

Strømningsveier for vann, partikler og næringsstoffer i jord

Av Sigrun H. Kværnø og Marianne Bechmann

Sigrun Kværnø er forsker og Marianne Bechmann forskningsleder ved Bioforsk Jord og Miljø Ås.

Sammendrag

Kunnskap om hvordan partikler og næringsstoffer fordeler seg på grøfte- og overflateavrenning i jordbruksarealer er nødvendig for å vurdere effekter av tiltak mot landbruksforurensing. Her sammenstilles resultater fra flere års målinger av partikler (SS), fosfor (P) og nitrogen (N) i grøfte- og overflatevann i ti felter i Sørøst- og Midt-Norge. I morenefelter skjedde gjennomsnittlig ca 90 % av avrenningen gjennom grøftene, i uplanerte leirjordsfelter 70–90 % og i planerte felter 50–70 %. Fordeling av N-tap fulgte fordeling av vann, andel av N-tap via grøftene var over 90 % i uplanerte felter, og ca 70–90 % i planerte felter. Andel SS-tap via grøftene var på 5–95 %, og viste liten sammenheng med fordeling av vann. Fordeling av P-tap (10–90 %) fulgte vesentlig fordeling av SS-tap. Forskjellene mellom felter og mellom år innen felter ble forklart ved forskjeller i værforhold, jordsmonn, topografi og drift.

Summary

Pathways for water, particles and nutrients in soil. Knowledge about the partitioning of particles and nutrients into surface and subsurface runoff in agricultural areas is important when assessing effects of measures against agricultural pollution. Here we present results from several years of measurements of particles (SS), phosphorus (P) and nitrogen (N) in surface runoff and subsurface drainage in ten areas in the southeast and middle part of Norway. In fields on morainic soil about 90 % of the runoff was through drainage, in unleveled fields on marine clay 70–90 % and in leveled fields 50–70 %. Partitioning of N followed partitioning of water. In unleveled fields >90 % of N-loss was through the drains, while 70–90 % in leveled fields. The fraction of SS through drains was 5–95 %, and was not related to how water was partitioned. The fraction of P-loss through drains (10–90 %) was mainly related to how SS was partitioned. Diffe-

rences between areas and between years within areas were explained by differences in weather conditions, soils, topography and management.

Introduksjon

I mange norske jordbruksområder er hydrologien, og dermed transportveiene for jord og næringsstoffer, sterkt påvirket av systematisk drenering. Drenering er særlig gjennomført i områder med marin leire og myrjord, men forekommer også på lettere jordarter. Grøfting gjøres for å holde stabilt lav grunnvannsstand, som sikrer raskere opptøking av jorda, tidligere våronn, bedre avlinger og mindre overflateavrenning. Det er kjent at jordpartikler (SS), fosfor (P) og nitrogen (N) kan tapes både gjennom grøftesystemet og via overflateavrenning, men hvordan disse stoffene fordeler seg på de to strømningsveiene er i liten grad tallfestet i Norge. I rapporten "Vanndirektivet – Behov for kunnskap, Kompetanse og Kapasitet" (Thaulow og Solheim, 2009) ble det identifisert behov for økt kunnskap om betydningen av avrenning via drengrofter i forhold til avrenning via overflatevann, ettersom dette er viktig for å kunne si noe om effekter av tiltak som settes inn for å redusere tilførslene til vannforekomster. De viktigste kildene til informasjon om dette er lengre måleserier i ulike ruteforsøk og småfelter, gjennomført av Bioforsk og av Universitetet for Miljø og Biovitenskap fra 1980-tallet fram til i dag. Resultater fra disse undersøkelser har vært presentert i ulike publikasjoner tidligere, men informasjonen har vært spredt og til dels lite tilgjenge-

lig. Kværnø og Bechmann (2010) har nylig sammenstilt dataene i en rapport med den hensikt å samle mest mulig av den tilgjengelige informasjonen på ett sted for å øke forståelsen av transportveier og gi en best mulig kvantifisering av fordelingen mellom grøfte- og overflatevann på norske jordbruksarealer. Sammenstillingen vil bli brukt videre til blant annet utvikling av modellverktøy for tiltaksanalyse og til kalibrering av dynamiske modeller. I denne artikkelen oppsummerer vi hovedresultatene fra rapporten. Vi presenterer gjennomsnittstall for ti småfelter og rutefelter der målinger av SS, P og N i avrenning har blitt foretatt i både grøfte- og overflatevann over en lengre tidsperiode. Feltene ligger i Trøndelag og på Østlandet.

Materialer og metoder

De ti feltene, figur 1, ligger på marin leire i Trøndelag (Kvithamar i Stjørdal, Skjetlein i Trondheim) og på Østlandet (Vandsemb i Nes, Lodding 106/107 og Holt i Ullensaker, Askim i Askim, Syverud og Enerstujordet i Ås), og på moreneleire på indre Østlandet (Bye i Ringsaker, Apelsvoll på Østre Toten). Feltegenskaper er presentert i tabell 1. Fire av feltene er planert (Lodding 106/107, Holt, Askim og delvis Vandsemb). Feltene varierer i størrelse fra 0,0075 ha til 9 ha. Det er varierende topografiske forhold (helningsgrad 0 - 20 %, helningslengde 20 - 300 m) og grøfteintensiteter (dybde 0,6 - 1 m, avstand 4 - 10 m). Det er ikke inntakskummer for overflatevann i noen av feltene. Moldinnhold i matjordlaget ligger mellom 1,9 % i den planerte delen på

