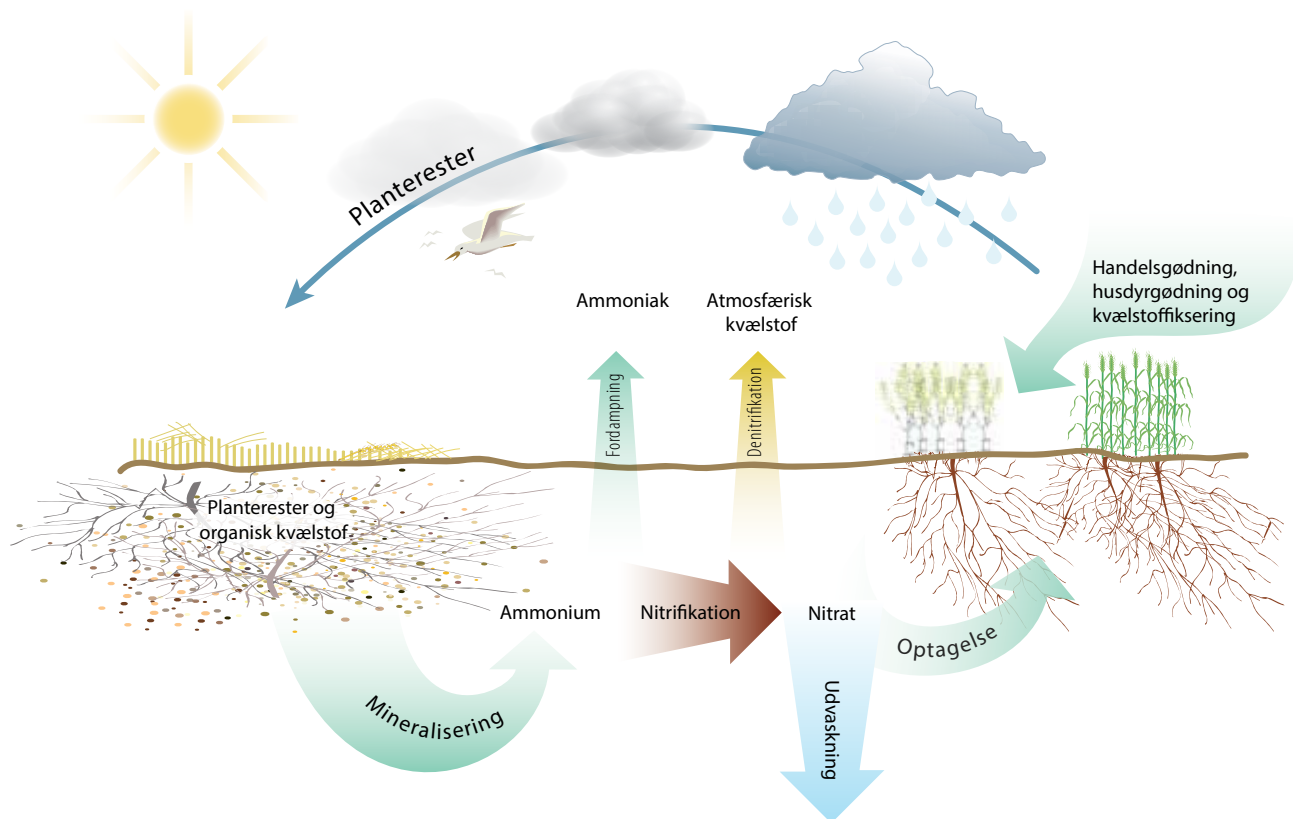
	Kg pr. ha
Indhold af organisk kvælstof: 0-25 cm	3.500-12.000
Indhold af organisk kvælstof: 25-100 cm	3.500-12.000
Indhold af ammonium i jord	5-30
Indhold af nitrat i jord	10-100
Tilførsel af kvælstof i handelsgødning pr. år	0-250
Tilførsel af kvælstof i husdyrgødning pr. år	0-230
Tilførsel af kvælstof i planterester pr. år	40-160
Frigivelse af organisk kvælstof pr. år	75-250
Optagelse af kvælstof i afgrøde pr. år	50-200
Tab af kvælstof ved denitrifikation pr. år	0-50
Tab af kvælstof ved udvaskning pr. år	5-150



En stor del af husdyrgødningen omsættes det første år.  
Foto: Torkild S. Birkmose



**FIGUR 6** Omsætning af kvælstof i rodzonen



også jorden direkte i form af handelsgødning og udgør sammen med ammonium langt hovedparten af plantens kvælstofforsyning. Nitrat er letopløselig i vand og negativt ladet og binder sig derfor ikke til ler- eller humuspartikler. Nitrat transporteres derfor med jordvandet, og kan udvaskes i perioder med overskudsnedbør.

Nitrat kan også tabes til atmosfæren ved denitrifikation, hvor nitrat omdannes til *atmosfærisk kvælstof* ( $N_2$ ) og en lille andel til *lattergas* ( $N_2O$ ). Denitrifikation er en vigtig proces, der finder sted både i rodzonen, lige under rodzonen og forskellige steder under transporten af kvælstof fra rodzonen til kystvande. Kvælstof tabt som frit

kvælstof ( $N_2$ ) skader ikke miljøet. Lattergas er derimod en klimagas, der bidrager til den globale opvarmning. Desuden er lattergas den væsentligste kilde til nedbrydning af jordens ozonlag. I rodzonen er der typisk tale om en biologisk denitrifikation, hvor visse bakterier under iltfrie forhold udnytter nitrat som oxidationsmiddel ved omsætning af organisk stof. Denitrifikation sker derfor i perioder, hvor jorden eller lerknolde i jorden er mættet med vand. I år med store nedbørsmængder i april-maj efter udspredding af gødning, kan denitrifikation specielt på lerjord føre til betydelige tab af kvælstof. Det samme kan ske ved nedpløjning af store mængder grøn plantemasse, f.eks. græs og efterafgrøder.

# GØDSKNING MED KVÆLSTOF I LANDBRUGET

For at landmanden kan høste et højt udbytte af god kvalitet, er det nødvendigt at gøde med kvælstof. Kvælstof kan tilføres i form af handelsgødning, der produceres kemisk ud fra kvælstof i atmosfæren. Eller i form af kvælstof i husdyrgødning, slam eller andre restprodukter fra byer og industrier. Bælgplanter som f.eks. ærter og kløver kan i samspil med bakterier i deres rødder optage og omdanne frit kvælstof fra atmosfæren, og derfor er det ikke nødvendigt at gøde med kvælstof.

Landmanden ønsker at tilføre den kvælstofmængde til marken, som giver den største indtjening såvel på kort som på lang sigt. Hvert år udarbejdes en detaljeret mark- og gødningsplan, der viser, hvor meget kvælstof der skal tilføres i den enkelte mark. Samtidig udarbejdes et obligatorisk gødningsregnskab over bedriftens forbrug i det forløbne høstår, som skal stemme med de lovpligtige kvælstofnormer.

