

Seminarieuppsatser nr 142

Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans aktivitet NDVI uppmätt med satellit?

Annika Carlsson

2008
Centrum för Geobiosfärvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Antropogen påverkan i Sahel –
påverkar människans aktivitet NDVI uppmätt med satellit?

Annika Carlsson

Kandidatuppsats i ämnet naturgeografi och ekosystemanalys

Handledare:

Lars Eklundh

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys

Lunds universitet

2008

Abstract

Sahel is the southern fringe of the Sahara desert. It is an arid region with erratic precipitation. During the 1970s and 1980s Sahel was afflicted with severe droughts and famine disasters. Since the 1970s there has been a debate concerning the concept of land degradation and desertification in Sahel.

Recent findings suggest a positive trend in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), estimated from remote sensed data, over parts of the Sahel between 1982 and 2003. Analysis of precipitation data suggest that the mean annual precipitation is increasing during the same period, but only partly explains the vegetation greening.

In this paper anthropogenic activities that may influence the vegetation have been examine by literature studies.

The population in Sahel has steady increased since the 1970s. The demand for food has forced the farmers to shorten the fallow-periods and extend there cultivation areas into the natural vegetation. It may result in more greenness and a higher NDVI because arable land may be greener than natural vegetation. In the long-term there is a risk that the greening will decrease if the nutrient loss isn't supplement with sufficient amounts of fertilizers or manure. During the last decades the herders have become more settled, due to political decisions, resulting in an uneven distribution of the increasing cattle herds. Away from the villages, where the pasture pressure has been reduced, denser natural vegetation can be expected with higher NDVI then before.

The erratic precipitation has forced the farmers to find other incomes outside the farm to secure their self-support. This could affect the greening different ways. If the incomes from sources outside the farm are invested in the farm it may result in greener vegetation and a higher NDVI.

The result in this study proposes that anthropogenic activities do affect the greening, but it is still uncertain to what extent. More detailed data and studies are required to identify the cause or causes to the increasing greening observed from satellites.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Sahel kallas området i Afrika som sträcker sig från Atlanten i väst till Röda havet i öst och utgör gränsen mellan Saharas öken i norr och de fuktigare tropiska områdena längre söderut. Området är torrt och nederbörden faller oregelbundet. Under 1970- och 1980-talet drabbades området av svår torka med svält som följd.

Studier visar att en ökad mängd nederbörd de senaste decennierna till viss del kan förklara den ökade grönskan. I den här litteraturstudien har människans påverkan på sin omgivning studerats för att se om hennes aktivitet påverkar grönskan.

Studier visar att en ökad mängd nederbörd de senaste decennierna till viss del kan förklara den ökade grönskan. I den här litteraturstudien har människans påverkan på sin omgivning studerats för att se om hennes aktivitet påverkar grönskan.

Befolkningsmängden har stadigt ökat från 1970-talet fram till idag. För att tillgodose matbehovet hos den växande befolkningen har jordbrukarna tvingats att minska trädesperioderna och utöka sina odlingar genom att odla upp naturlig vegetation.

Ibland kan odlade grödor vara grönare än den naturliga vegetation som den ersätter och därför resultera i mer grönska och ett högre värde på NDVI. Om inte de näringsämnen som transporteras bort vid skörd återställs m.h.a. gödningsmedel eller gödsel riskerar den grönare trenden att brytas och t.o.m. avta.

Antalet boskapsdjur i Sahel har ökat sedan 1970-talet. Politiska beslut och integrering mellan jordbruk och boskapsskötsel under de senaste decennierna har gjort att befolkningen i Sahel blivit mer bofast. Detta har lett till ett ojämnt betestryck eftersom man inte längre flyttar djuren mellan olika betesmarker. De områden som betas mindre än tidigare kan förväntas bli grönare.

Människans anpassning till den oregelbundna nederbörden har de senaste decennierna inneburit att jordbrukarnas fokus alltmer flyttas från jordbruket för att säkra sina inkomster och självförsörjning. Hur detta påverkar grönskan är osäkert och kan troligtvis innebära både för- och nackdelar för vegetationen.

Studien visar att människan påverkar sin omgivning, men att det inte är klart till hur stor del. Människans påverkan är troligtvis en av flera faktorer som påverkar Sahel. Fler studier och mer detaljerad data behövs för att komma närmare sanningen.

Innehåll

Abstract	3
Populärvetenskaplig sammanfattning.....	4
1. Introduktion.....	7
1.1 Inledning	7
1.2 Syfte	8
1.3 Områdesbeskrivning.....	8
1.4 Bakgrund.....	10
1.5 NDVI - Normalized difference vegetation index	12
2. Antropogena förhållanden i Sahel.....	14
2.1 Befolkning och jordbruk	14
2.2 Markanvändning.....	14
2.3 Markvård	15
2.4 Boskap	15
2.5 Träda	15
2.6 Jordförbättring.....	16
2.7 Diversifiering	19
3. Förändringar i Sahel, 1970-2007	20
3.1 Befolkning och jordbruk	20
3.2 Markanvändning.....	22
3.3 Markvård	25
3.4 Boskap	26
3.5 Träda	27
3.6 Jordförbättring.....	28
3.7 Diversifiering	29
4. Diskussion.....	31
5. Slutsatser	34
6. Författarens tack	35
7. Referenser	36

1. Introduktion

1.1 Inledning

I Afrika bor ungefär 12 % av jordens befolkning på en femtedel av jordens totala landareal. Kontinenten har en snabbt växande befolkning och många invånare sysselsatta inom jordbruksnäringen, detta är karaktäristiska drag för utvecklingsregioner (Grove, 1993).

Sahel är ett semiaritt området mellan Atlanten och Röda havet, direkt söder om Saharas ökenlandskap. Namnet Sahel kommer från arabiskan och betyder ”kust” och syftar på gränsen till Sahara, men kan också betyda ”enkelt” eller ”platt” land och syftar då på det stora monotona landskap som breder ut sig (Le Houérou, 1989).

Närheten till Sahara gör att nederbörden i Sahel kan variera kraftigt, både mellan år och mellan decennier (White, 1983; Hulme, 2001). Den knappa nederbördsmängden gör att befolkningen till stor del försörjer sig på boskapsskötsel, men även permanent jordbruk förekommer.

1950- och 1960-talet var två gynnsamma decennier i Sahel då nederbörden var relativt riklig. Jordbruksproduktionen ökade och självständighet för flera av nationerna i Sahel spred optimism. När nederbörden minskade i slutet av 1960-talet kom det som en överraskning för många internationellt och på regeringsnivå (Mortimore, 1989). Det var i samband med torkan i början av 1970-talet som ordet och området Sahel blev känt i hela världen (Le Houérou, 1989). Torkan fick stor uppmärksamhet i internationell media, då befolkningen tvingades livnära sig på löv samt sälja sin boskap för att köpa det som fanns på marknaden. De vars boskap hade dött övergav sina byar och begav sig till städerna för att tigga (Mortimore och Adams, 2001). Enligt Eva et al. (2006) och Nicholson (1989) dog 100 000 människor i Sahel 1973 p.g.a. torkan. I början av 1980-talet drabbades Sahel återigen av minskad nederbörd med missväxt och svält som följd. Både människor och djur drabbades svårt när problemen kulminerade 1984.

När den akut katastrofhjälp skulle ersättas med mer långsiktiga utvecklingsplaner för Sahels nationer var fjärranalystekniken en lämplig metod för att samla in tidsserier av klimatologiska data och för att följa statusen hos vegetationen. Sedan torråren har man sett att nederbörden ökat (Hulme, 2001) och flera författare (Eklundh och Olsson, 2003; Herrmann et al., 2005) har sett en ökning av grönskan i delar Sahel m.h.a. fjärranalys från satellit. Resultaten visar att Sahel kanske håller på att återhämta sig från torkan.

Debatten om hur man ska sköta naturliga resurser och säkra levebrödet för Sahels invånare var igång redan på 1970-talet och än idag diskuteras vad som driver förändringarna i Sahel (Charney, 1975; Nicholson, 1989; Helldén, 1991; Olsson, 1993; Olsson et al., 2005). Är det naturliga variationer i klimatet, antropogen påverkan eller en kombination? Vad är orsak och vad är verkan?

I denna uppsats har jag studerat om människans aktiviteter kan ha någon betydelse för den ökade grönska som uppmäts med satellit. Först kommer en kort bakgrund om hur det har sett ut i Sahel historiskt och sedan en närmare granskning av de senaste decennierna och eventuella förändringar.

1.2 Syfte

Syftet med uppsatsen är att studera människans påverkan på vegetationen i Sahel genom markanvändning och andra ekonomiska aktiviteter och att undersöka om dessa faktorer kan ha bidragit till de observerade förändringarna i NDVI som uppmäts med satellit. Jag vill även studera hur förändringar och osäkerhet i nederbörden påverkar människans aktivitet och om det i sin tur kan påverka grönskan. Genom att diversifiera sina inkomster blir befolkningen mindre beroende av jordbruket för sin försörjning. Antropogena aktiviteter som kan påverka vegetationen och därför studeras i denna uppsats är:

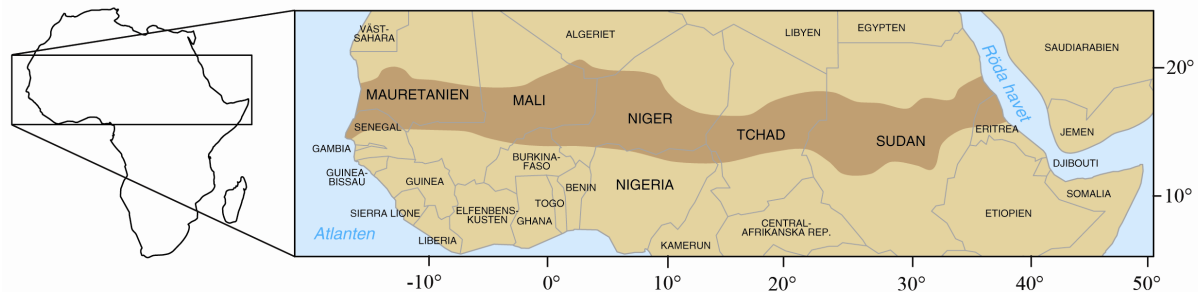
- Markanvändning
- Markvård
- Boskap
- Träda
- Jordförbättring
- Diversifiering

1.3 Områdesbeskrivning

Sahel är ett semiaritt gräs- och busklandskap i Afrika. Området är ca 180 miljoner hektar och sträcker sig från Atlanten i väst till Röda havet i öst.

