

Landskaber med fokus på klimaneutralitet og bæredygtighed

Landbrugslandskabet rummer store potentialer for bidrag til klimaneutralitet og en bæredygtig udvikling, hvor der i højere grad tages hensyn til samspil mellem de enkelte landskabselementers funktion og udnyttelsen af naturressourcen, med en væsentlig lavere drivhusgasudledning til følge. Vi giver eksempler på hvordan forskellige bæredygtighedsdimensioner indgår på landskabsniveau.

TOMMY DALGAARD, SIGNE NORMAND,
BERIT HASLER, PER AMBUS &
KLAUS BUTTERBACH-BAHL

Landskaberne i Danmark

De danske landskaber rummer en meget stor variation, og mange forskellige muligheder for at bidrage til klima- og bæredygtighedsmål. Det er et levested for både mennesker og natur, men også et sted for produktion af fødevarer, energi og materialer for det menneskelige samfund, og danner ikke mindst grundlag for den infrastruktur, der transporter mennesker og varer. Landskabet er også et filter, der sørger for vi kan pumpe rent drikkevand op fra grundvandsmagasinerne, og at vand, der strømmer videre til havet via bække, søer og åer bidrager til et rent vandmiljø. Landskabet er samtidig vigtigt som et sted for produktion af fødevarer, og i stigende grad også andre biobaserede produkter. Traditionelt set høstes disse som træ og fibre fra skovene, eller læder, dun og fjer fra husdyrene, men i dag findes et væld af andre muligheder, såsom udvinding af voks fra halmen, biodiesel og andre biobaserede brændstoffer, og biogas fra husdyrgødning og planterester.

Forskningen har undersøgt, hvordan udnyttelsen af de enkelte elementer i landskabet kan forbedres, sådan at funktionerne i landskabet bedre kan udnyttes til at sikre rent vand og luft samtidig med at landbrugsproduktionen kan udvikles. Men særligt de senere år er der kommet helt nye muligheder for kombination af viden, ikke blot med de nævnte nye teknologier til at udnytte den bio-

baserede produktion, men også nye digitale værktøjer til at måle på- og forstå de komplicerede mekanismer og sammenhænge i hele landskaber, og bidrage ikke alene til natur, miljø og produktionsmål, men også til klimaneutralitet og bæredygtighed bredt set.

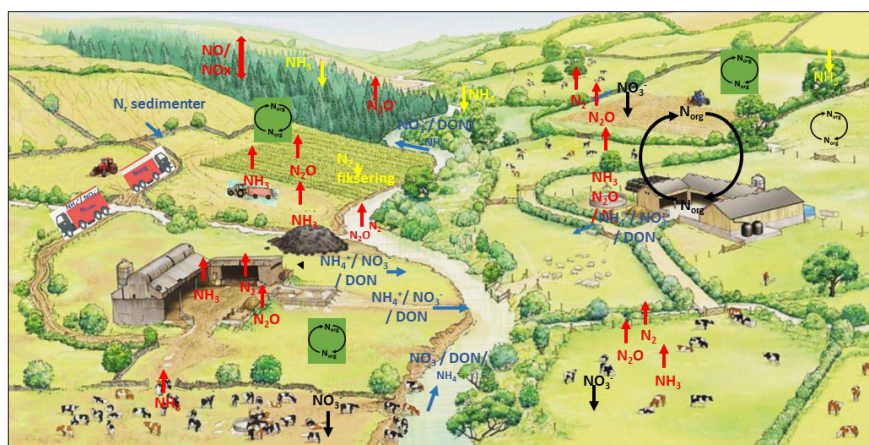
Her kigger vi nærmere på forskningen omkring nye forskningsinitiativer på området, Sustainscapes og Land-CRAFT centrene, samt den lidt ældre forskningsalliance dNmark (Boks 1). Fokus er her særligt på landbrugslandskabet, men også med tråde til skovene, til byerne og til vores forbrugsmønsters påvirkning af klimaet og arealanvendelsen.