Ud fra de mange forsøg, som SEGES i en årrække har udført i forskellige afgrøder, kan der fastlægges standardværdier for kvælstofbehovet. Men variationen mellem markerne er stor. Det totale kvælstofbehov afhænger af udbyttene i marken. Jo højere udbytte, jo mere kvælstof skal afgrøden optage, og jo større er kvælstofbehovet. Behovet for at tilføre kvælstof skal også korrigeres for, hvor meget kvælstof jorden selv kan stille til rådighed for afgrøden. Det varierer meget og afhænger af afgrøden det foregående år (forfrugten) og tilførslen af organisk kvælstof til jorden fra husdyrgødning og plantester i en årrække forud.

Landmanden får udarbejdet gødningsplaner i programmer, som beregner behovet for kvælstof ud fra detaljerede oplysninger om dyrkning af marken i årene forud. Fastsættelse af kvælstofbehovet kan gøres mere præcist ved at benytte sig af målinger. Jordens indhold af plantetilgængeligt kvælstof (N-min) i rodzonen kan bestemmes ved målinger om foråret til 0,5-1,0 meters dybde. Man kan også få viden om, hvor meget kvælstof jorden kan frigive ved at måle indholdet af organisk kvælstof i pløjelaget.

Med sensorer, der måler planternes refleksion af lys, kan afgrødens aktuelle optagelse af kvælstof bestemmes. Der findes både hånd-

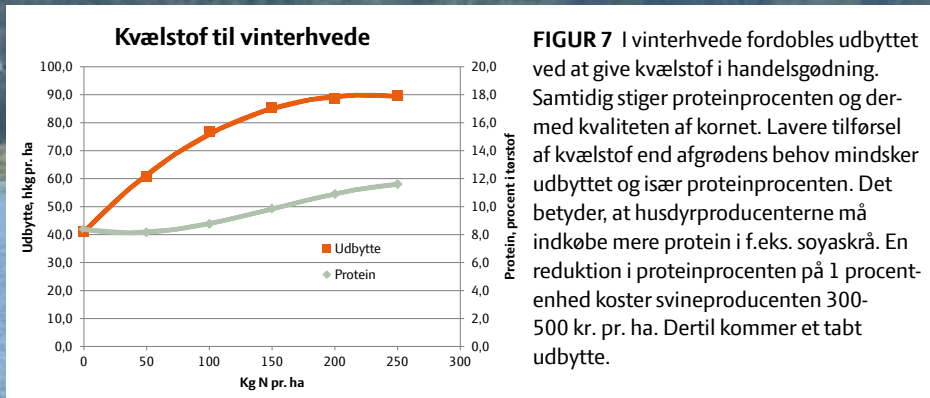
holdte, traktor- og dronemonterede sensorer. Målinger foretages også fra satellit. Sådanne data kombineret med viden om jordbundsforholdene i marken anvendes til at gødske positionsbestemt. Det betyder, at hele marken ikke får samme mængde gødning, men felter i marken gødes efter planternes behov i netop det felt. Der udarbejdes et elektronisk tildelingskort, som gødningssprederen kan læse og dosere efter.

## Tilførsel af gødning

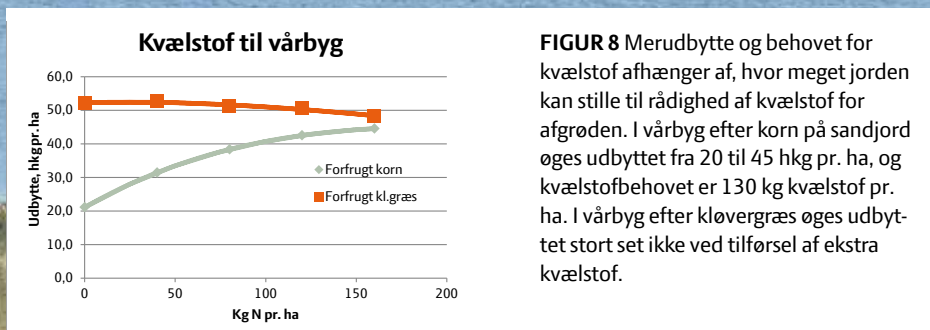
Når landmanden udarbejder gødningsplanen, fordeler han først husdyrgødning og restprodukter. Er der behov for mere gødning, køber han handelsgødning. Husdyrgødning består af ammoniumkvælstof, som afgrøden nemt kan optage og af organisk kvælstof, der først skal omsættes, før det er tilgængeligt. Derfor er effekten af kvælstof i handelsgødning større end effekten af kvælstof i husdyrgødning, også selvom husdyrgødning har en eftervirkning i de følgende år. Desuden sker der et lidt større tab af kvælstof ved ammoniakfordampning og denitrifikation fra husdyrgødning end fra handelsgødning. Udnyttelsesprocenten af kvælstof i husdyrgødning i forhold til handelsgødning varierer fra ca. 45 procent i dybstrøelse, hvor andelen af organisk kvælstof er stor, til 75 procent i svinegylle, hvor 70 procent af kvælstof er på ammoniumform.

Både husdyr- og handelsgødning skal udsprede, lige før afgrøden har brug for det. Det vil i de fleste afgrøder sige om foråret. For græs og visse grøntsager, hvor der høstes flere gange i løbet af året, fordeles gødningen i løbet af sommeren. I dag spredes flydende husdyrgødning kun om efteråret til græs og vinterraps, der har en stor kvælstofoptagelse i efterårsperioden.

I økologisk jordbrug må kvælstof kun tilføres i husdyrgødning og i visse godkendte restprodukter. Derfor bruger man i økologisk jordbrug i højere grad bælgplanter, som kan opsamle atmosfærens kvælstof. Bælgplanter, herunder navnlig kløvergræs har en god kvælstofvirkning på den efterfølgende afgrøde (forfrugtsvirkning).



**FIGUR 7** I vinterhvede fordobles udbyttet ved at give kvælstof i handelsgødning. Samtidig stiger proteinprocenten og dermed kvaliteten af kornet. Lavere tilførsel af kvælstof end afgrødens behov mindsker udbyttet og især proteinprocenten. Det betyder, at husdyrproducenterne må indkøbe mere protein i f.eks. soyaskrå. En reduktion i proteinprocenten på 1 procentenhed koster svineproducenten 300-500 kr. pr. ha. Dertil kommer et tabt udbytte.



**FIGUR 8** Merudbytte og behovet for kvælstof afhænger af, hvor meget jorden kan stille til rådighed af kvælstof for afgrøden. I vårbyg efter korn på sandjord øges udbyttet fra 20 til 45 hkg pr. ha, og kvælstofbehovet er 130 kg kvælstof pr. ha. I vårbyg efter kløvergræs øges udbyttet stort set ikke ved tilførsel af ekstra kvælstof.

Foto: LandbrugsMedierne

# UDVASKNING AF KVÆLSTOF FRA PLANTERNES RODZONE

Udvaskningen af kvælstof fra rodzonen sker primært i form af nitrat, der er opløst i jordvandet og derfor følger med jordvandet ud af rodzonen. Udvaskningens størrelse bestemmes derfor både af mængden af afstrømmende vand og af nitratkoncentrationen i vandet.