Nederbörden är en begränsande faktor för vegetationen i Sahel och därför används medelnederbörden ofta som avgränsning för Sahels nordliga och sydliga utbredning. Gränsen i norr mellan Sahara och Sahelområdet går vid en årsmedelnederbörd på 100 +/- 50 mm år⁻¹ och den södra gränsen vid 600 +/- 100 mm år⁻¹ (Le Houérou, 1989). Sahels geografiska

utbredning ligger då mellan 10°N och 20°N (Xue och Shukla, 1993; Seaquist, 2001), se figur 1.



Figur 1. Det mörkare området i kartan till höger visar Sahels ungefärliga utbredning.

Regnsäsongen infaller mellan maj och oktober, när den intertropiska konvergenzonen (ITCZ) når sin nordliga vändpunkt (Le Houérou, 1980). Mest nederbörd faller normalt i augusti, men det är stor variation mellan åren i när, var och hur mycket nederbörd som faller. Generellt avtar mängden nederbörd från söder mot norr.

I början av regnsäsongen kan temperaturen stiga till ca 45°C, medan de lägsta temperaturerna runt 15°C, noteras i december och januari (Le Houérou, 1980).

Det finns bara två bergsområden i Sahel, och geomorfologin består till stor del av låga (< 600 m) sanddyner, wadis¹ och plataer. Nederbörden infiltrerar eller evaporerar snabbt vilket gör att det sällan finns några öppna vattendrag efter regnsäsongen.

Höga temperaturer och lite nederbörd under vegetationssäsongen i kombination med höga temperaturer och låg luftfuktighet under resten av året är nästan omöjliga förhållanden för perenn vegetation och har stark påverkan på årenas livscykel (van Keulen och Breman, 1990). Örterna är gröna ca 1-3 månader per år i Sahel beroende på hur och när nederbörden faller (White, 1983).

Sahel kan delas in i tre underzoner beroende på floran, vegetationens och djurlivets distribution, se tabell 1. I övergången från Sahara till Sahel består vegetationen till stor del av grässtäpp med enstaka lövfällande buskar. Gradvis övergår vegetationen till årliga gräsarter och små träd innan man kommer in i Sudans savannlandskap längre söderut. Sudan används här inte för att beteckna nationen Sudan utan för den eko-geografiska zonen Sudan (Soudan). I denna studie är det främst nationerna Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal, Sudan och Mauretanien som studerats.

¹ Wadis = tillfälligt vattendrag.

Tabell 1. Tre underzoner i Sahel (Le Houérou, 1989).

Underzon	Årsmedelnederbörd [mm]	Vegetation
Övergången Sahara-Sahel	100-200	Grässtäpp
Egentliga Sahel	200-400	Annuella gräsarter, få buskar, låga träd
Övergången Sahel-Sudan	400-600	Savann, annuella gräsarter, buskar, träd

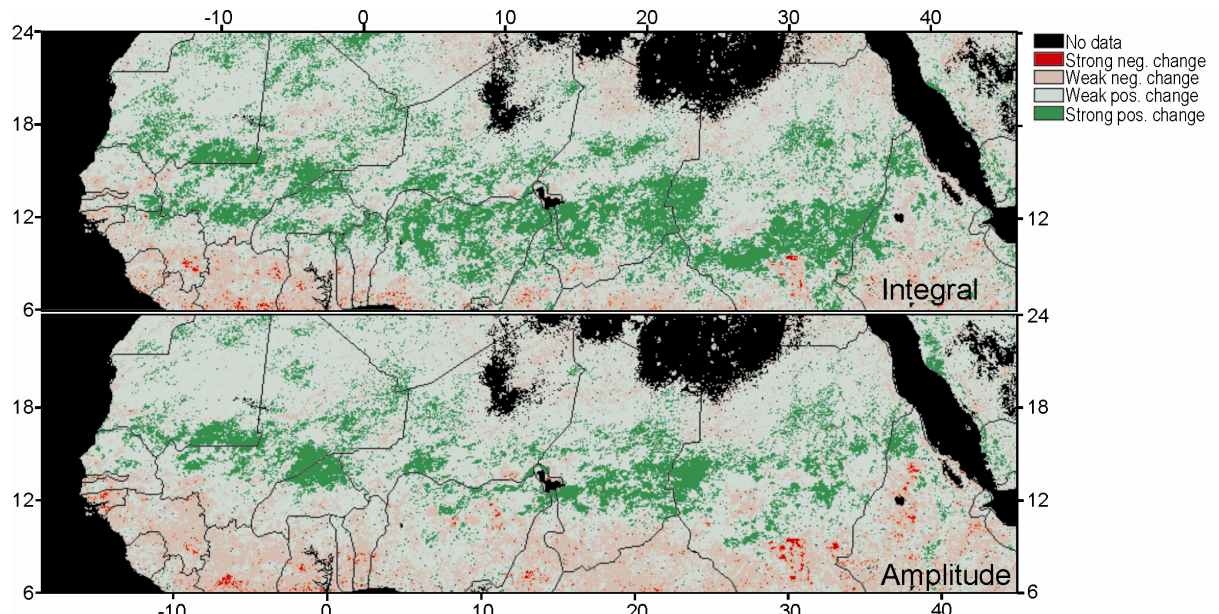
1.4 Bakgrund

Efter torrperioden under början av 1970-talet bjöd FN in till en konferens i Nairobi 1977. Man kom fram till att Sahelområdet var utsatt för en omfattande och oåterkallelig ökenspridning orsakad av antropogen verksamhet. Bristen på data och för få vetenskapliga studier gjorde att FN:s slutsatser ifrågasattes (Charney, 1975; Nicholson, 1989; Helldén, 1991; Olsson, 1993; Olsson et al., 2005).

Vad som påverkar grönska är ännu oklart, men det finns två "huvudteorierteorier" om vad som påverkar Sahels ekosystem. Enligt jämvikts-teorin (equilibrium approach) är det en långvarig antropogen påverkan som skapar degradering av Sahels ekosystem. Boskapsskötsel är en av huvudinkomsterna för befolkningen och därför håller man fler boskapsdjur än vad ekosystemet klarar av. Högt betetryck påverkar vegetationssammansättningen på betesmarkerna och kan leda till minskad produktion av biomassa. Om produktionen minskar blir befolkningen mer sårbar vid en ny torrperiod (Le Houérou, 1989). Den andra teorin är icke-jämvikts-teorin (nonequilibrium approach) som i första hand förespråkar att det är en mer slumpmässig påverkan utifrån som driver förändringarna av Sahels ekosystem. Variationer i den årliga nederbörden skulle kunna vara en drivande faktor av förändringar i vegetationen. Om en torrperiod följs av ett par år med mer nederbörd skulle vegetationen kunna återhämta sig fullt ut (Sullivan och Rohde, 2002). El Niño-/La Niña-fenomen och förändringar i oceanernas ytvattentemperatur är faktorer som kan påverka klimatet i Sahel (Herrmann et al., 2005).

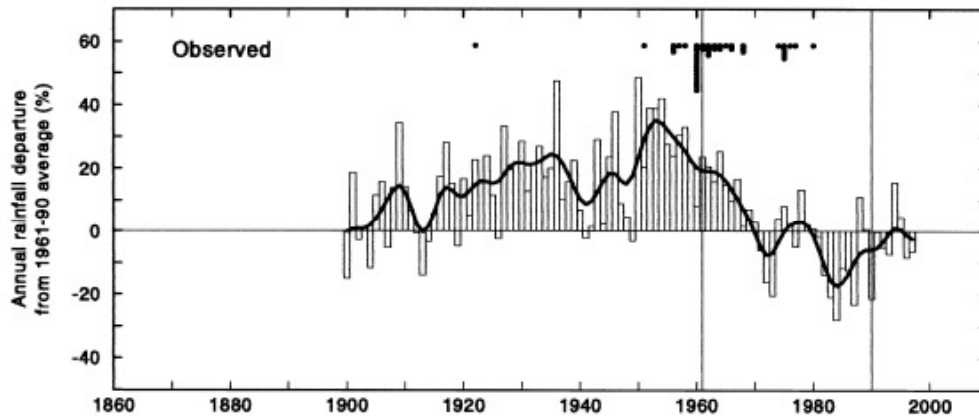
Genom analys av vegetationsindexet NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) beräknat från fjärranalysdata mellan 1982 och 2003 visar flera författare (Eklundh och Olsson, 2003; Eklundh och Sjöström, 2005; Herrmann et al., 2005; Olsson et al., 2005) att Sahel blir grönare, se figur 2. Den översta kartan visar förändringar i förhållanden till säsongsintegralen, som visar totalt NDVI över vegetationssäsongen. Den nedre kartan visar

hur NDVI-värdets säsongsamplitud förändrats mellan 1982 och 2002. Resultat som dessa kan visa på att mängden vegetation i Sahel ökar och att den håller på att återhämta sig från torråren på 1970- och 1980-talet.



Figur 2. NDVI-trend (integral, överst och amplitud, nederst) i Sahel 1982-2002 (Eklundh och Sjöström, 2005, sid. 2).

Vad som orsakat denna grönska är ännu oklart, men analyser av nederbördsdata visar att nederbörden generellt har ökat från mitten av 1980-talet (Hulme, 2001; Nicholson, 2005), se figur 3. Även om de fuktiga förhållandena som rådde under 1950- och 1960-talet ännu inte uppnåtts (Witting et al., 2007), så stödjer en ökad nederbördsmängd icke-jämvikts-teorin om att Sahel ekosystem styrs av förändringar i nederbörden.



Figur 3. Observerad nederbördsdata i Sahel 1900-1997 i förhållande till medelnederbörden (428 mm) 1961-1990. Prickarna, överst i figuren, representerar året för varje afrikansk nations självständighet. Den svarta linjen är resultatet av ett 10-års low-pass-filter (Hulme, 2001, sid. 21).

Hickler et al. (2005) har m.h.a. LPJ-DGVM-modellen simulerat olika klimatfaktorer som kan ha betydelse för grönskan i Sahel. Resultaten visar att det är sannolikt att det är nederbörden som gör att NDVI ökat mellan 1982 och 1998.