Felt	Bye	Ape	Van	Lod	Hol	Ask	Syv	Ene	Kvi	Skj
Måleperiode	95-09	19-94 01-09	92-05	87-92	84-95	87-00	92-00	86-93	90-94	91-97
Fylke	He.	Op.	Ak.	Ak.	Ak.	Øs.	Ak.	Ak.	N.-Tr.	S.-Tr.
Type ¹	Små	Rute	Små	Små	Små	Rute	Rute	Små	Rute	Rute
Størrelse (ha)	4	0,18	5/ 6,5	0,86	2,2/ 2,7	0,015/ 0,027	0,021	9	0,029	0,3
Jordart ^{2,3}	LL	LL	SM/S	SM	SM	SM	SM	LL	SM	SM
Mold (%) ³	4,0	4,5	1,9/2,9	2,1	2,6	1,9	5,5	4,5	7,8	3,0
P-AL (mg/100 g) ³	6	8	15	6	5	8	6	13	9	12
Helningsgrad (%)	10	2-8	0-20	4-9	8	13	13	5	1-2	0-15
Helningslengde (m)	200	60	kort	70-155	Max 300	25/ 45	30	ND	36	100
Planert år ⁴	-	-	1950*	1978	1974	1985	-	-	-	-
Drenert år ⁴	ND	1988	1950*	1986	1974	1986	1960*	1960*	1989	1989
Grøftedyp (m)	1	1	0,6-0,8	0,7-0,9	ND	ND	ND	ND	1	0,9
Grøfteavstand (m)	10	7,5	6-8	4	ND	4/ 8	ND	ND	8	7
Vekst ⁵	K/P	K/KF/P/E/	K/KF	K/E	K/E	K	K/E	K/P/E	K	K/KF/E
Jordarbeiding ⁶	H	H/V	H/V	H/I	HH	H/V	H/V	H/?	H/V	H/V/I
Husdyrgjødsel	Nei	Ja/ Nei	Ja	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja	Ja/ Nei	Ja
Nedbør (mm)	598	634	710	678	883	888	853	843	919	927
Temperatur (°C)	5,1	4,3	5,1	4,7	5,0	6,5	6,0	6,0	6,2	4,7

¹ Refererer til om det er et naturlig avgrenset nedbørfelt ("Små") eller et rutefelt/lysimeter ("Rute").

² LL = lettleire, SM = siltig mellomleire, S = silt.

³ Verdi gjelder matjordlaget (øvre 20 cm).

⁴ * = eksakt år ikke kjent.

⁵ K = korn, KF = korn + fangvekst, P = potet, E = eng.

⁶ H = jordarbeiding høst, V = jordarbeiding vår, I = ingen jordarbeiding.

PL = høstpløying, HHA = høstharving, VPL = vårpløying, VHA = vårharving.

Tabell 1. Feltegenskaper for Bye, Apelsvoll, Vandsemb, Lodding 106/107, Holt (Hol), Askim, Syverud, Enerstujordet, Kvithamar og Skjetlein. "ND" = ingen data.

Feltinformasjon fra JOVA-databasen, Haraldsen (1991, pers.medd., 1998), Korsæth og Eltun (2008), Lundekvam (1997), Myhr et al. (1996), Riley (pers.medd.), Riley og Eltun (1994), Selnes et al. (2008), Sveistrup (pers.medd.) og Øygarden (2000, pers.medd.). Klimadata fra Landbruksmeteorologisk tjeneste (Bioforsk), Meteorologisk Institutt og Universitetet for Miljø og Biovitenskap.

Vandsemb og 7,8 % på Kvithamar. Jordas fosforstatus (P-AL, Egner et al., 1960) i matjordlaget er i området 5 - 15 mg/100 g.

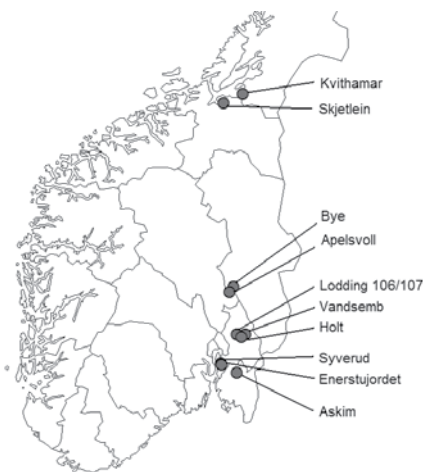
I alle feltene dyrkes hovedsakelig korn, med innslag av eng, fôrvekster, potet og fangvekst noen steder. Både høst-

pløying og jordarbeiding er representert, og i noen felter har det vært tilført husdyrgjødsel. Årlig nedbør i de aktuelle måleperiodene varierer mellom 598 mm (Bye) og 927 mm (Skjetlein), årlig temperatur mellom 4,3 °C (Apelsvoll) og 6,5 °C (Askim). Dataene som presenteres er dels innhentet fra JOVA-databasen ved Bioforsk, dels ved personlig meddelelse (A. Korsæth og T.K. Haraldsen, begge ved Bioforsk), og dels fra rapporter og vitenskapelige artikler (Eltun og Fugleberg, 1996; Eltun et al., 1996; Øygarden et al., 1997; Øygarden, 2000; Lundekvam, 1997, 2001; Oskarsen et al., 1996; Haraldsen, 1998). I det følgende er alle data som presenteres og diskuteres hentet fra disse kildene, om ikke andre referanser er oppgitt. Da formålet er å si noe om ”de store linjene”, presenterer vi i hovedsak gjennomsnittsverdier over den totale måleperioden for hvert felt. I rutefeltene er gjennomsnittsverdiene også beregnet

over ulike behandlinger/driftsformer. Effekter av driftsformer og tiltak er dermed ikke tatt med i denne artikkelen, men diskuteres i Kværnø og Bechmann (2010).