Om foråret begynder jorden at tørre ud, og afstrømningen af vand til grundvand og dræn stopper. Indholdet af nitrat og ammonium øges i jorden ved at tilføre gødning i en mængde, der er tilstrækkelig til at forsyne afgrøden. Koncentrationen af nitrat bliver derfor høj, men da der ikke sker nogen afstrømning af vand, giver det ikke anledning til udvaskning. I sommerhalvåret optager afgrøden det meste af jordens nitrat, og derfor er indholdet af nitrat i jorden lavt ved høst i juli-september.

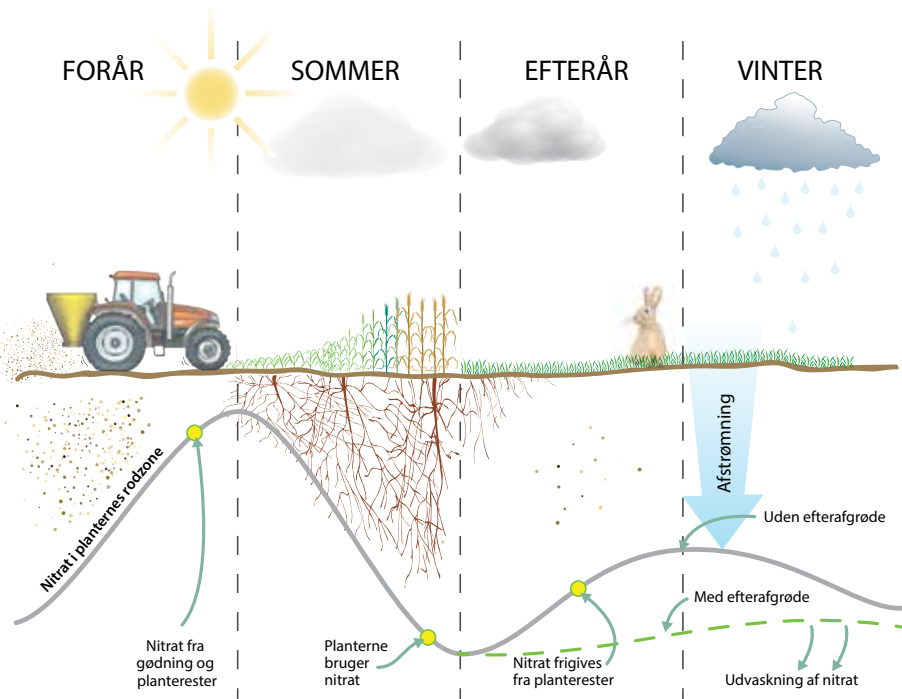
Hvis en mark er ubevokset om efteråret, stiger nitratindholdet i jorden som følge af omsætning af organisk stof. Vokser der en afgrøde

på marken med en stor optagelse af kvælstof, vil nitratindholdet forblive på et lavt niveau. Fra oktober mætter nedbøren jorden med vand, og så begynder afstrømningen, som fortsætter frem til foråret. Langt hovedparten af afstrømningen og dermed udvaskningen af kvælstof foregår derfor i efterårs- og vinterperioden.

## Hvad påvirker udvaskningens størrelse?

### DYRKNING AF JORDEN

Naturarealer som f.eks. skove og heder har en permanent bevoksning og tilføres kun den mængde kvælstof, der kommer med nedbøren. Selv helt uden tilførsel af kvælstof til dyrkningsjorden er udvaskningen normalt højere end fra naturarealer. Det er konsekvensen af, at jorden bearbejdes og ikke hele året har en bevoksning, der effektivt samler kvælstof op. Udvaskningen fra udyrkede arealer er typisk i niveauet 2-12 kg kvælstof pr. ha, mens den fra dyrkede arealer typisk er 15-100 kg kvælstof pr. ha.



FIGUR 9 Nitratindhold i planternes rodzone gennem året

## NEDBØR OG JORDTYPER

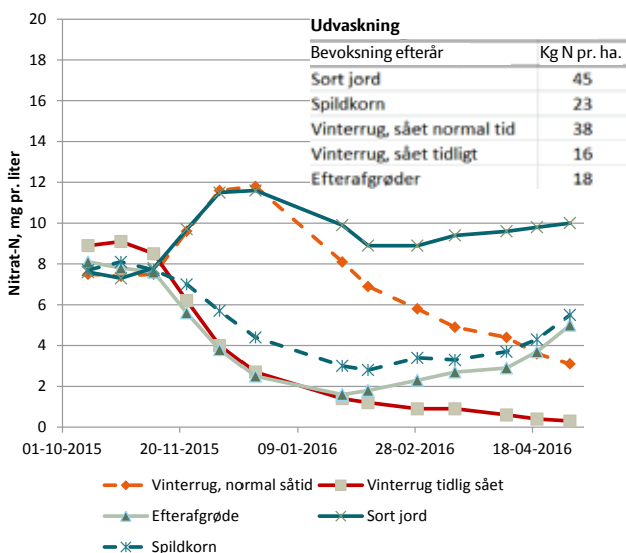
På sandjord er udvaskningen dobbelt så stor som på lerjord selv ved samme dyrkningspraksis. Det skyldes både, at sandjord ikke kan tilbageholde så meget vand som lerjord, og at sandjord overvejende findes i Vestdanmark, hvor nedbør og afstrømning er højere end i Østdanmark.

## Bevoksning om efteråret

Bevoksning om efteråret påvirker udvaskningen meget. Jo større kvælstofoptagelse om efteråret, jo lavere kvælstofudvaskning.

## GRÆS OG ROER

Græs og roer har en effektiv kvælstofoptagelse hele efteråret, og derfor ses en lav kvælstofudvaskning.



**FIGUR 10** Forsøg med forskellig efterårsbevoksning efter korn. 1 års forsøg på Foulum 2015/16. Data stillet til rådighed af Aarhus Universitet fra GUDP-projektet VIRKN.

## MAJS

Majs optager kvælstof fra jorden længere hen på sommeren end korn. Til gengæld dyrkes majs oftest på arealer med stor eftervirkning af husdyrgødning, og det er svært at etablere effektive efterafgrøder. Derfor måles ofte en stor kvælstofudvaskning efter majs.

## BAR JORD ELLER EFTERAFGRØDER

Korn og raps høstes i første halvdel af august. Hvis jorden holdes sort om efteråret ved harvning eller ved kemisk bekæmpelse af spildkorn, stiger nitratinholdet i jorden. En efterafgrøde i form af græs eller olieræddike optager effektivt kvælstof om efteråret og holder nitratinholdet nede. Får spildkorn lov at udvikle sig, kan det i nogle tilfælde virke som en efterafgrøde.