Även om flera studier visar på förändringar i klimatet är korrelationen mellan nederbörd och NDVI inte alltid så stark att andra faktorer kan uteslutas (Olsson et al., 2005). Sahel är också ett kulturlandskap som människan påverkar med sin närvaro. Befolkningen anpassar sig till den oberäknliga nederbörden på olika sätt för att överleva. Förändringar i markanvändningen såsom utökad odlingsareal, nya odlingstekniker, förändringar i betesmönster och gödsling kan helt eller delvis vara orsaker till den grönare trenden. Vedinsamling och demografiska mönster kan vara andra orsaker som påverkar grönskan (Olsson et al., 2005). Förändringar i markanvändningen och den naturliga vegetationen kan påverka markytans energibalans, som i sin tur kan påverka klimatet (Xue och Shukla, 1993; Xue och Shukla, 1994; Pielke et al., 2007).

1.5 NDVI - Normalized difference vegetation index

Ombord på NOAA-satelliterna (National Oceanic and Atmospheric Administration) finns AVHRR-sensorer (Advanced Very High Resolution Radiometer). Data från dessa sensorer används inom flera miljörelaterade områden, bl.a. då vegetation över stora områden ska kartläggas. Olika matematiska kombinationer av data från den röda kanalen (R, 0,58-0,68 μm) och den infraröda kanalen (NIR, 0,73-1,10 μm) har visat sig vara bra indikationer på närvaron av och tillståndet hos vegetation. NDVI är ett av flera vegetationsindex.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (\text{Ekvation 1})$$

I det röda området reflekterar vegetationen inte så mycket strålning eftersom klorofyllet absorberar den. Däremot i NIR-området reflekterar den gröna biomassan mycket av strålningen. Vegetation ger därför ofta höga NDVI-värden. Däremot reflekterar moln, vatten och snö mer i det röda området än i det infraröda och resulterar i negativa NDVI-värden. Reflektansen för stenar och bar jord skiljer sig inte så mycket åt i de båda våglängdsbanden och ger ett NDVI-värde runt noll. Ekvation 1 ger ett värde på NDVI mellan -1 och 1.

Även om det finns många icke-vegetativa faktorer som kan påverka är NDVI det mest använda indexet. Forskning har visat på samband mellan NDVI och olika vegetationsfenomen som variationer i vegetationssäsongen på global och kontinental skala, LAI-mätningar och uppskattningen av biomassa (Lillesand et al., 2004).

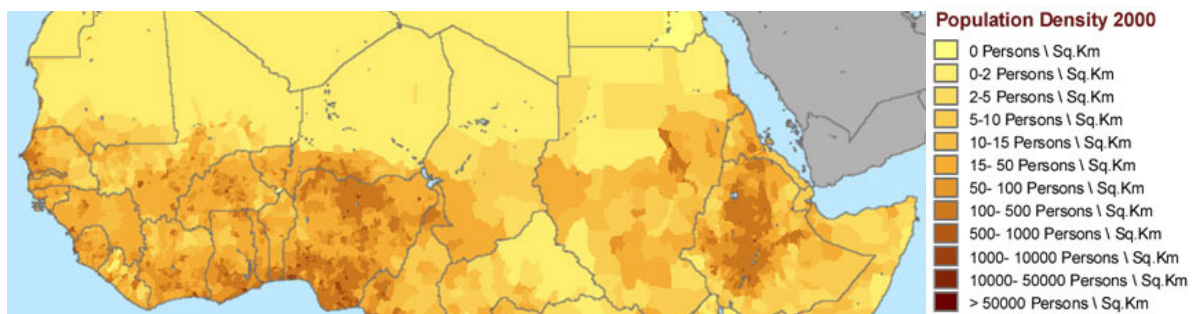
I ett odlingsfält har grödornas densitet och typ av gröda betydelse för NDVI-värdet. Enligt Uchida (2001) är NDVI i både odlade fält och fält i träda lägre än ett sparsamt naturligt bevuxet område under torrsäsongen. Däremot kan NDVI i ett odlat fält under vegetationssäsongen vara lika högt som tät naturlig vegetation.

2. Antropogena förhållanden i Sahel

2.1 Befolkning och jordbruk

I Sahel är befolkningen ojämnt fördelad p.g.a. naturförhållandena, se figur 4. Befolkningstätheten är som störst i närheten av de stora floderna. Den rurala befolkningen är i majoritet och upp till 80 % av en nations befolkning kan bo på landsbygden. Muslimer och kristna finns representerade i befolkningen men många tillhör någon av de inhemska afrikanska religionerna (Nationalencyklopedin, 2007 a).

Jordbruket i Sahelområdet karakteriseras av ett extensivt jordbruk utan större tillförsel av resurser utifrån. Användningen av modern teknik är nästan obefintlig och det mesta av arbetet inom jordbruket görs manuellt. Jordbruket inriktas i första hand på självförsörjning. De vanligaste grödorna är hirs, durra, kassava och bönor. Ris, jordnötter och bomull odlas också i delar av Sahel, men då främst som avsalugrödor (Nationalencyklopedin, 2007 a).



Figur 4. Befolkningstätheten [personer km²] 2000 i delar av Afrika (PLACE II, 2007).

2.2 Markanvändning

Torka och befolkningsökning är två faktorer som kan påverka markanvändningen. För att tillgodose matbehovet hos en växande befolkning måste odlingsteknikerna på befintliga odlingar intensifieras eller ny mark odlas upp på bekostnad av den naturliga vegetationen. Uppodling av naturlig vegetation förknippad med bristfällig markvård kan orsaka näringsläckage och erosion (Eva et al., 2006). Denna omvandling kan förändra markytans albedo, som i sin tur kan påverka klimatet. Ett ökat albedo skulle kunna påverka det regionala klimatet så att nederbörden minskar (Xue och Shukla, 1993; Xue och Shukla, 1994). Charney (1975) var först med att lägga fram en hypotes om att förändringar i ytalbedo kan påverka klimatet och att det kan vara biogeofysiska återkopplingsmekanismer som orsakar dessa förändringar.

2.3 Markvård

Reij et al. (2005) beskriver att efter torråren i början av 1970-talet var många av träden försvunna och buskvegetationen hade tunnats ut i Burkina Faso. I början av 1980-talet var situationen där ungefär densamma som i andra områden i Sahel. Jordbruksarealerna utökades ut i marginalområdena, nederbörden och avkastningen minskade, sjunkande grundvattennivå och befolkningsmigration till fuktigare områden.

Situationen gjorde att de jordbrukare som ville stanna och arbetare inom olika projekt började experimentera med olika vatten- och jordförbättringstekniker (soil and water conservation, SWC). Experimenterandet resulterade i att flera SWC-projekt startades med syfte att förbättra kontrollen av nederbörden och avrinningen. För att minska ytavrinningen byggdes rader av låga stengärden. Stenar användes också för att hindra att ravinerna bredde ut sig. De traditionella odlingshålén (*zai*) utökades och man började placera organiskt material i hålén under torrsäsongen. Genom att minska ytavrinningen och öka infiltrationen hoppades man att erosionen skulle minska och avkastningen öka (Reij et al., 2005).

2.4 Boskap

Nötkreatur, får och getter är vanligt förekommande boskap i Sahel, det finns många fjäderfän och även en del grisar (FAO, 2005). Att hålla sig med husdjur har flera fördelar (Bolwig, 2001). Husdjuren förser hushållen med kött, mjölk, ägg, fiber, hudar, transport, arbetskraft (Romney et al., 1994) och inte minst gödsel (Bolwig, 2001). Då det blir missväxt är boskapen en försäkring. Genom att sälja sin boskap får hushållen kontanter som kan användas till att köpa mat och andra nödvändigheter (Romney et al., 1994).

2.5 Träda

Att lägga odlingsmark i träda är ett sätt att bibehålla eller t.o.m. öka markens näringsstatus. Träda är en metod som ofta används i områden som Sahel där jordbruket är viktigt för överlevnaden och andra metoder för att öka näringsstatusen i marken är få.

I olika delar av Sahel använder man sig av olika trädesmetoder. Förr odlade jordbrukarna i Niger ett fält i 2-5 år för att sedan låta dem ligga i träda i långa perioder, längre än 15 år, medan andra fält odlades. Efterhand som befolkningen ökat har trädesperioderna kortats ner för att tillgodose behovet av mat och på 1970-talet låg ett fält i träda i ca åtta år. De flesta jordbrukare hade större areal i träda än som odlades under 1970- och 1980-talet (Wezel och Haigis, 2002).

I Sudan använde man fram till 1984 ett trädssystem (*Acacia senegal* bush fallow) där trädet *A. senegal* odlades som en del i växtföljden. Fälten delades upp i tre lika stora delar där man under de första sex åren lät trädet *A. senegal* växa på en del och tappas på gummi arabicum. När gummiproduktionen upphörde fälldes träden och marken odlades tills näringsstatusen i marken minskat, efter ca sex år. Därefter upphörde odlingen och träden fick växa till sig så att tappningen kunde återupptas (Elmqvist och Khatir, 2007).

2.6 Jordförbättring

För att återställa och/eller behålla näringsstatusen när trädperioderna minskar använder jordbrukarna sig av gödsel, gödningsmedel och kompostavfall (Harris, 2002; Wezel och Haigis, 2002). Gödsel innehåller flera näringsämnen (N, P, K och mikronäringsämnen) och kan förbättra markens pH, kapaciteten för utbytet av katjoner, förmågan att hålla vatten och förbättra markens jordstruktur (Harris, 2002). Fröer som finns med i gödseln kan påskynda återväxten av den naturliga vegetationen (Kaboré och Reij, 2004).

Eftersom gödseln bryts ner långsamt får marken ett tillskott av näring under hela vegetationssäsongen och ibland även till följande vegetationssäsonger. Då gödsel ofta är en bristvara roterar man gödslingen mellan olika fält från år till år. Markens näringsstatus skiljer sig även inom fälten och vid brist på gödsel placeras den ut för hand på strategiska platser istället för att spridas. Gödsling är arbetskrävande vilket gör att fält nära byn gödslas mer frekvent än de som ligger mer avlägset (Harris, 2002).