Resultater

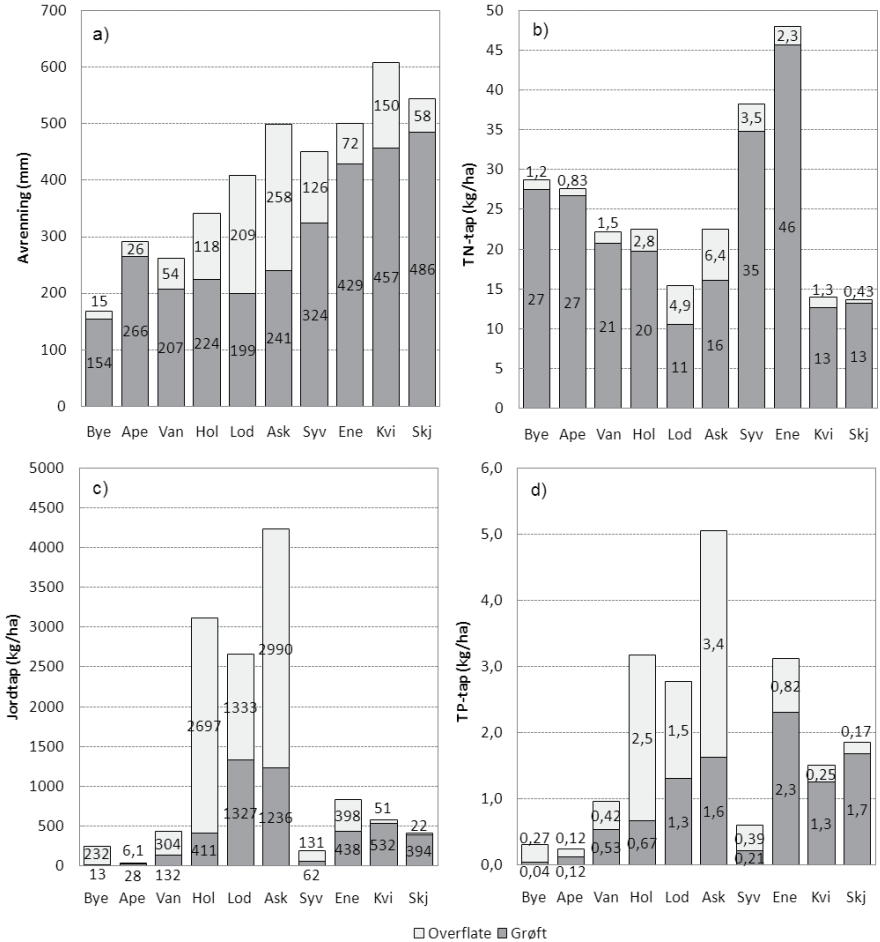
Nedbør varierte mellom 598 og 927 mm/år, og avrenning mellom 169 og 607 mm/år, med minst nedbør og avrenning i innlandsfeltene Bye og Apelsvoll ved Mjøsa, og mest i feltene Skjetlein og Kvithamar i Trøndelag, figur 2a. Målt avrenning utgjorde 28 – 66 % av nedbøren. 50-90 % av avrenningen gikk gjennom grøftene, tabell 2. Apelsvoll og Bye hadde størst avrenning gjennom grøftene (ca. 90 %). Det var minst andel grøfteavrenning (50-65 %) fra de planerte feltene Lodding, Holt og Askim. Uplanerte felter på marine avsetninger i Trøndelag og på Østlandet hadde 70-90 % grøfteavrenning. Nitrogentapene varierte mellom 14 og 48 kg TN/ha/år, med høyest tap på uplanerte felter i Ås og morenefeltene, og lavest tap på de uplanerte feltene i Trøndelag, figur 2b. På alle de uplanerte feltene og det delvis planerte Vandsembfeltet skjedde over 90 % av N-tapet gjennom grøftene, tabell 2. På de planerte feltene var andelen til grøftene mindre (68 - 88 %). Alle feltene hadde høyere TN-konsentrasjoner i grøftevann (2,3 – 17 mg/l) enn i overflatevann (0,74 – 8,2 mg/l) (tabell 3). Alle feltene hadde jordtap både på overflata og gjennom grøftene, figur 2c. Det gjennomsnittlige jordtapet varierte fra 30 kg SS/ha/år (Apelsvoll) til 4000 kg/ha/år (Askim). De planerte feltene hadde de høyeste jordtapene



Figur 1. De 10 feltenes plassering på Norgeskartet.

(>2000 kg SS/ha/år), hvorav 20-50 % via grøftene, tabell 2. På de ikke-planerte feltene på marine avsetninger på Østlandet kom 30-50 % av jordtaper gjennom grøftene, mens over 90 % av jordtaper fra feltene i Trøndelag skjedde gjennom grøftene, tabell 2.

SS-konsentrasjonene i grøftevann var i størrelsesorden 8,6 – 666 mg/l, i overflatevann 23 – 2286 mg/l, tabell 3. For de fleste feltene var SS-konsentrasjonene høyere i overflatevann enn i grøftevann, med unntak av Lodding og



Figur 2. Avrenning, SS-, P- og N-tap via grøfte- og overflateavrenning i gjennomsnitt over hvert felts totale måleperiode og driftsformer. Basert på data fra JOVA-databasen, Eltun og Fugleberg (1996), Eltun et al., (1996), Korsæth (pers. medd.), Øygarden et al. (1997), Øygarden (2000), Lundekvam (1997, 2001), Oskarsen et al. (1996), Haraldsen (1998), Haraldsen (pers. medd.).

feltene i Trøndelag. Fosfortapene varierte mellom 0,3 – 5,0 kg TP/ha/år, figur 2d. Forskjellen i P-tap mellom feltene avspeilte delvis forskjellen i jordtap: det var det minst P-tap fra morenejord ved Mjøsa og størst P-tap fra planert leirjord i Askim. Andelen P-tap gjennom grøftene viste meget stor spredning for de ulike feltene og utgjorde 11 - 91 % av de totale P-tapene, tabell 2. I de planerte feltene, samt Syverud og Bye, dominerte P-tap via overflateavrenning, mens i Trøndelagsfeltene, Vandsemb og på Enerstujordet

dominerte P-tap via grøfteavrenning. På Apelsvoll fordelte P-tap seg halvt om halvt på grøfte- og overflateavrenning. TP-konsentrasjoner i grøftevann varierte mellom 0,023 og 0,68 mg/l, i overflatevann mellom 0,17 og 2,1 mg/l. Bare Trøndelagsfeltene hadde høyere TP-konsentrasjoner i grøftevann enn i overflatevann. Tabell 2 viser også minimum og maksimum andel av årlig avrenning, SS-, P- og N-tap via grøftene i de aktuelle måleperiodene, noe som gir et visst inntrykk av stor variasjon mellom år.