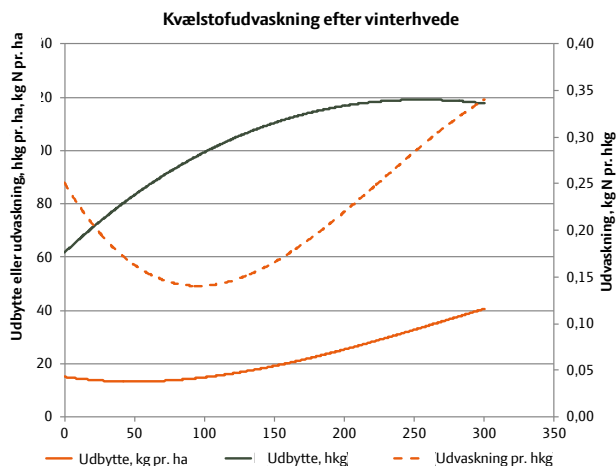
## VINTERSÆD

Vintersæd optager kvælstof om efteråret, men sået til normal tid (15.-20. september) optager den kun 10-20 kg kvælstof pr. ha. Vintersæd sået 1. september optager typisk 30-50 kg kvælstof pr. ha og kan reducere kvælstofudvaskningen betydeligt. Tidlig såning kan ikke lade sig gøre på alle arealer. Ved tidlig såning kan der være øgede problemer med græsukrudt, havrerødsot, goldfodsyge mv.

## Gødskning med handelsgødning

Tilførsel af kvælstof til afgrøderne vil ikke efterlade mere kvælstof i jorden ved høst end ugødede afgrøder, hvis kvælstoftilførslen er afpasset efter afgrødens behov. Men stigende tilførsel af kvælstof betyder, at der efterlades mere kvælstof i rod- og planterester. Dette kvælstof frigøres om efteråret og kan udvaskes, hvis der ikke er en afgrøde til at optage det. Derfor fås en stigende udvaskning ved stigende tilførsel af kvælstof. Kvælstofudvaskningen stiger dog først markant, når mængden af tilført kvælstof overstiger afgrødens behov betydeligt.

Marginaludvaskningen, dvs. den udvaskede andel af det sidst tilførte kvælstof, er ifølge Aarhus Universitets udvaskningsmodel ca. 18 procent varierende fra 12 procent på lerjord, hvor der er vintersæd om efteråret til 32 procent på sandjord, hvor jorden er bar om efteråret. Hvor der er græs, efterafgrøder eller andre afgrøder med stor kvælstofoptagelse om efteråret, er udvaskningen mindre.



**FIGUR 11** Udbytte og udvaskning efter vinterhvede fra ét landsforsøg på Lolland 2015/2016. Udbyttet stiger stærkt ved stigende kvælstoftilførsel – op til 200 kg pr. ha. Kvælstofudvaskningen pr. ha stiger fra en tilførsel på 100 kg N. Udvasningen pr. hkg korn er lavere ved 200 kg kvælstof pr. ha end ved 0 kg N pr. ha og lavest i niveauet 50-150 kg kvælstof pr. ha.

### Gødskning med husdyrgødning og anden organisk gødning

Med husdyrgødning tilføres en del af kvælstoffet som organisk kvælstof, der skal mineraliseres, før det er tilgængeligt for afgrøden. En del af denne mineralisering sker om efteråret, hvor optagelsen kan være beskedent. Derfor vil der alt andet lige være en større udvaskning af kvælstof i husdyrgødning end af kvælstof i handelsgødning. Udvasningen fra husdyrgødning kan begrænses ved at have en effektiv bevoksning af markerne om efteråret.

I dag har dansk landbrug en høj udnyttelse af kvælstof. Vi regner med, at merudvasningen fra arealer tilført husdyrgødning i forhold til handelsgødning er i størrelsesordenen 5-10 kg kvælstof pr. ha.

En række af de elementer, som man i tabellen kan se, reducerer udvasningen, er indført i reglerne om landbrugets kvælstofanvendelse. Det gælder krav om efterafgrøder, tidspunkter for omlægning af græs, tidlig såning, udtagning af landbrugsjord mv.

**TABEL 6** Typiske værdier for udvaskning af kvælstof

BEVOKSNING FORÅR-SOMMER	BEVOKSNING EFTERÅR	SAND-JORD	LER-JORD
Naturarealer	Naturareal	5-10	5-10
Vårsæd	Bar jord	60-70	30-45
Vårsæd	Efterafgrøde	25-35	20-30
Vårsæd	Vintersæd	50-60	25-40
Vårsæd	Tidlig sået vintersæd	35-45	20-35
Kløvergræs, slæt	Kløvergræs, slæt	20-30	15-25
Kløvergræs	Vintersæd	100-150	75-100
Vårbyg efter kl.græs	Bar jord	100-200	50-100
Vårbyg efter kl.græs	Græsudlæg	40-60	30-40
Planteavlbrug	-	45-70	25-35
Svinebrug	-	60-85	35-45
Kvægbrug	-	60-85	35-45

# TILTAG TIL REDUKTION AF KVÆLSTOFUDVASKNINGEN FRA LANDBRUGSJORDEN

## Sædskifte

På plante- og svinebrug er det vigtigste at sørge for, at alle marker er bevokset om efteråret. Ved vintersæd er det vigtigt - specielt efter vinterraps og bælgssæd - at den sås så tidligt som muligt.

På kvægbrug har man på grund af græs i sædskiftet allerede en andel af arelet bevokset med effektive kvælstofopsamlere om efteråret. Men det er vigtigt, at der om muligt er efterafgrøder eller udlæg i alle andre marker inklusive majs, fordi der på kvægbrug er en stor frigivelse af kvælstof fra organisk stof i husdyrgødning og nedpløjet græs. Det er specielt vigtigt at håndtere ompløjning af kløvergræs korrekt.

Ompløjning om efteråret før vintersæd kan resultere i en stor udvaskning, og på konventionelle brug er ompløjning kun tilladt om foråret. Derudover er det vigtigt at indregne forfrugtsvirkningen af græs i den følgende afgrøde, så tildelt gylle også her er afstemt med afgrødens behov. Særligt i første men også i andet efterår efter ompløjning af kløvergræs er det vigtigt at have et effektivt plantedække af græsudlæg eller efterafgrøder i majs.

## Efterafgrøder

Efterafgrøder er en effektiv måde at reducere udvaskningen på, og efterafgrøder kan også give landmanden fordele specielt på sandjord. Problemet med efterafgrøder er imidlertid, at de blokerer for såning af vintersæd, der giver 25 procent højere udbytte end vårsæd. Derfor vil landmanden specielt på lerjord gerne undgå en høj andel af efterafgrøder.

## Ny teknologi

En præcis fastsættelse af kvælstofbehovet i den enkelte mark og udspredning af kvælstof efter markvariationen reducerer også udvaskningen. Her kan man hjælpes godt på vej af sensorer, satellitdata og ny

teknologi på gødningsspredere. Men omhyggelighed i gødningsplanlægning og ved udspredning af gødning er fortsat et vigtigt grundlag. Det er særligt vigtigt at undgå gødningsoverlap ved udspredningen.