Gödseln kan bestå av endast exkrementer men kan också vara uppblandad av olika andelar urin, oätligt foder, växtdelar, matlagingsrester och aska (Harris och Yusuf, 2001). Beroende på vad djuren ätit och hur hanteringen av gödseln sköts så varierar näringsstatusen i densamma (Harris, 2002). Romney et al.:s (1994) studie visar att djurens diet har betydelse för hur bra näringsinnehåll gödseln får. Gödselns näringsinnehåll påverkas också av hur den hanteras och lagras. Lagring kan leda till förlust av kväve (Harris, 2002). Eftersom det är arbetskrävande att hantera gödsel föreslår Harris och Yusuf (2001) att jordbrukarna ska koncentrera sig på åtgärder för att höja kvalitén på den gödsel som finns istället för att öka dess volym.

Foder till djuren kan vara en bristvara och därför kan det vara svårt för jordbrukaren att påverka gödselns kvalitet genom djurens diet. Istället får man prioritera bra lagringsmöjligheter och vara noggrann i planeringen av när och var gödseln ska spridas för maximal näringsvinst.

Det finns flera olika metoder för fodring av djuren, hantering och spridningen av gödsel. Ett sätt är att låta djuren beta på fälten när man tagit hand om skörden. Näringsförlusten är stor då man låter gödseln ligga kvar på fälten under flera månader och låter den påverkas av värme, sol och vind. Det finns inte heller någon garanti för att djuren lämnar sin spillning på fältet. För att säkerställa detta kan jordbrukare och herdar komma överens om att djuren får äta överblivna växtdelar på det skördade fältet mot att boskapen tjudras fast nattetid så att gödseln hamnar på rätt ställe. Denna överenskommelse gör att herden får mat till sina djur samtidigt som jordbrukaren får gödsel till sina fält. Djurens släpps ofta på fälten innan eller precis när regnsäsongen börjar. När regnsäsongen närmar sig gör den ökade luftfuktigheten att växtligheten kommer igång. De färska växterna ger näringsrik föda till djuren som i sin tur levererar näringsrik gödsel. Djuren flyttas efter ett par nätter på samma fält för att undvika att de trampar sönder jorden (Harris, 2002) och för att hinna med en så stor areal som möjligt på den korta tiden innan sådd (Powell och Mohamed-Salam, 1987).

Powell och Mohamed-Salams (1987) studie i Nigeria (årsmedelnederbörd ca 1 300 mm.) visar att en hjord nötkreatur på 50 djur bidrar med 41-104 kg kväve ha⁻¹ och 10-15 kg fosfor ha⁻¹.

Var fodret till djuren kommer ifrån har betydelse för att upprätthålla jordbrukssystemet. Det finns flera metoder för hur man kan påverka näringsstatusen på sina fält. Variationen är stor mellan byar men även mellan hushållen i samma by. Metoderna varierar beroende på hushållets tillgång av boskap, dragdjur, arbetskraft, foder och betesmark (Harris, 2002).

Det finns två huvudmetoder, som det i sin tur finns flera variationer av, för var näringen kommer ifrån. Den ena metoden går ut på att man låter djuren beta på betesmark och sedan används gödseln på odlingsfälten. Denna metod (rangeland-to-cropland) gör att näringsämnen flyttas från betesmarken till odlingsfältet och på detta sätt skördar jordbrukaren näringsämnen från både betet och odlingsmarken (Harris, 2002). Risken med denna metod är att betestrycket kan bli för högt och näringsstatusen i betesmarken minskar (Turner, 1994). Metoden förutsätter att det finns någon betesmark i form av naturligt bete eller mark i träda.

I delstaten Kano i norra Nigeria finns ingen betesmark och inte heller någon möjlighet att lägga mark i träda. Där använder man sig istället av en annan metod (cut-and-carry) som bygger på integrering av odling och boskap, en slags återvinning av näringsämnen. Djuren betar på fälten under torrperioden. När fälten odlas håller man djuren uppstallade och istället skördas och bärs fodret till djuren som inte alls betar under denna period. Allt som kan användas som foder till djuren sparas och samtidigt lagras all gödsel för att användas när och där den bäst behövs. Att detta sker inom samma enhet gör att kontrollen över resurserna blir bättre och att användningen av näringsämnena blir mer effektiv (Harris, 2002).

Harris (2002) tycker att det är svårt att ge generella riktlinjer som passar alla jordbrukare eftersom det finns en stor variation av idéer och strategier för hur man ska hantera gödsel och gödning.

Mängden gödsel som finns tillgänglig är beroende av antalet boskapsdjur, som i sin tur bestäms av mängden tillgängligt foder (Williams, 1999). Foderproduktionen är beroende av den oregelbundna nederbörden och varierar därför (Williams et al., 1995). Beräkningar har gjorts för att se hur mycket betesmark som behövs för att genom boskapen förse den odlade marken med tillräckligt mycket gödsel för att behålla näringsstatusen. Om förhållandet mellan betesmark och odlingsmark blir för låg kan jordbrukarna inte längre förlita sig på att tillförseln av gödsel på odlingsfälten kompenserar den näringsförlust som försvinner med skörden (Harris, 2002). Det finns forskningsresultat (bl.a. Harris, 2002; van Keulen och Breman, 1990) som visar att det inte finns tillräckligt med gödsel för att upprätthålla näringsstatusen i marken.

Van Keulen och Breman (1990) diskuterar i sin studie hur man kan gå tillväga för att få en positiv näringsbalans i Sahels jordar då det under visa förhållanden är bristen på näringsämnen, som är den begränsande faktorn för vegetationen. Billiga men arbetskrävande jordförbättringsmetoder som de föreslår är förbättrad erosionskontroll, samodling med grödor och kvävefixerande vegetation, växelbruk och trädjordbruk.

Ett sätt att öka kvävehalten i fälten är att så kvävefixerande växter t.ex. jordnötter, *Arachis hypogaea* och vignaböna, *Vigna unguiculata* (Romney et al., 1994). Då produceras näringsrikt foder som genom djuren sedan kommer tillbaka till fälten som gödsel. Harmattan för med sig näringsrikt stoft till Sahel och är tillsammans med kvävefixerande växter ett av få naturliga sätt som ny näring tillförs systemet (Harris, 2002).

Att lämna kvar överblivna växtdelar på fälten kan bidra till att behålla näring och fukt i marken samt att minska marktemperaturen och hindra erosion på fälten (Tilander och Bonzi, 1997). Om vindhastigheten reduceras av växtdelarna kan vindburet stoft deponeras. Eftersom överblivna växtdelar är en bristvara i Sahel då jordbrukaren tvingas att använda dessa till andra ändamål, som foder till sina djur, byggmaterial eller ved, så används denna metod inte så ofta (Benites, 2005; Enyong et al., 1999). I flera nationer i Sahel är det svårt för jordbrukaren att skydda sina fält efter att skörden är omhändertagen eftersom fälten då blir allmänningar som får utnyttjas av alla. Angrepp av skadeinsekter gör också att det i slutet av torrsäsongen sällan ligger några växtdelar kvar på fälten (Benites, 2005).

Oorganiska gödningsmedel introducerades i Nigeria på 1950-talet (Mortimore, 2001). Användningen av oorganiska gödningsmedel i västra Afrika är liten ($0,3-13,1 \text{ kg ha}^{-1}$)² (Gerner och Harris (1993) i Williams, 1999). Oorganiska gödningsmedel används först och främst till avsalugrödor (Breman et al., 2001; Turner, 1994). Även om oorganiska gödningsmedel har sina fördelar, då de är lättare att hantera än gödsel, förblir användningen låg. Främsta anledningen är att gödningen är dyr. Att det inte finns så mycket gödning tillgängligt på marknaden och problem med transporter bidrar också till att hålla användningen nere (Breman et al., 2001; Harris, 2002).

Flera studier (Klajic och Serafini, 1990; Breman et al., 2001) visar att avkastningen ökar om man använder sig av någon form av eller en kombination av jordförbättringsmetoder. Vid användning av enbart oorganiska gödningsmedel riskerar man att försura jorden. Detta kan motverkas genom att öka jordens organiska innehåll (Breman et al., 2001).

2.7 Diversifiering

Alla hushåll i Sahel är unika och har olika förutsättningar för att lyckas vara självförsörjande. Resurser i form av kapital, arbetskraft, boskap, tillgång till mark och inkomster varierar mellan hushållen. Variationen av resurser skapar en mängd olika strategier för att säkra tillgången på mat åt hushållet. Att ett hushåll har säker tillgång till mat behöver inte nödvändigtvis föregås av en hög produktion i jordbruket (Ellis, 2000).

Att odla flera olika grödor, istället för att specialisera sig på en avsalugröda, är en strategi för att minska risktagandet inom jordbruket (Ellis, 2000). På så sätt garanteras man en minimumskörd istället för en mycket bra skörd om nederbörden kommer vid rätt tillfälle (Reenberg et al., 1998).

Att ha inkomster från sysselsättning utanför jordbruket är en annan strategi för att sprida risktagandet och öka chanserna för att vara självförsörjande även om jordbruket drabbas av missväxt. Diversifiering är nyckeln till självförsörjning och överlevnad i Sahel (Bolwig, 2001; Elmqvist och Olsson, 2006).