	Avrenning	N-tap	SS-tap	P-tap
Bye	91 (76 - 100)	96 (85 - 100)	5 (1 - 100)	11 (2 - 100)
Apelsvoll ¹	91 (83 - 99)	97 (93 - 100)	82 (82 - 100)	50 (40 - 100)
Vandsemb	79 (56 - 99)	93 (83 - 100)	30 (3 - 96)	56 (24 - 97)
Lodding	49 (20 - 60)	68 (36 - 87)	50 (11 - 66)	47 (12 - 60)
Holt	65 (26 - 92)	88 (38 - 95)	13 (1 - 89)	21 (3 - 83)
Askim ¹	48 (26 - 67)	72	29 (17 - 58)	32
Syverud ¹	72 (57 - 85)	91	32	35
Enerstujordet	86 (55 - 96)	95 (90 - 98)	52 (15 - 91)	74 (48 - 91)
Kvitthamar	75 (45 - 91)	91	91	83
Skjetlein	89 (83 - 97)	97 (91 - 99)	95 (89 - 100)	91 (86 - 98)

¹ Min-max-verdier er for en kortere måleperiode enn middelverdien

Tabell 2. Andel av avrenning i %, SS-, P- og N-tap som transporteres via grøfteavrenning i gjennomsnitt over hvert felts totale måleperiode og driftsformer. Minimum og maksimum i parentes. Basert på data fra JOVA-databasen, Eltun og Fugleberg (1996), Eltun et al., (1996), Korsæth (pers.medd.), Øygarden et al. (1997), Øygarden (2000), Lundekvam (1997, 2001), Oskarsen et al. (1996), Haraldsen (1998), Haraldsen (pers.medd.).

Diskusjon

Resultatene over viser at det var store forskjeller mellom feltene både når det gjaldt nivå på avrenning, tap og konsen-

trasjoner, og hvordan dette fordelte seg på grøfte- og overflateavrenning. Selv om det var ulike kombinasjoner av jordsmonn, klima, topografi og drift i feltene,

	SS (mg/l)			P (mg/l)			N (mg/l)		
	OFL	GRØ	TOT	OFL	GRØ	TOT	OFL	GRØ	TOT
Bye	1545	8,6	145	1,8	0,023	0,18	8,2	18	17
Apelsvoll	23	11	12	0,46	0,046	0,083	3,2	10	9,4
Vandsemb	564	63	167	0,78	0,26	0,36	2,8	10	8,5
Lodding	638	666	651	0,70	0,65	0,68	2,4	5,3	3,8
Holt	2286	183	909	2,1	0,30	0,93	2,4	8,8	6,6
Askim	1159	513	847	1,3	0,68	1,0	2,5	6,7	4,5
Syverud	104	19	43	0,31	0,06	0,13	2,8	11	8,5
Enerstujordet	555	102	167	1,1	0,54	0,62	3,3	11	9,6
Kvithamar	34	116	96	0,17	0,27	0,25	0,86	2,8	2,3
Skjetlein	38	81	76	0,29	0,35	0,34	0,74	2,7	2,5

Tabell 3. Konsentrasjoner (mg/l) av SS, P og N i grøftevann (GRØ) og overflatevann (OFL) og totalt (TOT) i gjennomsnitt over hvert felts totale måleperiode og driftsformer. Basert på data fra JOVA-databasen, Eltun og Fugleberg (1996), Eltun et al., (1996), Korsæth (pers.medd.), Øygarden et al. (1997), Øygarden (2000), Lundekvam (1997, 2001), Oskarsen et al. (1996), Haraldsen (1998), Haraldsen (pers.medd.).

samt ulike måleperioder med ulike værforhold, gir resultatene likevel et ganske godt grunnlag for generalisering.

Bye og Apelsvoll, morenefeltet nær Mjøsa, hadde totalt sett minst avrenning, SS- og P-tap. Lite avrenning skyldes at det er innlandsklima med relativt lite nedbør. Mesteparten (91 %) av avrenningen skjedde gjennom grøftene, noe som kan forklares ved kombinasjonen av lite nedbør, relativt stabilt kald vinter og moldholdig lettleire med god jordstruktur og forholdsvis høy permeabilitet. Overflateavrenning skjer overveiende under hovedsnømeltingen i mars-april (figur 3). Med lite nedbør om høsten kan det dannes porøs tele med en viss infiltrasjonskapasitet, noe som bidrar til å forklare at grøfteavrenning likevel er

viktigere i denne perioden. Episoder med overflateavrenning ved intense regnskyll om sommeren, har også vært dokumentert i området (Apelsvoll forsommer 1995, Bye 1997, 2008). De lave SS-tapene henger sammen med de nevnte forholdene, og dessuten med at den moldholdige lettleira er lite eroderbar pga. høy aggregatstabilitet, skjærfasthet og permeabilitet. SS-tap gjennom grøftene var ubetydelig både på Bye og Apelsvoll, men Bye hadde nesten 40 ganger høyere SS-tap med overflatevann. Dette kan skyldes flere ting: For det første inngikk tre viktige snøsmeltingsepisoder med mye overflateavrenning og SS-tap i måleperioden til Bye, men ikke i måleperioden til Apelsvoll: våren 1997, 1998 og 2001. I tillegg var Bye høstpløyd