Stofstrømme med Sinks og Sources i landskabet

Figur 1 viser et eksempel på stofstrømme i forhold til kvælstof (N), og de sinks (til at

fange eller opsamle N) og sources (dvs. kilder til N) som findes i landbrugslandskabet.

Kvælstofomsætningen er helt central for at forstå landbruget og det landskab det indgår i, og dermed mulighederne for at bidrage til klimaneutralitet, sådan som det diskuteres nærmere i denne artikel. Kvælstof indgår i alle proteiner og essentielle aminosyrer, og er helt afgørende for landbrugsproduktionen gennem ernæring af planter og dyr. Kvælstof indgår i kemiske forbindelser såsom nitrat (NO_3^-) der, foruden af være et plantenæringsstof, forurener vandmiljøet; eller ammoniak, (NH_3) der spredes gennem luften og bl.a. påvirker helbredet med luftvejslidelser såsom astma, og kvaliteten af sårbare naturområder, der ikke kan tåle næringsstofpåvirkningen fra den atmosfæriske afsætning af ammoniak. Kredsløbet omfatter desuden organiske



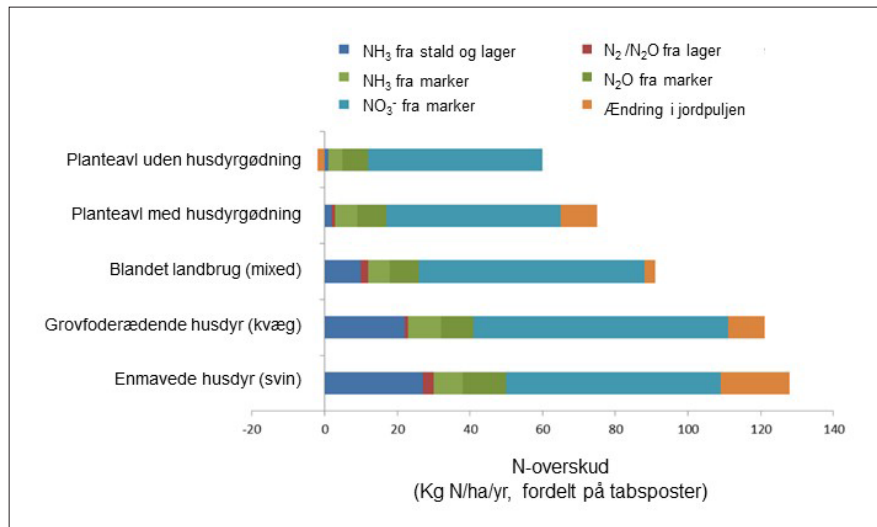
Figur 1: De mange kvælstofstrømme i landbrugslandskabet, og de forskellige kilder til tab/forurening (sources, markeret med opadgående pile) eller elementer til at opsamle de forskellige kvælstof-forbindelser (sinks, markeret med nedadgående pile), som kan være til gavn for produktion (fx i kvælstoffikserende afgrøder), belaster miljøet (som ved afsætning af ammoniak i naturområder) eller påvirker drivhusgasbalancen /1, 2/.

forbindelser (N_{org} og DON) og udvekslingen af fødevarer, foder, gødning og andre kvælstofholdige materialer, der transporteres ind og ud af jordbrugslandskabet (figur 1). Men ikke mindst påvirker kvælstofomsætningen udledningen af lattergas (N_2O), som er en kraftig drivhusgas. Lattergas udledes både ved direkte N_2O emissioner i landskabet (figur 1), og udledes desuden indirekte via drivhusgasemissioner fra de led af omsætningen, der foregår uden for landskabet. Ydermere spiller kvælstofomsætningen sammen med udslip af andre væsentlige drivhusgasser såsom metan og kuldioxid, og kuldioxid kan bindes eller frigives i forbindelse med at kulstof kan lagres eller nedbrydes i jorden, og derved påvirkes de samlede muligheder for at opnå klimaneutralitet for et givet landskab.