## Reduceret kvælstoftilførsel

Reducerede kvælstofnormer har tidligere været brugt som virkemiddel til at mindske udvaskningen. Effekten på udvaskningen er imidlertid ikke så stor. For at reducere udvaskningen med 10 kg kvælstof pr. ha, skal tilførslen af kvælstof reduceres med ca. 50 kg kvælstof pr. ha, og så store reduktioner medfører et betydeligt udbytte- og kvalitetstab.

Det betyder, at en reduceret kvælstoftilførsel under det økonomisk optimale niveau er et dyrt virkemiddel sammenlignet med f.eks. efterafgrøder og virkemidler uden for dyrkningsfladen.

## Overgang til økologi

Det er vanskeligt generelt at sammenligne udvaskningen fra økologiske og konventionelle landbrug. Tilførslen af kvælstof i økologisk landbrug er mindre, hvilket alt andet lige resulterer i en lavere udvaskning. På den anden side er økologer afhængige af at tilføre mere organisk kvælstof i grøngødning og planterester og bearbejde jorden om efteråret for at bekæmpe rod ukrudt. Det resulterer i en større udvaskning. Derfor vil der fra nogle konventionelle brug være større udvaskning pr. ha, end fra økologiske brug og på andre omvendt.

Udvaskningen pr. ha fra økologiske kvægbrug vurderes at være mindre end fra konventionelle kvægbrug. Fra planteavlbedrifter er udvaskningen af samme størrelse, mens den vurderes at være større fra økologiske svinebedrifter end fra konventionelle. Udvaskningen pr. produceret enhed, for eksempel hkg korn, er generelt højere på økologiske end på konventionelle bedrifter.

# FJERNELSE AF KVÆLSTOF UNDERVEJS FRA RODZONE TIL KYSTVANDE

Størstedelen af det kvælstof, der udvaskes fra rodzonen, fjernes ved, at nitrat omdannes til frit kvælstof (denitrifikation) undervejs til kystvandene. Beregninger med den såkaldte nationale kvælstofmodel viser, at retentionen – den del af kvælstoffet der fjernes, inden det når kystvandene – udgør 72 procent af det kvælstof, der udvaskes.

Kvælstof fjernes flere steder under transporten:

## RODZONEN

I rodzonen sker der denitrifikation under vandmættede og iltfrie forhold, hvis der samtidig er organisk stof og nitrat tilstede. Denitrifikationen er størst på husdyrgødet lerjord (typisk i niveauet 20-50 kg N pr. ha), mens den er lavest på grovsandet jord tilført handelsgødning (0-5 kg N pr. ha). Denitrifikationen kan være meget stor, hvis grundvandet i perioder når op i rodzonen. Det gælder f.eks. mange jorder i Nordjylland, hvor grundvandet kan stå højere end dræningerne, eller hvor der i rodzonen er mange reducerende forbindelser som f.eks. pyrit.

## UNDER RODZONEN

Denitrifikation kan ske i den umættede zone (dvs. over det permanente grundvandsspejl) i lagene lige under rodzonen, hvis der lokalt er iltfrie forhold, og der er organisk stof eller reducerende forbindelser tilstede. Det vil typisk ske ned til 3 meters dybde. Der findes pt. ingen metoder til at kvantificere omfanget af denne proces.

## UNDER TRANSPORT MOD GRUNDVANDET OG I GRUNDVANDET

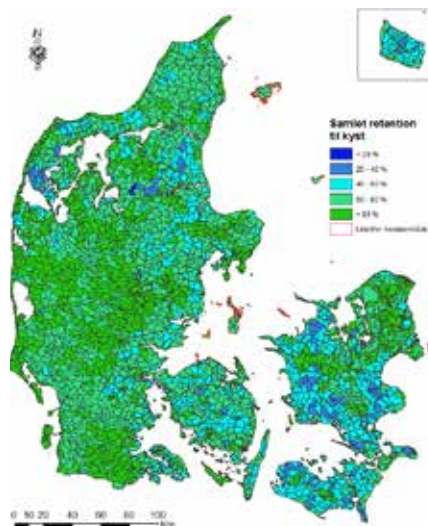
Hvis nitrat under transport fra overfladen mod grundvandet møder iltfrie forhold, vil det blive fjernet ved denitrifikation. Fra typisk få meters dybde på lerjord til op til 30 meters dybde på sandjord ligger den såkaldte redoxgrænse. Over redoxgrænsen er der iltholdige forhold og under redoxgrænsen iltfrie forhold. Når nitrat passerer redoxgrænsen, fjernes det stort set fuldstændigt.

På drænedede marker er retentionen lav, fordi hovedparten af afstrømningen og kvælstofudledning sker gennem dræningerne. Det betyder, at kvælstof ikke udsættes for denitrifikation, fordi dræningerne leder vandet uden om jordlagene under rodzonen.

Retentionen rundt i landet er meget forskellig. Den afhænger f.eks. af, om arealerne er drænet, om der er kalk i undergrunden, og om vandløbene passerer søer, inden de når kystvandene.

Med den nationale kvælstofmodel er retentionen beregnet for ca. 3.000 oplande af hver 1.500 ha. Retentionen er generelt lavest på drænedede lerjorde og højest på sandjorde. Retentionen siger imidlertid ikke noget om, hvor stor udledningen er fra de enkelte områder. En lav retention på drænet lerjord er ofte koblet med en lav udvaskning fra rodzonen sammenlignet med en sandjord med høj retention.

Der er en betydelig usikkerhed på kortlægning af retentionen i de enkelte oplande, men mønstrene i fordeling af retentionen i landet er mere sikkert bestemt.



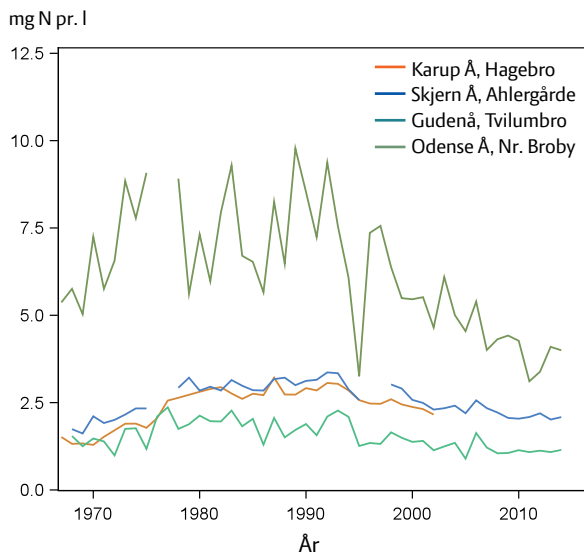
**FIGUR 12** Retention fra rodzone til kyst beregnet med den nationale kvælstofmodel. (National kvælstofmodel, Oplandsmodel til belastning og virkemidler, Kortleverancer).



## I VANDLØB OG SØER

I søer sker der en omsætning af kvælstof i sedimentet ved bunden, som fjerner nitrat. Mængden, der fjernes, afhænger af, hvor lang tid vandet opholder sig i søerne. Kvælstoffjernelsen i store søer er betydelig. Det betyder, at kvælstofkoncentrationen i vandløb, som har passeret store søer, er lav. Det ses f.eks. i Gudenåen efter passage af Silkeborg-søerne.