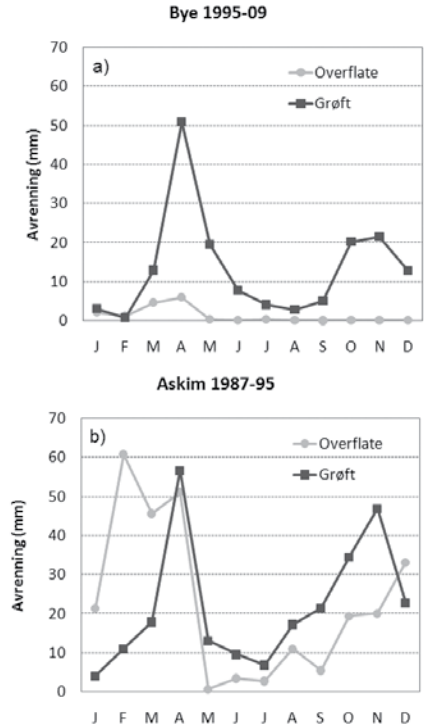
alle år i måleperioden, mens på Apelsvoll var det høstpløying i bare ett av de seks dyrkingssystemene – de andre systemene hadde jordarbeiding om våren. Høstpløying gjør jorda mer utsatt for erosjon enn jordarbeiding om våren fordi planterester ikke beskytter jordoverflata. Bye hadde også lengre og brattere helning, som kan gi overflatevann større fart og potensiale for å løsrive partikler. Som følge av at SS-tap via overflateavrenning dominerte på Bye, dominerte også P-tap via overflateavrenning her. Gjennomsnittlig SS- og TP-konsentrasjon i overflatevann var meget høye (tabell 3), bare det planerte leirjordsfeltet Holt hadde høyere konsentrasjoner. På Apelsvoll var det like store P-tap gjennom grøftene som via overflateavrenning. Apelsvoll hadde 82 % SS-tap gjennom grøftene, mens P-tap gjennom grøftene bare utgjorde 50 %. En årsak til noe høyere andel via overflatevann enn forventet kan være utfrysning av P fra planterester, gras, kløver og fangvekst, som det var i flere av dyrkingssystemene. N-tap på Bye og Apelsvoll var middels høyt, ca 30 kg/ha/år. N-tap avhenger blant annet av gjødslingsnivå og avlinger, men også av klima og jordforhold. Drenert lettleire og lite nedbør gir mindre potensiale for denitrifikasjon på Bye og Apelsvoll enn i de marine leirene i de andre feltene, og mer av det mobile N vil da kunne tapes ved utvasking i stedet for som gass (lystgass, nitrogengass).

De planerte feltene hadde minst andel grøfteavrenning. Sammenliknet med moldholdig lettleire har den tyngre leira i disse feltene flere små porer og dermed

lavere permeabilitet. Spesielt for planert jord er det lavt innhold av organisk materiale i matjordlaget, særlig der matjordlaget består av eksponert undergrunnsjord (opprinnelig matjord er flyttet). Slik jord har ofte dårlig jordstruktur, den har lav strukturstabilitet, er kompakt, har lav permeabilitet og er svært utsatt for pakking og kjøreskader. Dette medfører stor risiko for både overflateavrenning og erosjon. Data fra Askim viser at overflateavrenningen i middel over flere år var større en grøfteavrenningen i vintermånedene, og betydelig hele høsten (figur 3). SS- og P-tap var svært høye i de planerte feltene. Overflateavrenning var den viktigste transportveien for SS og P på Holt og Askim. I Lodding 106/107 var tap via grøfte- og overflatevann like viktig. Forskjellene mellom disse feltene skyldes dels forskjeller i værforhold, topografi og jordegenskaper. Lang helningslengde (300 m) på Holt kan være en årsak til at dette feltet hadde størst andel grøfteavrenning av de planerte feltene, fordi overflatevann kanskje rekker å infiltrere nedstrøms før det når målestasjonen. Holt hadde derimot lavest andel SS-tap (13 %) gjennom grøftene. Feltet har helninger som møtes i et søkk, og antakelig har mye av erosjonen foregått ved at overflatevann har samlet seg og gravd i jorda her. De siste tre årene av måleperioden på Holt var dette søkket grasdekket, og da var også SS-tapene lavere. Grøfteintensiteten kan også ha betydning - Hauge et al. (2007) viste at konsentrasjonen av partikler i grøftevann (middel for tre jordarbeidingssystemer) var 2,4 ganger høyere

ved 4 m grøfteavstand enn ved 8 m grøfteavstand på Askim i perioden 1987-05. Vi vet ikke noe om grøfteavstanden på Holt (sannsynligvis ca 8 m grøfteavstand ut fra tilskuddsordninger). I Askim var det ruter med både 4 og 8 m grøfteavstand, mens i Lodding 106/107 var avstanden 4 m. Disse to feltene hadde da også større andel SS-tap via grøftene enn Holt, henholdsvis 29 og 50 %. I tillegg til grøfteintensiteten spiller tid siden grøfting en rolle – over tid vil jorda over grøftene ”sette” seg og makroporer (sprekker, markganger) stenges av sedimenterte partikler. Askim og Lodding 106/107 ble grøftet året før målinger startet, Holt ble grøftet 10 år før måleperioden. Makroporetransport av vann og partikler, særlig i grøftefyllet, er godt dokumentert av Øygarden et al. (1997) i Lodding 106/107. I de planerte feltene var overflateavrenning også en viktig transportvei for N: 2,8 – 6,4 kg N/ha i overflateavrenning, dvs. 12 – 32 % av totalt N-tap. I alle de andre feltene ble mindre enn 10 % av N tapt via overflateavrenning. Totale N-tap var lavere enn i de uplanerte feltene på Østlandet og morenefeltene. Det kan delvis skyldes større potensial for denitrifikasjon pga. høyere leir- og siltinnhold og mer kompakt jord, og delvis at en større andel av vannet renner av på overflata uten å være i kontakt med jordmatriks der mesteparten av løste/mobile N-forbindelser fins. Ved nedbør kort tid etter gjødsling eller spredning av husdyrgjødsel kan det imidlertid være stor risiko for at løst N tapes ved overflateavrenning på de planerte feltene. N i overflatevannet kan

dessuten være partikkelbundet, men vi vet lite om hvor mye dette utgjør.