Kaskade- og kædebetraktninger

En vigtig pointe i forhold til opgørelsen af virkemidler til at opnå klimaneutralitet er, at udledninger i én del af landskabet kan påvirke en hel kæde af udledninger, og at udledninger i én del af landskabet kan have betydeligt større miljø- og biodiversitetseffekter end i andre dele af landskabet (fx hvis der i denne del findes større områder med sårbar natur). Det er således ikke lige meget, hvor i landskabet et tab af ammoniak finder sted, og dermed er det ikke lige meget, hvordan væsentlige kilder til udledning af ammoniak fra fx husdyrbrug placeres, eller hvor, hvornår og hvordan husdyrgødningen spredes på markerne. Og der er bestemt forskel på, hvordan forskellige virkemidler og aktiviteter i landskabet påvirker udledningen af de forskellige kvælstofforbindelser (tabel 1). Tiltag som reducerer ammoniakfordampningen forventes samtidig at reducere lattergasudledningen (det kunne fx være Målrettet placering af tekniske løsninger til at opsamling ammoniakken fra staldanlæg, så den kan udsprede på marker og erstatte anden gødning der), og kan dermed bidrage til en udvikling mod klimaneutralitet, mens andre tiltag (i tabel 1 fx Beplantning omkring store punktkilder) kan have den modsatte effekt.

Der er meget stor forskelle på udledninger af kvælstof og drivhusgasser fra forskellige typer af landbrugsbedrifter, hvor der generelt er en høj udledning fra bedrifter med husdyr, men en lavere udledning fra rene plantebedrifter (figur 2). Samtidig er der en stor forskel på, hvilke typer af udledninger de forskellige produktionstyper giver anledning til, og undersøgelser ^{1/4} viser som et eksempel, at en bedre fordeling af husdyrgødningen mellem de forskellige typer af bedrifter kan give en bedre udnyttelse af kvælstoffet, og dermed



Figur 2: Fordeling af udledninger fra forskellige bedriftstyper i et dansk landbrugslandskab ved Bjerringbro, hvor de største overskud, og dermed de største udledninger af kvælstofforbindelser og tilhørende drivhusgaspåvirkning, relateres til bedrifter med det største husdyrhold og udspredding af husdyrgødning per arealenhed ^{1/4}.

Boks 1: Eksempler på væsentlige forskningsinitiativer omkring bæredygtig landskabsudvikling.



Pionercenter, som over de kommende mere end 10 år iværksætter omfattende forskning i 1) En fundamental forståelse og måling af samspil mellem drivhusgas- og næringsstofstrømme i foranderlige landskaber, med sunde økosystemer baseret på en agro-økologisk tilgang. 2) Virkemidler i landskabet, som bidrager til robuste klimatilpassede og bæredygtige jordbrugssystemer med en optimal produktion i samspil med ambitiøse mål for reduceret tab af næringsstoffer og drivhusgasser (klimaneutralitet på landskabsskala), samt beskyttelse af biodiversiteten. 3) Værktøjer til at fremme effektive metoder til at monitorere, verificere og rapportere emissioner på landskabsskala med hensyntagen til såvel de sociale, økonomiske og miljømæssige betingelser i kulturlandskabet, herunder potentialerne for øget produktivitet, klimaneutralitet og bæredygtighed i bred forstand.



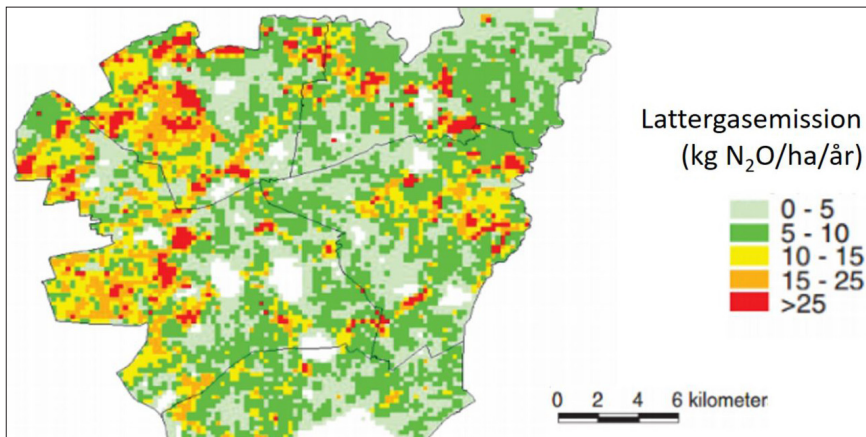
Center for Bæredygtige Landskaber i en Foranderlig Verden har til formål at gentænke landskaber og genskabe biodiversitet i en verden med øgede klimaforandringer og ressourcebehov. Forskningen tager udgangspunkt i et historisk perspektiv på landskabet, og