² I en skånsk höstveteåker rekommenderas en kvävegiva på 153 kg ha^{-1} vid odling till foder (Jordbruksverket, 2007)

3. Förändringar i Sahel, 1970-2007

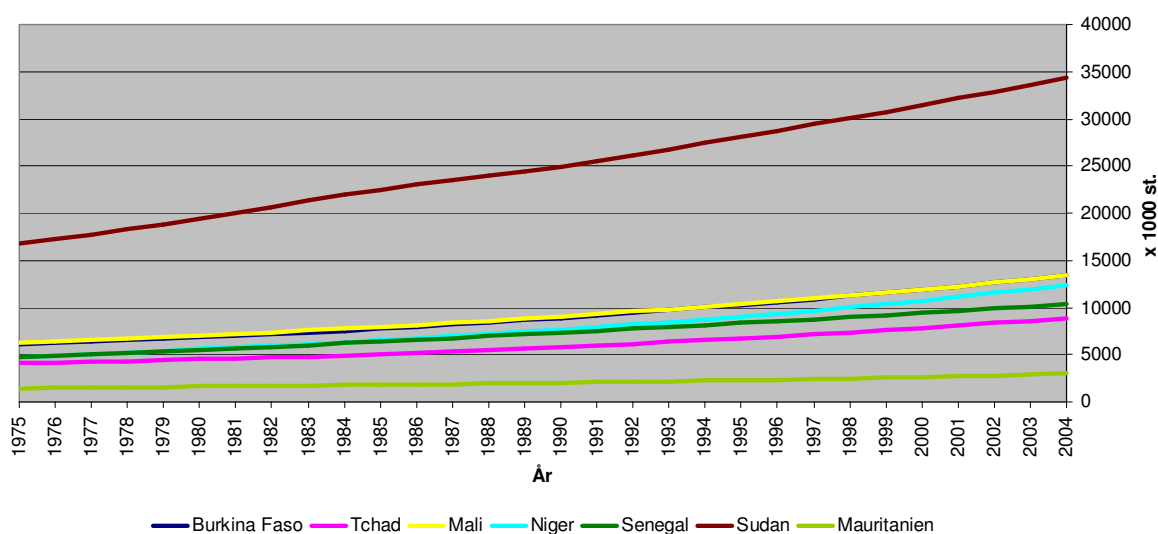
3.1 Befolkning och jordbruk

Befolkningstillväxten är hög i Sahel och i alla nationer har befolkningens mängd mer än fördubblats från 1975 till 2004, se tabell 2. Tillväxttakten i Burkina Faso, Mali, Niger och Sudan var 2,3-3,5 % år⁻¹ mellan 1980 och 2002. Den urbana befolkningstillväxten är högre (5,1-7,7 % år⁻¹) än den rurala (0,9-2,9 % år⁻¹) under samma period (FAO, 2005). Befolkningsökningen för alla länder redovisas i figur 5 och tabell 2. Enligt FAO:s (2007 a) befolkningsprognos fram till 2050 förväntas Sahels befolkning att fortsätta växa.

Tabell 2. Visar befolkningen i tusental och förändringen i procent i Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal, Sudan och Mauretanien, 1975-2004 (FAO, 2007 a).

Land	Befolkning 1975	Befolkning 2004	Ökning [%]
Burkina Faso	6 094	13 393	120
Tchad	4 096	8 854	116
Mali	6 290	13 409	113
Niger	4 790	12 415	159
Senegal	4 806	10 339	115
Sudan	16 718	34 333	105
Mauritanien	1 423	2 980	109

Total befolkningsökning 1975-2004

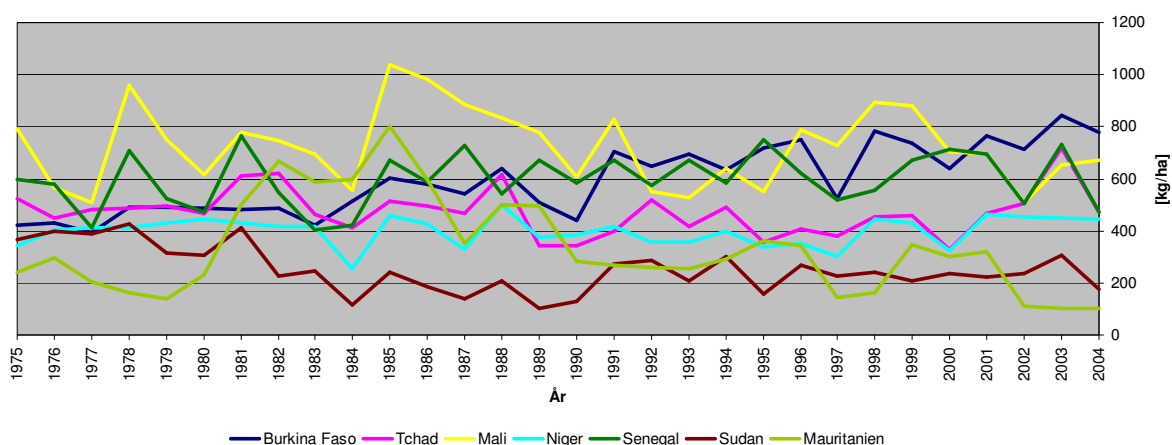


Figur 5. Visar den totala befolkningsförändringen i Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal, Sudan och Mauretanien, 1975-2004 (FAO, 2007 a).

Enligt officiell nationell statistik är Burkina Faso det enda landet (av Tchad, Mali, Niger, Senegal, Sudan och Mauretanien) som har ökat sin avkastning av hirs och durra (kg/ha) mellan 1975 och 2004, se figur 6. Avkastningen i de andra länderna ligger på ungefär samma nivå eller har som i Sudan minskat under samma tidsperiod (FAO, 2007 b). I Tchad, Mali, Niger och Sudan kan man observera en tydlig minskning i avkastningen 1984. I alla länder ser man en ökad avkastning 1985 när nederbörden åter ökar. Mauretanien avviker från de andra nationerna med att ha relativt hög avkastning under 1980-talet för att sedan återigen sjunka till samma nivåer som på 1970-talet.

En minskad avkastning per hektar tyder på att jordbruket inte genomgått någon intensifiering. Trenden med ökad avkastning i Burkina Faso stämmer dock bra överens med de ökade NDVI-värden som observerats över nationen.

Avkastning av hirs 1975-2004



Figur 6. Visar avkastningen [kg/ha] av hirs i Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal, Sudan och Mauretanien, 1975-2004 (FAO, 2007 b).

Sedan den första torrperioden på 1970-talet har man arbetat med att ta fram mer torktåliga grödor som mognar fortare. Det finns fler olika sorters hirs, durra och vignabönor som är anpassade till olika nederbördsmönster. Det finns även en melonsort som kan växa under torrperioden om den bara får lite nederbörd i början av sin växtcykel (Mortimore, 2001).

3.2 Markanvändning

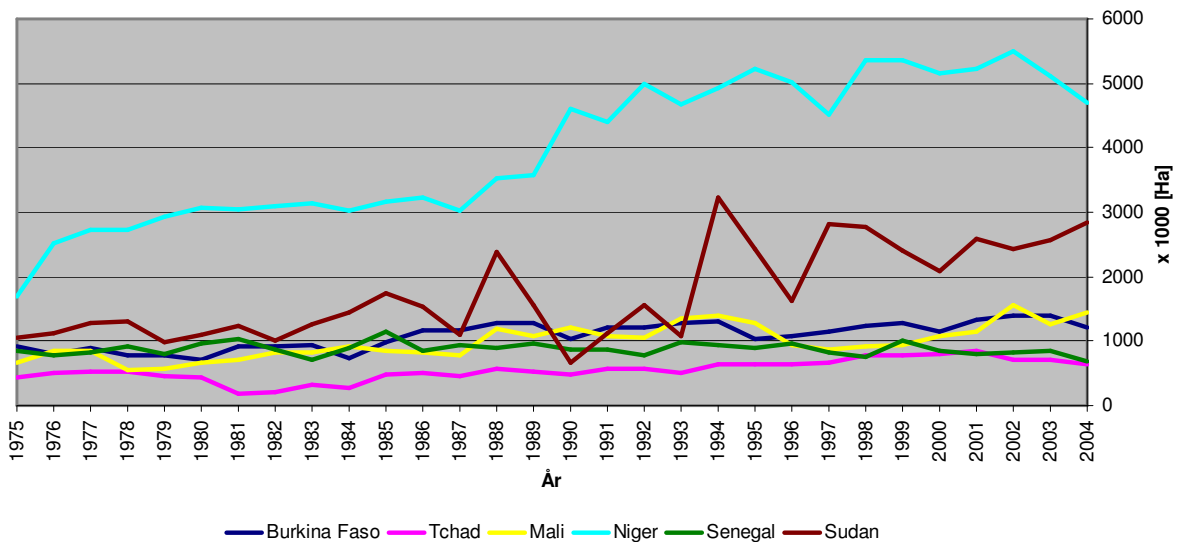
Eva et al. (2006) har undersökt hur markanvändningen förändrats i Afrika söder om Sahara från 1975 till 2000. Resultaten visar att jordbruksarealerna i Sahel har ökat från 22,1 miljoner hektar till 39,6 miljoner hektar, vilket innebär att ca 1/4 av Sahel var jordbruksmark år 2000. Enligt deras beräkningar är detta en ökning av jordbruksarealen³ med i genomsnitt 699 000 ha eller 2,3 % år⁻¹, under tidsperioden 1975-2000, på bekostnad av den naturliga vegetationen. I studien användes satellitscener från 1975 och 2000. I scenerna har man definierat olika vegetationsklasser och sett hur de förändrats över tiden. Totalt har man studerat 57 områden i Afrika, varav ca 10 stycken i Sahel- och Sudanområdet.

Att jordbruksarealerna utökats i Burkina Faso, Mali, Niger och Sudan mellan 1980 och 2002 stöds av uppgifter från FAO (2005). I figur 7 och 8 presenteras den skördade arealen av de två vanligaste grödorna, hirs och durra, från 1975-2004 (FAO, 2007 b). Den skördade arealen [ha] av hirs och durra har mer än fördubblats i Mali, Niger och Sudan sedan 1975, vilket kan vara ett tecken på att den totala odlingsarealen har utökats. I övriga länder har odlingsarealen

³ Skånes yta är ca 1,1 milj. ha (Nationalencyklopedin, 2007 b)

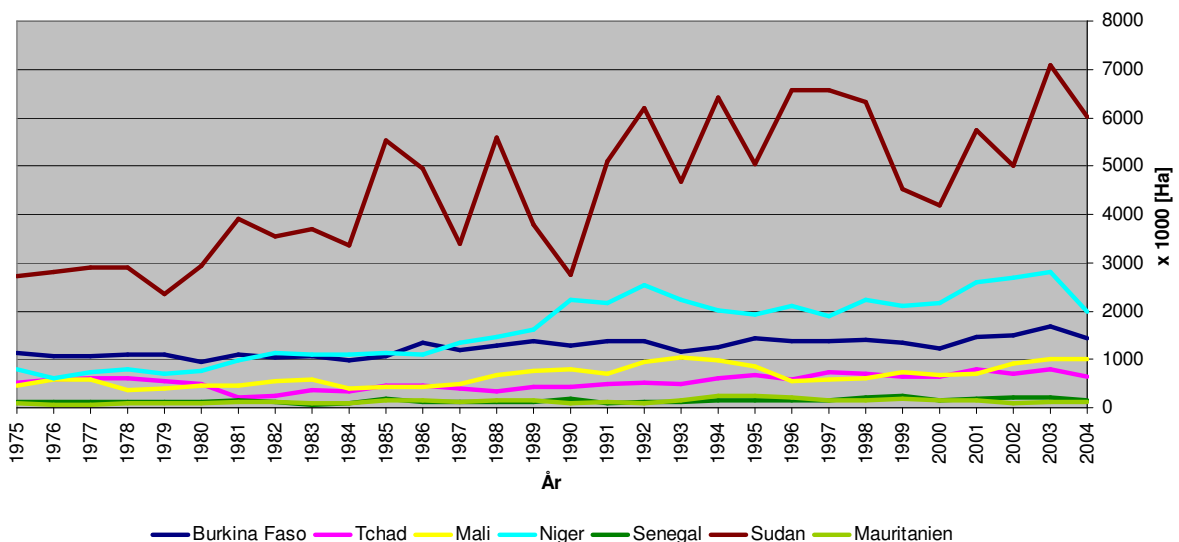
av hirs och durra ökat eller varit relativt konstant sedan 1975. I Tchad har det totalt sett skett en ökning av den skördade arealen av grödorna även om det under mitten av 1980-talet skedde en minskning av arealen.