Figur 3. Månedlig (starter på januar) grøfte- og overflateavrenning i a) morenefeltet Bye (data fra JOVA-databasen) og b) det planerte leirjordsfeltet Askim, ledd med høstpløying (Lundekvam 1997). Månedsverdier er gjennomsnitt over angitt måleperiode.

Feltene på uplanert leirjord på Østlandet (Syverud og Enerstujordet) og i Trøndelag (Kvithamar og Skjetlein) hadde mindre andel grøfteavrenning enn morenefeltene Bye og Apelsvoll, og større andel enn de planerte feltene: mellom 70 og 90 %. Tyngre leirjord og fuktigere, varmere

klima med mer ustabile vintre enn i morenefeltene bidrar til økt risiko for overflateavrenning. Bedre jordstruktur enn i de planerte feltene gir lavere andel overflateavrenning enn i disse. På Syverud var det lave SS- og P-tap, i størrelsesorden som på Bye, og overflateavrenning var viktigste transportvei. På Enerstujordet, som i middel har samme jordart som Syverud, var grøfteavrenning viktigere, og SS- og P-tap var mye høyere. Utenom værforhold i måleperioden kan forskjellen mellom de to Ås-feltene ha med jordsmonn og topografi å gjøre: Jordsmonnkartet tyder på at Enerstujordet har områder med høyere leir- og siltinnhold enn middeljordarten lettleire. Det gjør jorda mer eroderbar, samtidig som det kan være mer sprekker som partikler kan transporteres gjennom ned til grøftene. I tillegg er det lange, relativt bratte helninger som møtes i et søkk, trolig kan det ha vært en del konsentrert overflateavrenning og erosjon i dette søkket. Høye P-tap skyldes intensiv drift med sterk gjødsling - både mineral- og husdyrgjødsel. P-AL-tall for feltet (13 mg/100 g) viser at P-innholdet i jorda var høyt. Andelen P-tap via grøftene var betydelig høyere enn andel SS-tap, kanskje fordi mye av P-tapet er løst P fra jord og gjødsel. De to feltene i Trøndelag skilte seg markant fra de uplanerte leirjordsfeltene på Ås ved at over 90 % av SS-tapet og over 80 % av P-tapet skjedde gjennom grøftene. Morforlogiske undersøkelser og infiltrasjonsforsøk på Skjetlein har vist at makroporer er viktige transportveier for vann og partikler: På veggene i markganger og på aggregatoverflater ble

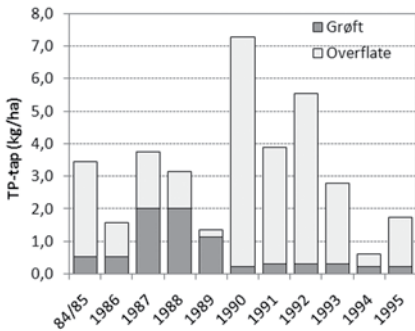
det observert leirfilmer, helt ned til 120 cm dybde. Filtermaterialet rundt grøftene var også dekket av sedimenter (Haraldsen et al., in prep). Stor utbredelse av makroporer i form av markganger er også dokumentert på Kvithamar (Haraldsen et al., 1994). Både Kvithamar og Skjetlein ble nygrøftet i 1989 og målinger startet bare et års tid etterpå. Transport av partikler gjennom grøftfyller kan da trolig være betydelig. Til sammenlikning var det på Syverud og Enerstujordet grøftet 30 – 40 år før målinger tok til, hvilket sammen med ovennevnte faktorer er med på å forklare at særlig SS-tap gjennom grøftene var mindre viktig her enn i Trøndelagsfeltene. P-tapene på Kvithamar og Skjetlein var middels høyt, og den høye andelen P-tap via grøftene tyder på at P i hovedsak var partikkelbundet. For Kvithamar bekreftes det av analyser av P-fraksjoner – 88 % var partikulært og resten løst P (Oskarsen et al. 1996). Andel N-tap via grøftene var over 90 % i de uplanerte leirjordsfeltene. Hovedforskjellen lå i nivå på N-tapene: Syverud og Enerstujordet hadde høyest N-tap av samtlige felter (38 – 48 kg/ha), mens Kvithamar og Skjetlein hadde lavest N-tap (14 kg/ha). På Enerstujordet vet vi at det har vært gjødslet sterkt med N og P, mens på Syverud har vi ikke opplysninger om gjødsling. På Kvithamar og Skjetlein har det i middel vært et N-overskudd, men høyt leir- og siltinnhold i jorda og fuktig klima kan tyde på at mye N tapes til luft ved denitrifikasjon.