Der sker også en vis kvælstoffjernelse i vandløb, men den er mindre end i søer, fordi opholdstiden i vandløb er meget kortere end i søer. Der sker også en kvælstoffjernelse, når der er oversvømmelser i år med store nedbørsmængder om efteråret.



**FIGUR 13** Målte koncentrationer i fire større danske åer. Bemærk, de lave koncentrationer i Gudenåen, Karup Å og Skjern Å, hvor retentionen i oplandene er stor – i Gudenå-oplandet på grund af søer og i oplandene til Skjern Å og Karup Å på grund af overvejende sandjord. I oplandet til Odense Å er retentionen mindre, fordi lerjordsoplandet er mere drænet. Bemærk også reduktionen i koncentrationen siden 1990. Kilde: DCE.



*Kvælstofkoncentrationen i vandløb, som har passeret store søer, er lav.*

# VIRKEMIDLER UDEN FOR DYRKNINGSFLADEN

En af mulighederne for at reducere udledningen af kvælstof fra landbrugsjorden til kystvandene er at øge kvælstoffjernelsen (retentionen). Det kan ske ved at øge opholdstiden for overflade- og drænvand imellem marker og kystvande, og ved at det nitratholdige vand under transporten kommer i kontakt med organisk materiale. Det er de mekanismer, der sættes i spil ved at genetablere søer og vådområder eller anlægge minivådområder. Og ved helt små tiltag på den enkelte ejendom, hvor landmanden afbryder nogle dræn og lader vandet løbe ned over græsarealer, der ikke længere benyttes. Fælles for alle sådanne tiltag er, at de ikke må forringe afvandingen på selve landbrugsarealerne, da en god afvanding er en forudsætning for en rentabel produktion.

## Dræning

Dræning foretages for at lede overskudsvand hurtigt væk fra rodzonen, så plantevæksten ikke hæmmes. Dræning af mange lerjorde er en betingelse for at sikre et højt udbytte og en rentabel produktion. Ca. halvdelen af Danmarks landbrugsareal er drænet.



Drænkort for en systematisk drænet mark på lerjord. Drænene er etableret som tegl eller plastrørsledninger med 12-16 meters mellemrum, der samles i hovedledning, der leder vandet ud i vandløb.

I lerjordsoplande udledes hovedparten af kvælstof gennem dræn. Drænvand kan renses ved at lede det igennem vådområder, minivådområder, mættede randzoner o.l.

På systematisk dræned arealer udledes typisk fra 50-90 procent af den samlede afstrømning fra arealerne gennem drænene. Rensning af drænvandet har den fordel, at det har større effekt på udledningen til kystvande end virkemidler på dyrkningsfladen, da nitratholdet i drænvand ikke reduceres, før det når ud i vandløbene.

## Vådområder

Vådområder etableres på arealer nær vandløb, hvor drænvand eller andet nitratholdigt vand fordeles udover vådområdet. Det gøres typisk ved at afbryde drænene et stykke fra vandløbet, så drænvandet ikke transporteres direkte ud i vandløbet. Om sommeren vil arealerne typisk være sumpede områder med græs, siv og andre vådbundsplanter, mens de lejlighedsvis er oversvømmet med å- og drænvand om vinteren.

Kvælstof fjernes ved denitrifikation, fordi der i vådområdet både er iltfrie forhold, organisk stof og nitrat. I vådområder, der overrisles af dræn- eller grøftevand, er målt fjernelse på 150 kg kvælstof pr. ha vådområde. Hvis arealerne lejlighedsvis også er oversvømmede er effekten målt til 215 kg kvælstof pr. ha. Monitoring af vådområder viser en stor variation i effekten mellem typer og lokaliteter. Vådområder har en vis risiko for at øge fosforudledningen.

## Konstruerede minivådområder

Minivådområder med åbne bassiner anlægges i tilknytning til marker og dræn og fungerer ved, at drænvandet ledes gennem åbne bassiner, hvor bundfældning af fosfor og denitrifikation af kvælstof reducerer koncentrationen af nitrat og fosfor. For at opnå en effektiv fjernelse af næringsstoffer skal størrelsen på et minivådområde være på minimum 1 % af drænoplanet, fordi vandets opholdstid er helt afgørende for en effektiv denitrifikation. Åbne minivådområder består normalt af flere bassiner, hvori der etableres en vådbundsvegetation, der bremser vandet.

Et minivådområde kan også etableres med en matrice af flis eller andre kulstofkilder, som drænvandet skal passere for at flyde videre



*Minivådområde med tre bassiner. Minivådområdet udvikler sig også til en fin biotop i et landbrugsdomineret opland. Foto: Flemming Gertz, SEGES*

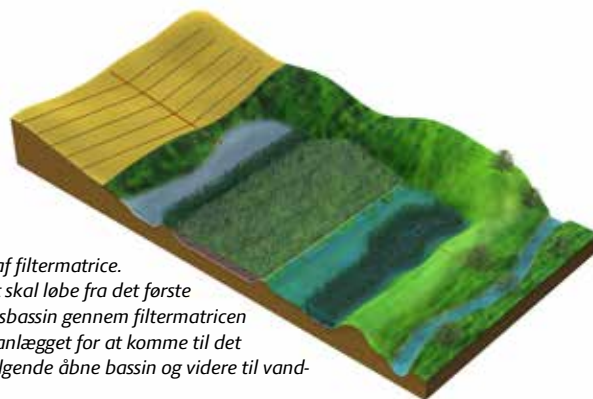
ud til dræn, grøfter eller vandløb. Matrizen er mere effektiv end åbne minivådområder, og derfor kan man nøjes med et areal på ca. 0,2 procent af det samlede drænopland. Opholdstiden for vandet i et matrice miniområde bør være over 10 timer. Ved en normal vandafstrømning gennem dræn svarer dette til, at der skal anvendes 6.000 m<sup>3</sup> flis pr. 100 ha drænopland.

Effekten af åbne minivådområder er veldokumenteret og vurderes til at være 20-30 procent af den tilladte kvælstofmængde. De foreløbige resultater for minivådområder med matrice, tyder på en kvælstoffjernelse på 40-50 procent.

### **Marine virkemidler**

Undersøgelser og erfaringer har vist, at et godt vandmiljø ikke bare lige bliver etableret ved at reducere kvælstoftilførsningen til samme niveau, som dengang kvaliteten af vandmiljøet var tilfredsstillende. Det kan skyldes, at ålegræs ikke kan etablere sig på grund af et slamlag på bunden eller andre fysiske forandringer i vandområdet såsom sandvanding, fysisk påvirkning fra søsalat, krabber mv.