en prioritering af flere, samtidige bæredygtighedsmål (såsom FN's verdensmål omkring klimaindsatser, liv på land, ansvarlig forbrug og produktion samt bæredygtige byer og lokalsamfund. Der indsamles store mængder data og tidsserier, f.eks. via satellit og dronfotos samt jord og DNA-prøver, i kombination med kortdigitalisering, spørgeskemaundersøgelser og historiske statistik.



Tværfaglig national alliance mellem forskere, videnskabsmyndigheder og offentlige myndigheder, til udforskning af nye veje og ideer omkring kvælstofanvendelse, med bæredygtige løsninger på udfordringerne, der både skal forbedre ressourceeffektivitet og folkesundhed samt sikre en mindre miljø- og klimabelastning.

Forskningen er foregået omkring en række pilotområde landskaber, idet netværket og dataindsamling siden den officielle projektafslutning, foruden i ovenstående centre, er videreført ifm. en lang række nationale og internationale forskningsprojekter og myndighedsopgaver ¹, ².



Figur 3: Fordeling af lattergas-emissioner i et hollandsk landbrugslandskab, hvor særligt intensive områder for udledninger er vist med rødt /5/.

en lavere samlet udledning.

Tilsvarende kan der være meget stort variation mellem udledningerne, og dermed potentialet for at reducere kvælstof og drivhusgasudledningerne, herunder gennem binding i jorden, i de forskellige dele af landskabet. Figur 3 viser således variationen i den estimerede lattergasudledning for et enkelt år i et hollandsk landskab med intensivt landbrug og husdyrproduktion /5/. Som det ses, er der nogle meget betydelige hot spots (dvs. områder med særlig stor udledning), og tiltag til målrettet at adressere disse, kan have en meget stor effekt. Det er nemlig sådan, at udledningerne hænger tæt sammen med naturgrundlaget, dvs. foruden f.eks. temperatur og timing af godskning osv., vil vådere områder og områder med højt indhold af organisk stof i jorden kunne give anledning til relativt større tab, og en smart håndtering til disse forhold vil kunne have en stor effekt (eksemplificeret med tiltag som Digital arealanvendelses-plan-