Vandsembfeltet, som dels består av en flat slette med uplanert silt og en ravine med planert siltig mellomleire, kan kate-

goriseres som en mellomting mellom de planerte og uplanerte leirjordsfeltene. Andelen overflateavrenning var som for de uplanerte feltene. Her er det antakelig først og fremst den planerte leirjorda i ravinen som bidrar med overflateavrenning, mens den flate siltsletta bidrar relativt mer med grøfteavrenning. Vandsemb ble planert 20 – 30 år før de andre planerte feltene, og husdyrgjødsel har vært tilført jevnlig. Over tid kan derfor jordegenskapene på planeringen ha blitt forbedret. Overflateavrenning var viktigste transportvei for SS. SS-tapet var på samme nivå som i Trøndelagsfeltene, men SS-konsentrasjonen i overflatevann var på nivå med Lodding 106/107. At ikke større andel SS ble tapt gjennom grøftene kan nok delvis forklares ved at grøftesystemet var gammelt. Sveistrup et al. (2001, 2005) har dokumentert makroporer og leirnedvasking både på siltjorda og den planerte leirjorda på Vandsemb. Mange av porene var tettete av nedvaskede partikler. Det ble også observert at leirfilmene var tykkere i porer i grøftefyllet enn i uforstyrret jord. Grøftefyllet hadde også flere kanaler og større biologisk aktivitet. P-tap fordelte seg 50-50 på grøfte- og overflatevann, og som for Enerstujordet kan man anta at en betydelig del av P-tap til grøftene er løst P ettersom P-AL i matjordlaget er høyt (15 mg/100 g) og det har vært brukt husdyrgjødsel jevnlig. P-tapet var imidlertid lavt på Vandsemb, delvis pga. lave SS-tap. N-tap var på nivå med de planerte feltene Holt og Askim, men andel tapt via grøftene var som for de uplanerte feltene. Tall fra JOVA-databasen viser at det i måleperioden ble til-

ført et stort overskudd av N i form av mineralgjødning og husdyrgjødsel. At N-tapet likevel var relativt lavt kan henge sammen med denitrifikasjon og evt. ammoniakktap (volatilisering) fra husdyrgjødsel. Feltet har jordartene siltig mellomleire og silt, som begge har stor vannlagringsevne og kapillærtransport, slik at potensialet for denitrifikasjon blir stort.

I denne artikkelen er det lagt liten vekt på å presentere data for variasjonen mellom år, men det er helt klart at dette er meget viktig. En viss pekepinn om det får man fra minimum og maksimum årlig andel avrenning og tap via grøftene i Tabell 2 - i noen tilfeller varierer andelen fra 0 til 100 % mellom år. Vi har også nevnt "ekstreme" episoder på morenefeltet Bye. For å illustrere mellomårsvariasjon tar vi her med et eksempel på årlig fordeling av P-tap i det planerte feltet Holt (figur 4): I 1987 og 1988 var det mye snø som beskyttet mot frost, og ved snøsmelting ble det lite overflateavrenning. SS- og P-tap gjennom grøftene var derfor mer viktig enn via overflateavrenning. I 1990 – 1992 var det varme vintre med mye nedbør, og særlig 1990 hadde mange fryse-tine-episoder som førte til kompakt tele og liten infiltrasjonskapasitet. SS- og P-tap via overflateavrenning ble dermed mye høyere enn via grøftene. I 1993 – 1995 var det grasdekke i søkket på Holt, mens det tidligere hadde vært høstpløyd. Overflateavrenning var fortsatt viktigst, men de totale tapene var lavere fordi grasdekket beskyttet mot erosjon. P-tap til grøftene var omtrent det samme som i 1990 – 1992.



Figur 4. Årlig P-tap via grøfte- og overflateavrenning på Holt (data fra Lundekvam 1997).

Konklusjoner og oppsummering

I denne studien har vi sett at fordeling av vann, partikler og næringsstoffer på grøfte- og overflateavrenning kan variere mye mellom felter, avhengig av klimaforhold, jordsmonn, topografi og drift. Andel grøfteavrenning var tydeligst knyttet til jordegenskaper i kombinasjon med klima – andelen var høyest (>90 %) på permeabel moreneletteleire i det relativt nedbørfattige Mjøs-området, og lavest (50-70 %) på planert marin leire med dårlig struktur og lav permeabilitet. Uplanert marin leire i fuktig klima med milde, ustabile vintre hadde middels andel grøfteavrenning (70-90 %). Totale N-tap (14-48 kg/ha/år) var særlig knyttet til kombinasjonen av gjødslingsnivå og potensiale for gasstap ved denitrifikasjon. Andel N-tap via grøftene fulgte i stor grad fordeling av vannet, og var >90 % i uplanerte felter og 70-90 % i planerte felter. SS-tapene (30-4000 kg/ha/år) var i stor grad bestemt av erodibiliteten, som avhenger av jordas permeabilitet og

strukturstabilitet, og var følgelig høyest på planert jord, lavest på uplanerte lett-leirer og middels på uplanerte leirer med høyere siltinnhold. Topografiske forhold som helningsgrad, helningslengde og om feltet hadde søkkform spilte også inn. Andel SS-tap via grøftene (5-95 %) var ikke direkte knyttet til hvordan vannet fordelte seg. Det var indikasjoner på at andel SS-tap via grøftene avtok med hvor lenge det var siden grøfting og med økende avstand mellom grøftene. Forekomst av makroporer var også viktig for transport av SS til grøftene. De to feltene i Trøndelag utmerket seg med over 90 % SS-tap via grøftene, disse feltene var nygrøftet ved måleperiodens start, samt at de hadde et tett nettverk av bioporer. P-tapene (0,24-5,0 kg/ha/år) viste god sammenheng med SS-tapene, også mht. andel via grøftene (11-91 %). Tre felter skilte seg ut med mindre eller større andel P-tap via grøftene enn det andel SS-tap via grøftene tilsa – disse hadde høyt P-innhold i jord og bruk av husdyrgjødsel (utvasking av løst P) og mye gras, kløver og fangvekst i omløpet (utfrysing av løst P).