Genetablering af ålegræs eller andre bundplanter har en selvforstærkende effekt på miljøet, fordi planterne binder kvælstof og dermed



*Skitse af filtermatrice. Vandet skal løbe fra det første klaringsbassin gennem filtermatricen midt i anlægget for at komme til det efterfølgende åbne bassin og videre til vandløbet.*

gør miljøet mere robust for tilledning af kvælstof. Derfor eksperimenteres der med at plante eller så ålegræs for at finde en metode til at sikre en hurtig og blivende etablering.

Dyrkning af muslinger kan filtrere vandet for alger og dermed gøre det mere klart. Ved "høst" af muslinger fjernes næringsstoffer fra vandet. Dyrkning af muslinger anvendes allerede i dag som virkemiddel for at kompensere for havdambrug. En anden mulighed for at fjerne næringsstoffer fra kystvandene er opdræt og høst af makroalger.

Genetablering af stenrev tillægges ikke nogen større effekt i forhold til at reducere kvælstoftilførsningen, men kan generelt sikre en større biodiversitet i vandmiljøet.



*Dyrkning af muslinger anvendes allerede i dag som virkemiddel*

# LANDBRUGET OG MÅLSÆTNINGERNE I VANDOMRÅDEPLANERNE

Med Fødevarer- og Landbrugspakken vedtog Folketinget, at kvælstofudledningen fra landbruget frem til 2021 skal reduceres med 6.900 ton kvælstof i forhold til den kvælstofudledning, der ellers ville være i 2021.

## Kollektive indsatser

Ud af reduktionen på de 6.900 ton skal 3.500 ton nås med kollektive virkemidler (se tabel).

Miljøfokusområder er de 5 procent af arealerne, der i henhold til EU's enkeltbetalingsordning f.eks. skal ligge brak eller dyrkes med efterafgrøder for at beskytte miljøet.

Det er staten, der har ansvaret for, at de kollektive virkemidler bliver etableret.

**TABEL 7** Kollektive virkemidler i Fødevarer- og Landbrugspakken

VIRKEMIDDEL	PROCENT AF SAMLET EFFEKT
Vådområder	38
Lavbundsprojekter	5
Minivådområder	27
Skovrejsning	5
Miljøfokusområder (MFO)	26

## Måltrettet regulering

Resten af reduktionen i udledningen – 3.500 ton – skal opnås ved måltrettet regulering. Umiddelbart lægges der op til, at denne reduktion skal ske ved at reducere udvaskningen fra markerne. Det er endnu ikke klarlagt (juni 2017), hvilke regler og tiltag der bliver tale om, men af landbrugspakken og vandområdeplanerne kan man danne sig et indtryk af, hvad det tegner til.

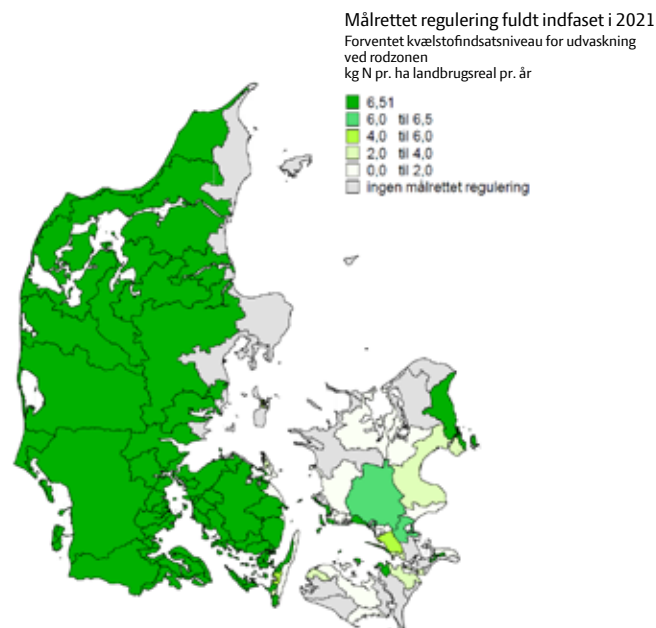
Landbrugspakken angiver fire principper for måltrettet regulering:

- Den tilladelige udvaskning for et kystvandsopland bestemmes ud fra målsætningen for miljøet i kystvandet
- Den enkelte bedrift tildeles en udvaskningsret, som er ens for alle bedrifter indenfor det enkelte kystvandopland

- Der bliver fleksibilitet i valget af virkemidler, og der skal udvikles nye virkemidler
- En ordning, som kompenserer bedrifterne for omkostninger forbundet med reduktion af kvælstofudvaskningen.

Inden reglerne bliver lagt fast, er det ikke muligt at beregne konsekvenserne.

Af kortet kan man se, at der skal ske en udvaskningsreduktion på 6,5 kg kvælstof pr. ha fra rodzonen på ca. 75 procent af landbrugsarealet. I kystvandsoplande, der afvander til åbne havområder, skal der ikke ske en reduktion. Kravet til reduktion af udvaskningen er generelt begrænset øst for Storebælt.



**FIGUR 14** Kortet viser kravene til reduktion i kvælstofudvaskning fra rodzonen med måltrettet regulering. Kravene er beregnet ud fra vandområdeplanerne.

En reduktion af kvælstofudvaskningen fra rodzonen på 6,5 kg kvælstof pr. ha kan man f.eks. opnå ved

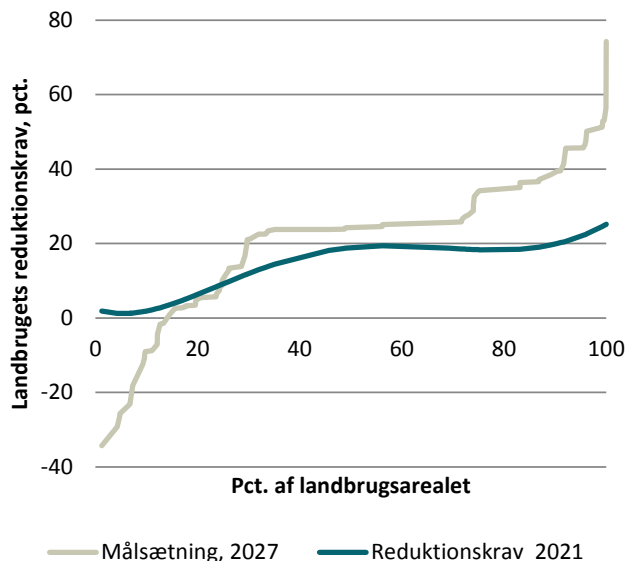
- at nedsætte kvælstoftilførslen med 30 kg kvælstof pr. ha
- at udlægge 22 procentenheder ekstra efterafgrøder for landbruget præcist.
- at udtage 15 procent af landbrugsarealet.

### Opnåelse af god økologisk tilstand i kystvande

For at opnå Vandrammedirektivets krav om god økologisk tilstand i alle kystvande skal man ifølge Vandområdeplanerne reducere kvælstofudledningen med yderligere 6.200 ton. Denne indsats er udskudt til 3. vandplanperiode dvs. efter 2021, og det er endnu ikke vedtaget, om det er en permanent udskydelse.