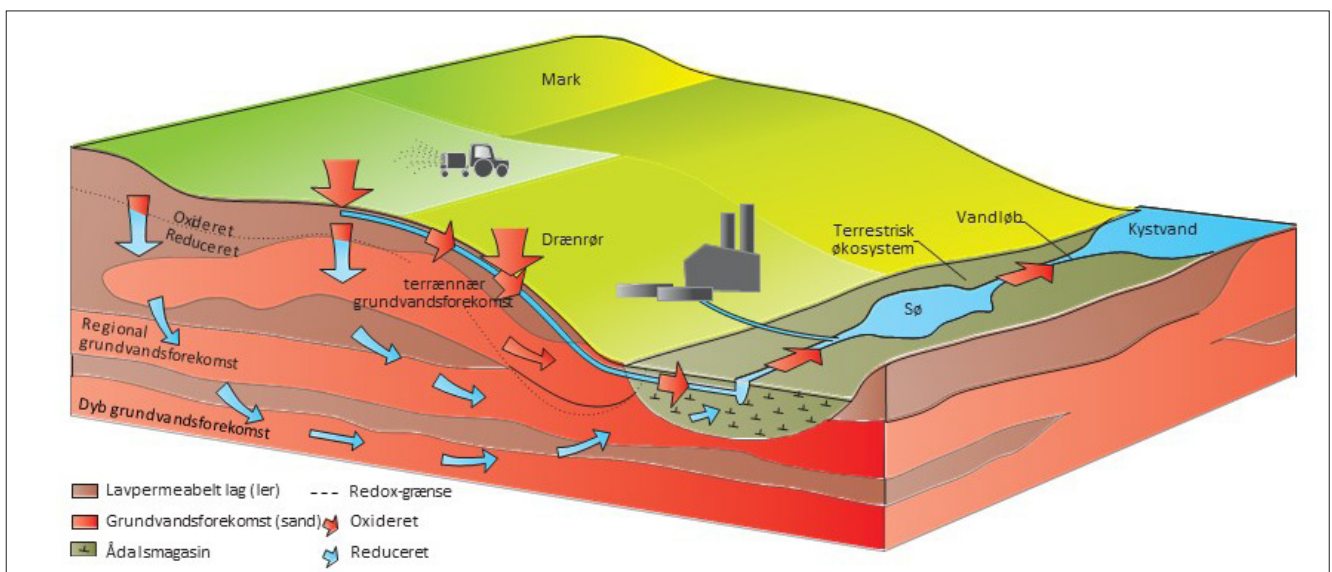
lægning og Målrettet placering af tekniske løsninger i landskabet i tabel 1). Samtidig er der mulighed for synergi med andre funktioner i landskabet, hvis disse områder fx har et særligt potentiale for øget naturværdi. For at kunne håndtere dette i praksis er der behov for kortlægning af disse funktioner på landskabsniveau (Boks 1).

Klimaneutralitet og landskabsscenerier for en bæredygtig udvikling i fremtiden

Der er et stort potentiale for bedre at udnytte mulighederne for på landskabsniveau at prioritere nye klimatiltag, samtidig med at den eksisterende driftsledelse tilpasses mhp. generelt lavere udledninger af drivhusgasser såvel som af kvælstof og andre næringsstoffer til miljøet, på vejen mod klimaneutralitet og andre bæredygtigheds mål.

Eksemplet i figur 2 viser, foruden at der er stor forskel mellem bedriftstyper, at der kan

været et betydeligt potentiale for at opbygge jordpuljen, både som vist med kvælstof, men samtidig også med kulstof og derved ved fangst af drivhusgassen kuldioxid, og derved at reducere den del af kvælstoffet, der ellers ville være tabt til miljøet. Det samme potentiale som der ses for kvælstof, gælder således også for opbygning af kulstof, idet kulstof (C) fanget i jorden direkte nedsætter den mængde kuldioxid (CO₂), der ellers ville være undsluppet som en drivhusgas til atmosfæren, og i disse år går det stærkt med nye teknologier til at fremme denne udvikling. Dette gælder fx gennem indbygning af kulstof fra halm og/eller fra bioforgasset gylle i biokul (gennem pyrolyse, dvs. kemisk spaltning ved stærk opvarmning), eller gennem noget så simpelt som dyrkning af efterafgrøder eller halmnedmulning. I øvrigt er det en større diskussion, hvad den reelle betydning af at opbygge puljerne i jorden er, ikke mindst fordi det er noget, der foregår over mange år, og effekten ikke er den samme på kort som på lang sigt. Ligeledes kan man diskutere hensigtsmæssigheden af at omdanne kvælstof i jordbrugslandskabet til frit, ikke reaktivt kvælstof (dvs. kategorien N₂ i tabel 1, svarende til den form kvælstof har, i de 78% af indholdet i den luft vi indånder) fra de såkaldte reaktive former for kvælstof (dvs. de øvrige former i tabel 1). Måske ville det være bedre at recirkulere næringsstofferne? Men det store spørgsmål er selvfølgelig så, hvor meget der kan recirkuleres hhv. i marken, inden for bedriften, i landskabet eller i hele samfundet? Og hvad der overordnet set er bedst for klimaet og miljøet, og med hvilke økonomiske gevinster eller omkostninger? I hvert fald kræver det meget energi at få kvæl-



Figur 4: Illustration af transporten af vand og dermed opløst kvælstof til vandmiljøet fra et typisk dansk landbrugslandskab med dyrkede marker, dræn og tekniske anlæg. Som det ses, er der stor forskel på, hvor stor en andel af vandet fra de forskellige marker, der løber gennem den reducerede zone (røde til blå pile), hvorved reaktive kvælstofforbindelser, såsom nitrat, omsættes, så de ikke forurener vandmiljøet. Ifølge /6/ redigeret efter /1/.