Den type lengre måleserier som vi her har oppsummert resultater fra, er en svært verdifull kilde til informasjon om prosesser knyttet til næringsstofftap. Gjennomføring av tiltak mot erosjon og næringsstofftap fra jordbruksarealer er avhengig av forståelse av strømningsveier og prosesser som fører til tap. Hovedtrenden er at på intensivt drenerte arealer skjer mesteparten av årsavrenningen gjennom drengrøftene. I områder der mesteparten av fosfortapet skjer

gjennom drengsgrøftene vil et tiltak som f.eks. vegetasjonssoner ha forholdsvis liten effekt på totaltransporten av fosfor fra jordbruksarealer til vassdrag. Tilpassing av tiltakene til lokale forhold har derfor stor betydning for effekten en oppnår av tiltakene.

Takk

Arbeidet er finansiert gjennom midler til kunnskapsutvikling tildelt av Landbruks- og matdepartementet til prioriterte temaer for å utvikle det faglige grunnlaget for forvaltningens virksomhet. Vi takker alle som har bidratt med tilleggsinformasjon og mer data fra ulike felter: Audun Korsæth, Trond Knapp Haraldsen, Trond Børresen, Hugh Riley, Lillian Øygarden og Hans Olav Eggestad.

Referanser

Egnèr, H., Riehm, H. & Domingo, W.R., 1960. Untersuchungen über die chemische bodenanalyse als grundlage für die beurteilung des nährstoffzustandes der böden. II. Chemische extractionsmethoden zur phosphor- und kaliumbestimmung. Ann. Landw. Hochsch. Schwedens 26, 199-215.

Eltun, R. & Fugleberg, O., 1996. The Apelsvoll cropping system experiment VI. Runoff and nitrogen losses. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 229-248.

Eltun, R., Fugleberg, O. & Nordheim, O., 1996. The Apelsvoll cropping system experiment VII. Runoff losses of soil particles, phosphorus, potassium, magne-

sium, calcium and sulphur. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 371-384.

Haraldsen, T.K., 1991. Jordprofiler på Skjetlein. Statens forskningsstasjoner i landbruk.

Haraldsen, T.K., 1998. Avrenning og tap av næringsstoffer på Skjetlein 1990-1997. Jordforsk-rapport 25/98. 19 s.

Haraldsen, T.K., Sveistrup, T.E. & Engestad, F., 1994. Jordegenskaper og meitemark i leirjord ved omlegging til økologiske dyrkingssystemer i Norge. Norsk landbruksforskning supplement No. 17.

Hauge, A., Lundekvam, H., Eggestad, H. & Pengerud, A., 2007. Partikler i drengsvann. En litteraturundersøkelse. Bioforsk RAPPORT 2 (4). 14 s.

Korsæth, A. & Eltun, R., 2008. Synthesis of the Apelsvoll Cropping System Experiment in Norway – Nutrient Balances, Use Efficiencies and Leaching. In: Organic Crop Production – Ambitions and Limitations (Eds. Holger Kirchmann and Lars Bergström), p. 117-141. Springer Science+Business Media B.V., springer.com.

Kværnø, S.H. & Bechmann, M., 2010. Transport av jord og næringsstoffer i grøfte- og overflatevann. Sammenstilling av resultater fra rutfelter og småfelter i Norge. Bioforsk rapport 5(30). 65 s. ISBN 978-82-17-00618-3.

- Landbruksmeteorologisk tjeneste. imt.bioforsk.no
- Lundekvam, H., 1997. Spesialgranskinger av erosjon, avrenning, P-tap og N-tap i rutefelt og småfelt ved Institutt for jord- og vannfang. Jordforsk-rapport 6/97. 69 s.
- Lundekvam, H., 2001. Oppsummering av resultat frå erosjonsfelta ved IJVF for perioden 1994-2000. Internt notat ved Institutt for Plante- og Miljøvitenskap.
- Meteorologisk Institutt. eKlima – gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sann-tidsobservasjoner. eklima.met.no
- Myhr, K., Oskarsen, H. & Haraldsen, T.K., 1996. The Kvithamar field lysimeter I. Objectives, methods and results of soil analyses. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 197-210.
- Oskarsen, H., Haraldsen, T.K., Aastveit, A.H. & Myhr, K., 1996. The Kvithamar field lysimeter II. Pipe drainage, surface runoff and nutrient leaching. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 211-228.
- Riley, H. & Eltun, R., 1994. The Apelsvoll cropping system experiment II. Soil characteristics. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 8, 317-333.
- Selnes, S., Pedersen, R. & Eggestad, H.O., 2008. Bye 2007. I: Pengerud, A. (red.). Jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA). Feltrapporter fra programmet i 2007. Bioforsk rapport 164/2008. 371 s. ISBN 978-82-17-00445-5.
- Sveistrup, T.E., Haraldsen, T.K., Langohr, R., Marcelino, V. & Kværner, J., 2001. Identification of pathways for water and particle transport through the soil by use of morphological studies at different scales, s 35-38. I: Kværnø, S. & Øygarden, L., (red.). International Symposium on Snowmelt Erosion and related Problems. 28- 30 March. Oslo, Norway. Excursion guide. Jordforsk-rapport 42/01. ISBN 82-7467-395-6.
- Sveistrup, T.E., Haraldsen, T.K., Langohr, R., Marcelino, V. & Kværner, J., 2005. Impact of land use and seasonal freezing on morphological and physical properties of silty Norwegian soils. *Soil and Tillage Research* 81, 39-56.
- Thaulow, H. & Solheim, A.L., 2009. Vanndirektivet – Behov for kunnskap, kompetanse og kapasitet. CIENS-rapport 1-2009. 80 s. ISBN 978-82-92935-01-9.
- Øygarden, L., 2000. Soil erosion in small agricultural catchments, south-eastern Norway/Jorderosjon i små nedbørfelt i jordbruksområder i sørøst Norge. Doctor Scientiarum Theses 2000:8. Norges Landbrukshøgskole, Ås.
- Øygarden, L., Kværner, J. & Jenssen, P.D., 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage systems in clay soils. *Geoderma* 76, 65-86.