Hvis målsætningerne skal nås i alle kystvande, vil det give vidt forskellige krav i de enkelte oplande. Frem til 2021 vil der ikke i nogen af oplandene være krav om mere end en reduktion på 20 procent. Efter 2021 ændrer billedet sig:

- På op mod 20 procent af landbrugsarealet vil der ikke komme yderligere krav
- På 20 procent af arealet vil der være et reduktionskrav på mere end 30 procent
- På 10 procent af arealet vil reduktionskravet være mere end 40 procent
- Enkelte oplande vil have et reduktionskrav på over 50 procent



**FIGUR 15** Krav til reduktion af kvælstofudledningen fra landbruget opgjort efter stigende reduktionskrav. Der er ingen reduktionskrav i områder, der afvander til åbne farvande, mens der er store reduktionskrav i de indre fjorde. Reduktionen skal ske i forhold til udledningen fra 2010-14, hvor der var underoptimale kvælstofnormer.

## KONSEKVENSER FOR OPLAND MED STORT REDUKTIONSKRAV

Ud fra vandområdeplanerne kan man vurdere, hvilke konsekvenser det vil have for landbruget, hvis de udskudte 6.200 ton kvælstofudledning, reelt skal nås. Dette vises med et eksempel på konsekvenserne for landbruget i oplandet til Norsminde Fjord, som hører til de oplande, der skal reducere udvaskingen mest. Nøgletallene fra vandplanerne er vist i tabel 8.

**TABEL 8** Nøgletal for udledning af kvælstof til Norsminde Fjord

	2010-14	2021	2028*
Udledning i alt, ton kvælstof	141,8	95,0	62,0
Heraf udledning fra landbruget, ton	124,8	77,9	44,9
Udledning, landbrug, kg N pr. ha	16,8	10,5	6,1
Udvaskning fra rod-zonen, kg N pr. ha	44	28	16

\* Det er endnu ikke vedtaget, om dette mål skal nås.

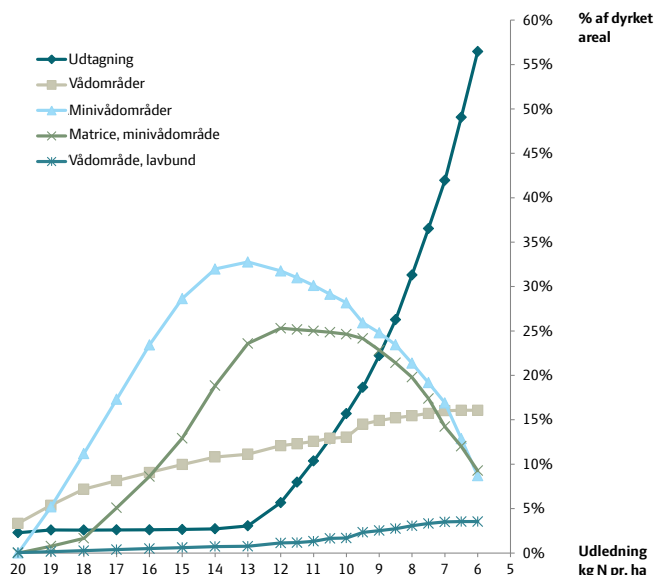
Det fremgår af tabellen, at udledningen fra landbrugsarealet skal reduceres fra 16,8 til 10,5 kg kvælstof pr. ha frem til 2021. Denne reduktion opnås ved en kollektiv indsats med våd- og minivådområder, skovrejsning og MFO-arealer samt ved målrettet regulering, der formentlig vil betyde krav om flere efterafgrøder, normreduktion eller lignende. Skal den udskudte indsats opnås i 2028 ved slutningen af 3. vandplanperiode, skal udledningen reduceres ned til 6,1 kg kvælstof pr. ha landbrugsareal.

Aarhus og Københavns Universiteter har i et projekt for SEGES beregnet konsekvenserne af at nå målsætningen i dette opland. Effekten af virkemidlerne kan ikke bare lægges sammen. Effekten af efterafgrøder er f.eks. meget mindre, hvis drænvandet fra marken efterfølgende passerer et minivådområde. Det gør det meget vanskeligt at komme langt ned i udledning.

Resultaterne af beregningerne fremgår af figur 16. På x-aksen ses udledningens størrelse pr. ha, hvis de enkelte virkemidler anvendes

med et areal i forhold til landbrugsarealet i oplandet (y-aksen). Hvis der skal nås en udledning på kun 6 kg kvælstof pr. ha, viser beregningerne, at halvdelen af landbrugsarealet skal udtages (braklægges), og resten af landbrugsarealet skal afvandes gennem vådområder eller minivådområder.

Et krav om en maksimal udledning af kvælstof på 10,5 kg pr. ha kan opnås ved drænvirkemidler stort set uden udtagning af landbrugsjord. Men et krav om en maksimal udledning på 6,1 kg pr. ha vil få meget store konsekvenser for landbruget i dette opland.



**FIGUR 16** Sammensætning af virkemidler for at reducere kvælstofudledningen til et givet niveau billigst muligt i Norsminde Fjord. Hvis den tilladelige kvælstofudledning er 11-12 kg kvælstof pr. ha, kan det nås ved at etablere våd- og minivådområder i et omfang, hvor igennem drænvand fra ca. 75 procent af oplandet udledes. Hvis kravet til udledning er 6,1 kg kvælstof pr. ha er drænvirkemidler ikke effektive nok, og i givet fald skal ca. 50 procent af dyrkningsjorden udtages (braklægges). (IFRO Rapport 258).

# VIGTIGE KVÆLSTOFFORBINDELSER I JORD

FORBINDELSE	KEMISK BETEGNELSE	BESKRIVELSE
Kvælstof	N	Er det 7. grundstof i det periodiske system.
Atmosfærisk kvælstof (frit kvælstof)	N <sub>2</sub>	Forbindelsen er næsten inaktiv og udgør 78 procent af indholdet i atmosfæren.
Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Let opløseligt i vand. Kan optages af planter, udvaskes, denitrificeres mv.
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Binder sig til ler og humus. Udvaskes kun i ringe grad. Kan optages af planter, omdannes til nitrat.
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	Er en gas. Kan fordampe fra husdyrgødning og i nogen grad handelsgødning
Kvælstofoxider (NO <sub>x</sub> )	NO <sub>x</sub>	Fælles betegnelse for kvælstofoxider, der dannes ved forbrænding og i atmosfæren
Lattergas	N <sub>2</sub> O	Tabes til atmosfæren. Dannes som biprodukt ved denitrifikation og nitrifikation af ammonium til nitrat. Lattergas er en drivhusgas
Organisk kvælstof		Er en fællesbetegnelse for kvælstof bundet i organiske forbindelser i jord. Udgør langt størsteparten af jordens kvælstofindhold.

SEGES skaber løsninger til fremtidens landbrugs- og fødevarerhverv. Vi udvikler forretningsmuligheder i tæt samarbejde med vores kunder, forskningsinstitutioner og virksomheder over hele verden. SEGES er en del af Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

**SEGES**

**Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.**

Agro Food Park 15  
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000

info@seges.dk  
seges.dk