Tabel 1: Eksempler på kvælstof-virkemidler til prioritering på landskabsniveau, med indikeret miljøeffekt fordelt på forskellige typer af tab fra jordbrugssystemet og de tilhørende landskabsselementer. For hver type af tab (ammoniak NH₃, lattergas N₂O osv.) er indikeret, om der forventes et øget (↑) eller et reduceret (↓) udslip, om effekten afhænger meget af forholdene (?), eller om der vurderes begrænsede effekter af virkemidlet (~) ifølge /1/, der har en mere detaljeret gennemgang af tiltagene.

	NH ₃	N ₂ O	NO	NO ₃ ⁻	N ₂	Total
Flerårige afgrøder	~	↑↓	?	↓↓	↑↓	↓
Efterafgrøder/fangafgrøder	~	↑↓	↑↓	↓	~?	↓
N2-fixerende afgrøder (i parentes inkl. jordpuljæendring)	~ ↓	↓(↑)	↓(↑)?	↓(↑)	~?	↓(?)
Skovlandbrug	↓	~↑	~ ↑	↑↓	~3	↓
Vådområder	~?	↑?	~?	↓↓?	↑?	↓?
Paludikultur i vådområder	~?	↑	↓?	↓?	↓?	↓?
Organiske lag til øget denitrifikation	~	↑	↑	↑↑	↑↑	↑
Dræning (* modsat ved blokerede dræner)	~	↓*	↓	↑*	↓	~?
Marine virkemidler	~	~	~	↓	↑	↓?
Skovrejsning og læhegn	↓	↑↓	↑↓	↓↓	↑	↓↓
Braklægning/ ugødet græs	~	~ ↓	~ ↓	↓↓	↓	↓↓
Beplantning omkring store punktkilder	↓	↑	↑	↑↓	~?	↑↓?
Miljø-smart placering af husdyrfaciliteter og udendørs hold	↓	~	~	↓	~	↓
Digital arealanvendelses-planlægning	↓	↓	↓	↓↓	↓	↓↓
Blandet plante- og husdyrbrug med cirkulære systemer (Mixed farming)	↓↓	↓↓	↓↓?	↓↓	↓↓?	↓↓
Måltrettet placering af tekniske løsninger i landskabet	↓↓	↓↓	↓?	↓↓	↓?	↓

stoffet tilbage på en reaktiv form, som planterne vil kunne udnytte som gødning (fx nitrat), og man bør spørge sig, hvad den overordnede drivhusgasbalance og ressourceøkonomi er ved de forskellige former for løsninger? Et område, hvor forskningen viser, der kan være et stort potentiale for nye løsninger, er en bedre udnyttelse af de arealanvendelses- og ressourceinputmæssige prioriteringer på landskabsniveau.

I Danmark kan der mange steder drages nytte af, at kvælstof der udvaskes, naturligt reduceres når det passerer den såkaldte reducere zone i grundvandet under landbrugslandskaberne (figur 4 /6/). Særligt i landskaber hvor der er et stort potentiale for dette, og variationen mellem marker er stor, kan dette bruges til effektivt at afbøde de hot spots til kvælstofforurening, der er fra intensiv landbrugsproduktion /1/. I disse år satses der hårdt på at udnytte disse muligheder optimalt, som en kost-effektiv måde til at nå de betydelige mål, der er sat for en reduceret udledning til det sårbare vandmiljø /3/, men der er ikke nogen automatisk sammenhæng mellem kvælstofeffekt og reduceret klimabelastning, måske endda tvært imod? Men en forbedret