Skördad areal av hirs 1975-2004



Figur 7. Skördad areal [Ha] av hirs i Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal och Sudan, 1975-2004. Hirsproduktionen i Mauretanien är liten och redovisas därför inte i diagrammet (FAO, 2007 b).

Skördad areal av durra 1975-2004



Figur 8. Skördad areal [Ha] av durra i Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal, Sudan och Mauretanien, 1975-2004 (FAO, 2007 b).

Eva et al. (2006) har även gjort ett försök att beräkna hur mycket mark som finns tillgänglig för jordbruk. Beräkningarna för Sahelområdet visar att jordbruket redan utnyttjar all

tillgänglig och lämplig mark. Det påverkar tillgängligheten av naturliga resurser (land, vatten, ved och bete).

En mer detaljerad undersökning av förändringar i markanvändningen har gjorts av Reenberg et al. (1998) i norra Burkina Faso. Resultatet visar på en ökning av den odlingsbara marken i studieområdet från 204,1 Ha 1945 till 734 Ha 1995 vilket motsvarar en medelökning på 2,6 % årligen. Ökningen av odlingsbar mark har inte skett kontinuerligt. Fram till 1986 och efter 1989 skedde en långsam utökning av odlingsarealen, medan däremot mellan 1986 och 1988 skedde en snabb ökning med 11,8 % år⁻¹. Totalt har den odlade arealen ökat med 260 % från 1945 till 1995 i studieområdet. Satellitscener, flygbilder, GPS-mätningar och intervjuer låg till grund för studien. Flygbilderna var från årsskiftet 1955/1956 medan satellitscenerna var tagna under regnsäsongen i september månad 1986, 1988, 1989 och oktober 1991.

Inte så långt från Reenberg et al.:s (1998) studieområde har Lykke et al. (1999) studerat förändringar i densitet och diversitet av olika trädarter från 1970-talet fram till 1995. Det har skett en minskning av det totala antalet träd, deras krontäckning har minskat och en del arter har utrotats. Detta kan ha stor betydelse för befolkningen eftersom träd och buskar är viktiga som foder, medicin, ved, byggnadsmaterial eller som råvara i produkter som säljs på marknaden för att få extra inkomster. Lykke et al. (1999) har sett att återväxten för flera arter är sämre än vad man kan förvänta sig för en population med bra och kontinuerlig återväxt. Närvaron av äldre träd har betydelse för återväxten, som fungerar bäst i skuggan av andra träd.

Stéphenne och Lambin (2001) har använt sig av en dynamisk simuleringsmodell anpassad till förhållandena i Sahel- och Sudanområdet för att se hur markanvändningen förändrats. Modellen visar på en årlig ökning av jordbruksarealen med 4,9 % mellan 1961 och 1983. Efter 1984 fram till 1997 ökar jordbruksarealen med 1,4 % år⁻¹, ett tecken på att det sker en ökad intensifiering av jordbruket under denna period, då befolkningsökningen varit konstant, sedan 1960-talet. Jämförelse gjorda av Stéphenne och Lambin (2001) mellan modellens resultat, nationell data över Burkina Faso och befintlig litteratur visar att modellens resultat är rimliga.

Det torrare klimatet har gjort att jordbrukarna flyttat sina fält från lerhaltiga jordar till sandigare. På de sandigare jordarna har växterna lättare för att komma åt den tillgängliga nederbörden. Nederbördens stora spatiala spridning gör att jordbrukarna hellre odlar på stora arealer, i förhoppning om att det regnar tillräckligt på något fält än att man intensifierar jordbruket på en mindre areal (Reenberg et al., 1998).

3.3 Markvård

Reij et al. (2005) har identifierat flera positiva förändringar i några av de byar i Burkina Faso där SWC-tekniker använts under några år, jämfört med byar som inte använt sig av någon sådan teknik.

- Avkastningen från hirs och durra har ökat med 50-60 % sedan mitten av 1980-talet.
- Odlingsarealerna har inte förändrats, vilket tyder på en intensifiering av jordbruket.
- De träd och buskar som försvann under 1970-talet och början av 1980-talet har återhämtat sig. Idag finns fler träd på de fält som bearbetats med SWC-teknik än för 10-15 år sedan, medan degraderingen fortsätter på arealer som inte odlas.
- Ökad mängd överblivna växtdelar och perenna gräsarter ger mer foder till djuren.
- Befolkning som tidigare flyttat från området börjar återvända, delvis p.g.a. de förbättrade levnadsvillkoren.

Reij et al. (2005) har gjort detaljstudier i tre byar i området. I de två byar som använt sig av SWC-teknik under en längre period (sedan 1980-talet) ser man att odlingsarealerna inte utökats i samma takt som befolkningen ökat, vilket tyder på en intensifiering av jordbruket. I den ena byn har andelen bar mark nästan halverats. Däremot i den tredje byn, som nyligen introducerat SWC-teknik, ser man att andelen bar mark varit ganska konstant sedan 1968 och att andelen jordbruksmark utan träd ökat under samma period. Storleken på ravinerna i byn har ökat, vilket tyder på erosionsproblem till följd av ett tunt vegetationstäck.

Wezel (2000) visar i sin studie i sydvästra Niger att avkastningen av hirs ökar och näringsstatusen i marken förbättras om grödan odlas på fält med buskvegetation. Jordbrukarna klipper gärna ner buskarna till marknivå innan fälten odlas för att undvika konkurrens om vatten och näring med grödorna. Runt de klippta buskarna planterar man hirs tätare i hopp om att öka avkastningen tack vare hamlingseffekten. När buskarna hamlas klipps grenarna av. Eftersom rotsystemet då får färre grenar att försörja med vatten och näring dör delar av rotsystemet och dess näringsinnehåll blir tillgängligt för annan vegetation, i detta fall hirs. De skördade löven används som foder och avklippta grenar kan användas som t.ex. byggnadsmaterial.

Wezel (2000) har undersökt hur avkastningen och näringsstatusen i marken påverkas av olika densiteter av klippta och oklippta buskar. Buskarna bromsar upp vinden så att vindburet stoft faller till marken. Näringsstatusen i marken är högre runt buskarna än på öppna fält och

avkastningen högre från grödor som växt nära buskarna. Att odla grödor i närheten av buskar har en positiv effekt på avkastningen till en viss gräns, då det uppstår konkurrens mellan grödorna och buskarna. För att få bra näringsstatus och maximal avkastning rekommenderar Wezel (2000) att man i ett fält med 250 till 450 buskar ha⁻¹ skall klippa hälften av buskarna till marknivå och låta de andra buskarna vara homogent fördelade över fältet med tre till fem orörda grenar för att minska vinderosionen. Andelen buskvegetation måste anpassas till rådande klimatförhållanden.

En fördel med denna metod, jämfört med andra jordförbättrande tekniker som oorganiskt gödningsmedel och gödsel, är att den inte kräver något kapital.

Träden bidrar med skugga på de torra savannerna och kan göra att avkastningen av grödor som växer i skuggan ökar. Skuggan har en avkylande effekt på markytan och näringsstatusen är troligtvis bättre i trädens skugga. Grödornas rotsystem riskerar att skadas om marktemperaturen är för hög. Grödorna är speciellt känsliga för höga marktemperaturer (>35°C) i början av vegetationssäsongen (Ong och Monteith, 1985). Tilander och Bonzis (1997) studie visar att tillförseln av kompost på odlingsfält kan sänka marktemperaturen och minska förlusten av markvatten.

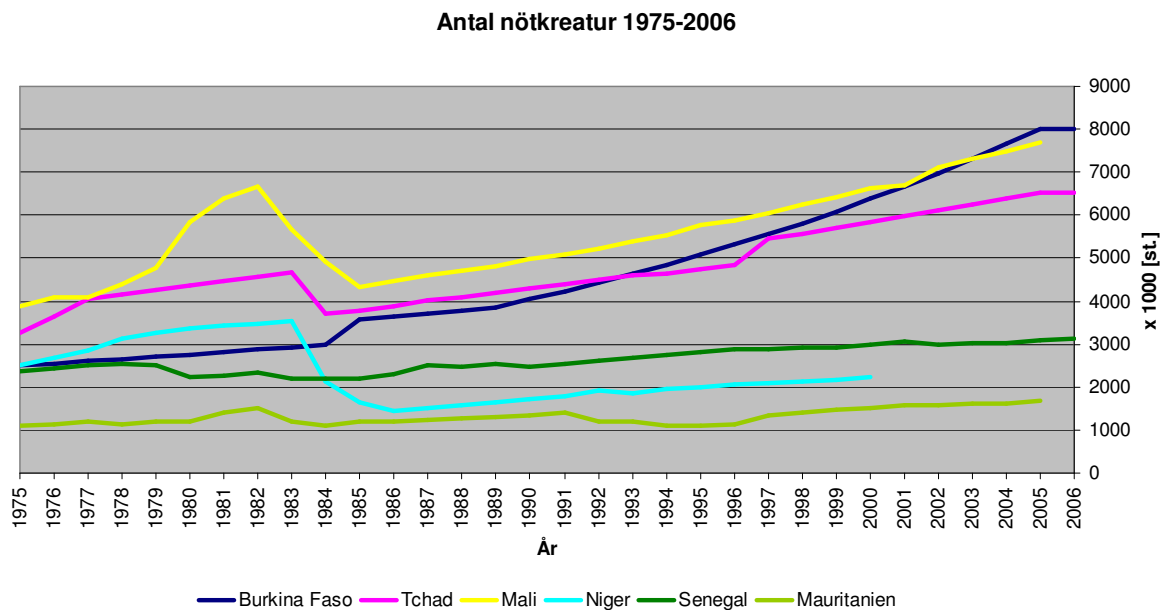
Faidherbia albida är ett lövfällande träd som växer i semi-arida Afrika. Trädets fenologi gör att arten faller sina löv strax innan regnsäsongen och är bart fram till torrsäsongen då nya löv utvecklas. Man talar om en ”*albida*-effekt” då den näring som trädet tagit upp, genom rotsystemet eller som fixerats i symbioser, faller till marken med löven lagom till att regnsäsongen börjar (Vanderbeldt och Williams, 1992).

Vanderbeldt och Williams (1992) har odlat hirs på skuggsidan av staket och kommit fram till att plantorna har större chans att överleva om marktemperaturen hålls nere genom att marken skuggas vid upprepande tillfällen. Studien visar att troligtvis hade hirs inte kunnat tillgodogöra sig den ökade mängd näring som finns under träden om det inte varit för att plantorna samtidigt skuggas av trädet. Boskapen söker gärna skugga under träden, vilket kan leda till en ökad koncentration av gödsel där.

3.4 Boskap

Det totala antalet boskapsdjur och fjäderfä i Sahel har ökat från 1980 till 2002 (FAO, 2005). Under torråren på 1970- och 1980-talet ser man en minskning av antalet boskapsdjur i alla länder, men att djuren återhämtat sig och hjordarna fortsatt att växa när nederbörden ökar, se figur 9 (FAO, 2007 c). Utvecklingen av antalet nötkreatur i Niger skiljer från andra nationer.

Där har det totala antalet nötkreatur minskat från 1975 fram till 2006, men under 1990-talet har trenden visat på en ökning med 2,6 % år⁻¹ (FAO, 2005). I Sudan har antalet boskapsdjur fördubblats från ca 18 miljoner nötdjur 1980 till drygt 38 miljoner 2002 genom en kraftig ökning efter 1990 på 6,6 % år⁻¹. En orsak till ökningen kan vara att Sudans regering 1992 startade upp en skattstabiliserande plan som stabiliserade ekonomin och gav trygghet för befolkningen att våga skaffa sig boskap (FAO, 2005).



Figur 9. Utvecklingen av antalet nötkreatur i Burkina Faso, Tchad, Mali, Niger, Senegal och Mauritania, 1975-2006. Antalet nötkreatur i Sudan är mycket högre än i övriga nationer och redovisas därför inte i figuren (FAO, 2007 c).

Ombildning på regional nivå i Sahel har gjort att säsongsmigrationen av boskap har minskat. Det gör att integreringen mellan jordbrukssystemen och boskapsskötseln underlättas, men skapar samtidigt problem, då boskapstrycket ökar i närheten av bosättningarna och brunnar. Bosättningarna finns främst i södra Sahel och Sudan och det uppstår en obalans på det regionala betetrycket. Konflikter mellan jordbrukare och herdar kan också uppstå när konkurrensen om det naturliga resurserna ökar (ILRI, 2007).

3.5 Träda

Wezel och Haigis (2002) baserar sin studie på intervjuer av 136 hushåll. Hushållen var fördelade på sju byar i södra Niger i ett område med en årlig medelnederbörd på ca 300-600 mm. Syftet med studien var att få mer information om hur jordbrukarna sköter sina odlingar och deras användning av trädesperioder. Under intervjuerna fick jordbrukarna berätta om hur

odling- och trädesperioderna förändrats under de senaste 20 åren och hur de gör för att behålla näringsstatusen på sina fält. Jordbrukarna berättade att förhållandet mellan den areal som ligger i träda och den som odlas har förändrats sedan 1970-talet. 1995/1996 odlades större arealer än som låg i träda. Trädesperioderna har kortats ner och 1996 odlas ett fält ca fem år för att sedan ligga i träda lika länge. Några uppgav i intervjuerna att de hade fält som aldrig låg i träda eftersom de måste kompensera den minskande avkastningen med utökad odlingsareal.

I Sudan har Elmqvist och Khatir (2007) sett liknande utveckling som den i Niger. Efter 1984 har trädessystemet ”*Acacia senegal* bush fallow” upphört och *A. senegal* ersatts av andra träd. Anledningarna till detta uppges vara torra och sjunkande priser på gum arabicum, samt skador på träden av boskap och gräshoppor. Troligtvis har även andra inkomstkällor utanför jordbruket gjort att man inte längre är lika beroende av gummi arabicum-produktionen. *A. senegal* är det träd som påverkar näringsstatusen i marken mest positivt och skulle kunna öka avkastningen, som minskat sedan odlingen av *A. senegal* upphörde.

Några av hushållen hade år 1997 ingen mark i träda medan andra hushåll⁴ hade all mark i träda. De flesta hushållen hade minst 50 % av sin mark i träda, vilket skulle göra det möjligt för dem att återinföra trädessystemet med *A. senegal* då det kräver att ca två tredjedelar av arealen ligger i träda. Elmqvist och Khatir (2007) baserar sin studie på fjärranalysstudier och intervjuer.

3.6 Jordförbättring

Gödsel är den jordförbättringsteknik som är mest tillgänglig för Sahels jordbrukare, men gödseln räcker inte till för att få en positiv kvävebalans när odlingsarealerna ökar och trädesperioderna minskar. Problemet är störst i de hushåll där boskapen inte betar på naturliga betesmarker, eftersom det då inte tillförs någon ny näring till åkrarna (Harris, 2002).

Många har insett fördelarna med att integrera boskapshållning med jordbruk. Därför har alltfler jordbrukare skaffat sig boskap samtidigt som före detta nomadiska herdar bosätter sig och börjat odla själva. De jordbrukare som inte själva har boskap eller en överenskommelse med någon herde kan gödsla sina fält med hushållsavfall (Harris, 2002).

Efterhand som betesarealerna minskar, när odlingsarealerna utökas, måste fler och fler övergå från att transportera näringen (rangeland-to-cropland) till att återvinna (cut-and-carry) den. Att återvinna näringen är en mer arbetskrävande metod eftersom djurens foder måste skördas och

⁴ Hushåll som bor på annan ort och vissa år kommer till byn för att odla sin mark.

lagras, samtidigt som djuren kräver mer skötsel och gödseln måste transporteras till fälten (Harris, 2002). Efterhand som trycket på odlingsmarken ökar måste boskapen aktivt hållas borta från de odlade fälten för att undvika att boskapen skadar grödorna (Powell et al., 2004). Breman et al. (2001) visar i sin studie att avkastningen i närheten av Burkina Fasos huvudstad Ouagadougou, under rådande klimatförutsättningar, skulle kunna fördubblas om näringsstatusen i marken var tillräcklig. Ett resultat som visar att de insatser som jordbrukarna gör för att upprätthålla näringsstatusen i marken inte är tillräckliga. Under torra år ökar inte avkastningen av hirs och durra trots tillförsel av kväve, vilket visar att det behövs en viss mängd nederbörd för att växterna ska kunna tillgodogöra sig näringen i marken (Christianson och Vlek, 1991).

3.7 Diversifiering

Idag har tillgången på land blivit en begränsande faktor för jordbruket, men historiskt sett har det varit bristen på arbetskraft som varit den största begränsande faktorn för jordbruksproduktionen, efter de gränser som miljön sätter (Holmén, 2004). Tillgången på arbetskraft är avgörande för hur hushållen väljer att försörja sig. Hushållets åldersstruktur avgör hur man fördelar arbetsinsatsen på olika inkomstkällor och fördelningen av arbetet över året (Bolwig, 2001). Behovet av arbetskraft inom jordbruket varierar under vegetationssäsongen. Antalet arbetstimmar skiljer sig även från år till år då behovet av att rensa ogräs och arbetsinsatsen vid sådd och skörd varierar (Mortimore, 2001).

Under vegetationssäsongen kan det vara brist på arbetskraft inom jordbruket och de som har råd kan behöva hyra in arbetskraft. Däremot finns det ett överskott av arbetskraft under övriga delen av året. Det är en utmaning för hushållen att få detta att fungera speciellt om skörden varit dålig och man måste få sin inkomst från sysselsättningar utanför jordbruket (Mortimore, 2001). I västra Afrika håller tillgången på arbetskraft inom jordbruket att minska då allt fler män väljer att arbeta utanför jordbruket och barnen går i större utsträckning än tidigare i skolan (Powell et al., 2004). Beroende på hur många och vem eller vilka det är som lämnar jordbruket får det betydelse för dess produktion, som kan avstanna eller t.o.m. minska (Ellis, 2000).

Jordbrukare i Sudan berättar att deras inkomster från aktiviteter utanför jordbruket har ökat sedan 1970. Före 1984 kom dessa inkomster främst från gummiproduktionen, men efter 1984 kommer mer och mer av hushållets inkomster från arbete i städerna (Elmqvist och Olsson, 2006). Hantverk, beredning av maltdryck, aktiviteter kopplade till turism, boskapsskötsel,

insamling av gummi och kåda är aktiviteter utanför det direkta jordbruket som kan ge inkomster. Elmquist och Olsson (2006) skriver att det i förhållande till andra inkomstkällor endast är gummiproduktionen som är av betydelse i Sudan.

Herrmann och Hutchinson (2005) uppskattar att de senaste 15 åren har medelhushållets inkomster från inkomstkällor utanför jordbruket ökat till att motsvara en andel på 40-60 % av hushållets totala inkomst. I norra Burkina Faso kommer ca 30 % av hushållens inkomst från sysselsättning utanför jordbruket. Där är det många unga män som arbetar i närliggande guldgruvor. Störst chans att vara självförsörjande har de hushåll i området som livnär sig genom att odla själva, håller sig med boskap och samtidigt har arbete utanför jordbruket (Bolwig, 2001).