ressourceudnyttelse er dog generelt godt for begge dele, især hvis de indirekte effekter på produktion andre steder i verden medtages. Her er værktøjer til håndtering af hele landskaber centrale, og nye måder til at håndtere kvælstofudvaskningen, samtidig med at udfordringerne omkring klimaneutralitet og generelle bæredygtighedsspørgsmål, er under stadig udvikling. Det er bestemt muligt at komme langt med landskabsskala tiltag, og disse kan med fordel benyttes til at designe fremtidens klimaneutrale landskaber. Men der vil helt sikkert blive behov for forskellige løsninger til at nå dette mål i forskellige landskaber, og for forskellige produktionsformer. Spørgsmålet er ikke blot, hvordan vandmiljøhensyn kan kombineres med klimahensyn, men også hvilke socioøkonomiske omkostninger og/eller fordele de forskellige løsninger indebærer, og hvordan de på landskabsniveau kan spille sammen med målene om en øget biodiversitet? Alt sammen noget der arbejdes videre med ifm. de nævnte centerinitiativer (boks 1). Og det spændende bliver hvordan alt dette kan udvikles sig i praksis, i virkelighedens landskaber, og i et foranderligt klima og en foranderlig virkelighed.

Referencer

- UN-ECE (2021) Guidance document on integrated sustainable nitrogen management. Agriculture, Food and Environment (Section VI: Land-use and landscape management, Dalgaard T and Butterbach-Bahl K, eds. P. 152-185). Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. ECE/EB.AIR/149. 198 p. https://unece.org/sites/default/files/2021-04/Advance%20version_ECE_EB.AIR_149.pdf. United Nations, Economic and Social Council.
- Se fx www.mapfield.dk, www.fairway-project.eu, www.mixed-project.eu, www.inms.international eller <http://www.clrtap-tfrn.org/>
- Westcountry Rivers Trust (2022) Illustration fra <http://www.westcountryrivers.co.uk> er modificeret på basis af Creative Common License <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.
- Dalgaard, T, Hutchings N, Dragosits U, Olesen JE, Kjeldsen C, Drouet JL and Cellier P (2011) Effects of farm heterogeneity and methods for upscaling on modelled nitrogen losses in agricultural landscapes. Environmental Pollution 159 (2011) 3183-3192.
- Cellier P, Durand P, Hutchings N, Dragosits U, Theobald M, Drouet JL, Oenema O, Bleeker A, Breuer L, Dalgaard T, Duret S, Kros H, Loubet B, Olesen JE, Mérot P, Viaud V, de Vries W and Sutton MA (2011) Nitrogen flows and fate in rural landscapes. In: Sutton MA, Howard CM, Erisman JW, Billen G, Bleeker A, Grennfelt P, Grinsven H and Grizzetti B (eds.) The European Nitrogen Assessment. Chapter 11. P. 229-248. Cambridge University Press. ISBN 978-1-10700-612-6.
- Hinsby K, Condeso de Melo MT and Dahl M (2008) European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. Science of The Total Environment 401 (1) 1-20.

TOMMY DALGAARD, professor og sektionsleder, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Tjele (tommy.dalgaard@agro.au.dk). UN-ECE TFRN Co-chair, Sustain-landscape.org co-director og Land-CRAFT Co-PI, med fokus på forskning i bæredygtig udvikling af agroøkologiske systemer og landskaber. MIXED-project.eu koordinator og leder af dNmark.dk forskningsalliancen.

SIGNE NORMAND, professor, Institut for Biologi, Aarhus Universitet, Sustainscapes.org direktør og Land-CRAFT Co-PI, formand for Biodiversitetsrådet.

BERIT HASLER, professor og sektionsleder, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, Roskilde. Land-CRAFT Co-PI. PER LENNART AMBUS, Professor, Københavns Universitet, Sektion for Geografi, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning. Center for Permafrost Stabil Isotop Facilitet ansvarlig og Land-CRAFT Co-PI.

KLAUS BUTTERBACH-BAHL, professor og Land-CRAFT Pioneer center direktør, Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi, Aarhus.