I hela Sahelområdet är det vanligt förekommande med arbetsmigration under torrsäsongen. Främst är det unga och ogifta män som söker sig till andra inkomstkällor under denna period för att sedan återvända hem och hjälpa till med jordbruket under vegetationssäsongen. Delar av befolkningen försörjer sig med handel av olika varor. Pengarna de tjänar investeras i jordbruket och då oftast i boskap, som en försäkring under torra år (Mortimore, 2001). Syftet med migrationen är inte alltid att skaffa sig en extern inkomstkälla till jordbruket, utan kan också vara ett sätt att få maten att räcka till dem som stannar kvar i hushållet (Ellis, 2000).

Larsson (2004) har i sin studie kommit fram till att om inkomsten från källor utanför jordbruket är hög så tenderar produktionen från jordbruket att bli högre. Detta eftersom man då har råd att investera i metoder (gödning, redskap m.m.) som minskar arbetsbördan och ökar avkastningen.

Diversifieringen påverkar inte bara hushållets överlevnadsstrategier utan även miljön. Vedinsamling, bärplockning och jakt är aktiviteter som inte ger så stor inkomst. När andra inkomster blir ett alternativ kan trycket på de naturliga resurserna minska (Ellis, 2000). Stress över bristen på arbetskraft och/eller en kollaps av jordbruksmarknaden kan göra att jordbrukarna väljer kortsiktiga strategier som försummar markvården även om de är medvetna om att det kan påverka avkastningen på lång sikt (Herrmann och Hutchinson, 2005).

Elmquist och Khatir (2007) beskriver att det i deras studieområde i Sudan uppstår en konkurrenssituation om arbetskraften mellan jordbruksaktiviteter, boskapsskötsel och sysselsättning utanför jordbruket. Då det t.ex. är dubbelt så arbetskrävande att odla upp ett fält som legat i träda, jämfört med att fortsätta odla samma fält ytterligare ett år, kan jordbrukaren ta beslutet att fördelarna med att hålla nere arbetsinsatsen inom jordbruket väger tyngre än fördelarna med att odla på ett fält med bättre näringsstatus.

4. Diskussion

Stora arealer av naturlig vegetation har omvandlats till jordbruksmark sedan 1970-talet (Eva et al., 2006) och är troligtvis den största mänskliga förändring som påverkat Sahel. Om det är så som Uchida (2001) beskriver, att NDVI i ett odlat fält under vegetationssäsongen kan vara lika högt som i tät naturlig vegetation, kan denna förändring av markanvändningen vara en av förklaringarna till den ökande grönska som flera författare (Eklundh och Olsson, 2003 m.fl.) observerat. Antalet boskapsdjur har ökat på nationell nivå, men eftersom säsongsmigrationen har avtagit är boskapen geografiskt ojämnt fördelad (ILRI, 2007). Nära bosättningarna där betetrycket ökat kan man förvänta sig ett lägre NDVI. Däremot borde betesmarkerna där det nu är mindre antal boskapsdjur bli grönare när vegetationen inte betas lika hårt. Olsson et al. (2005) har sett att NDVI-värdet amplitud ökat mest i de norra delarna av Sahel, där betetrycket kan förväntas att ha minskat eftersom de flesta bosättningarna finns längre söderut, och där säsongsmigrationen av boskap minskat. Ett minskat betetryck kan leda till en förändring i betesmarkernas artsammansättning, och förändringar i NDVI:s amplitud kan indikera att det skett en förändring av den dominerande vegetationstypen (Olsson et al., 2005).

Fler boskapsdjur ger mer gödsel, som med rätt hantering borde leda till ökad biomassa hos grödorna och ökad grönska. Även om antalet boskapsdjur har ökat verkar det inte som att det finns tillräckligt med boskap för att producera den mängd gödsel som behövs för att behålla näringsstatusen på de allt större odlingsarealerna. Den ökande NDVI-trenden riskerar att vända eftersom näringsstatusen i marken försämras och inte kompenseras fullt ut med jordförbättringsmedel (Harris, 2002 m.fl.) då trädesperioderna minskar, allt färre fält ligger i träda och gödsel är en bristvara. Risken för att grönskan skulle minska ökar om systemet bygger på att näringen återvinns och det inte tillförs ny näring från t.ex. betesmark.

SWC-tekniker som praktiseras i t.ex. Burkina Faso har troligtvis en positiv påverkan på grönskan eftersom en ökad avkastning per hektar tyder på att grödorna innehåller mer biomassa. Men SWC-tekniker används inte överallt och Reij et al. (2005) ser att trots den positiva trenden i några byar finns det närliggande byar där det sker markförstörelse. När markvårdsprojekt faller väl ut borde informationen sprida sig till andra hushåll, närliggande byar och regioner. Följden borde bli att alltfler områden använder sig av markvårdande åtgärder, men bristen på extern finansiering (kapital, verktyg och arbetskraft) kan göra att investeringarna i markvårdande åtgärder bara kan ske i liten skala eller t.o.m. uteblir trots att jordbrukaren är medveten om att de behövs för en långsiktig positiv utveckling.

Oroligheter i form av inbördeskrig och andra konflikter är vanligt förekommande i delar av Sahel. De negativa NDVI-trenderna är koncentrerade till norra Nigeria och Sudan (Eklundh och Sjöström, 2005; Herrmann et al., 2005), områden som under lång tid varit drabbade av konflikter. Herrmann et al., 2005 hade förväntat sig ett annat resultat i dessa områden eftersom nederbörden har ökat, men förklarar resultatet med att goda markanvändningsmetoder kan ha blivit försummade p.g.a inbördeskrig och andra konflikter. Samma orsaker lyfter Olsson et al. (2005) fram som anledningen till den ökade grönska som syns i andra delar av Sudan. Beroende på förutsättningarna och den historiska användningen av ett övergivet område eller fält med försummad markvård kan kanske den fortsatta successionen se olika ut.

Den ökande diversifieringen av inkomster i Sahel kan påverka grönskan både positivt och negativt. Om det blir så som Larsson (2004) beskriver, att inkomster utanför jordbruket investeras i jordbruket som därför ger högre avkastning, skulle det kunna ge en positiv effekt på grönskan. Diversifieringen kan även ha en positiv inverkan på grönskan om den leder till att trycket på de naturliga resurserna minskar t.ex. i form av minskad vedinsamling. Effekten av ökad diversifiering behöver inte enbart vara positiv för jordbruket och grönskan. Samtidigt som diversifieringen ökar minskar också jordbrukets roll i hushållets totala inkomst och med det kanske också engagemanget och intresset för detsamma. Vilket gör att i en situation då det uppstår arbetskraftsbrist så prioriteras kanske inte markvårdande åtgärder och andra arbeten relaterade till en positiv utveckling av jordbruket. Ellis (2000) beskriver att om hushållets jordbrukssituation förblir ansträngd kommer medlemmarna att ägna alltmer tid och energi, som tas från jordbruket, till att underhålla sitt sociala nätverk för att ha en säkerhet om en kris skulle uppstå. Ägandestrukturen av mark i Sahel kan ha en negativ inverkan på miljön. Det råder en osäkerhet i många nationer om vem som får utnyttja marken (privat mark, hyrd mark och allmänningar). Ellis (2000) kritiserar förslag på att privatisering av marken skulle vara den enda lösningen på problemet, oavsett lösning så måste den vara socialt accepterad för att fungera. Dock borde en stabilisering av ägandestrukturen vara att föredra för en långsiktig och uthållig markanvändning.

I Sahel finns flera exempel på antropogen påverkan (markvård, jordförbättring, grödor, boskap, gödsel, träda, diversifiering m.m.) som skulle kunna förändra grönskan på lokal nivå. Det finns dock en tveksamhet till om dessa lokala förändringar är så stora att de slår igenom i de grovupplösta satellitscenerna (8 x 8 km). Flera små förändringar kan göra att medelvärdet förändras även om man inte kan urskilja den enskilda orsaken till förändringen av NDVI. Om förändring i markanvändningen från naturlig vegetation till jordbruksmark ger ett förändrat

NDVI är det troligtvis bara denna förändring som spatielt är så stor att det ger genomslag i satellitscenerna.

Prince et al. (1998) betonar vikten av att inte extrapolera och generalisera resultaten från lokala studier till att gälla hela Sahel. Förhållandena inom ett studieområde kan vara unika, men kan ses som en indikation på hur förhållandena *kanske kan* vara i andra områden.

Det är viktigt att tänka på den osäkerhet som finns i indata. Data från FAO representerar hela nationen där stora arealer kan ligga utanför det område som räknas till Sahel. Insamlingsmetoderna, tidpunkter för datainsamling och beräkningarna kan skilja sig mellan nationerna. Speciellt i befolkningsdata kan det förekomma stora osäkerheter. Befolkningsräkningar genomförs sällan och i vissa nationer är spänningarna mellan olika folkgrupper så stora att någon oberoende folkräkning aldrig har kunnat genomföras. Brist på utbildad personal, organisation och en ovilja från befolkningen att lämna korrekta uppgifter försvårar beräkningarna och kan uppskattningsvis slå fel på flera miljoner invånare (Grove, 1993). Trots ansträngningar från FAO att göra data jämförbar bör resultaten ses mer som trendindikationer än någon absolut sanning.

Diskussionen om vad som orsakar torka och dess verkan i Sahel kommer säkert att fortsätta, troligtvis kommer inte en enskild orsak att kunna urskiljas. För att komma närmare sanningen behövs mer högupplöst data och fler studier på både lokal, regional och global nivå. IPCC (2007) poängterar vikten av att fortsätta att utreda kopplingen mellan förändringar i markanvändningen, klimatet och dess tänkbara återkopplingsmekanismer. Att inte ta hänsyn till den antropogena påverkan i området skulle vara att generalisera för grovt.

Om antropogen påverkan inte redan påverkar Sahel kommer det att ske förr eller senare, men då inte främst orsakad av Sahels egen befolkning, utan av människor bosatta långt därifrån i form av den globala uppvärmningen. Att förutspå Sahels framtid är svårt även om man bortser från klimatförändringar. Hulme et al. (2001) har med globala klimatmodeller (GCM) försökt att återskapa det senaste seklets klimat för att kunna simulera framtiden. Ingen av modellerna lyckades återskapa det komplexa nederbördsmönstret i Sahel. Mer förståelse behövs i hur interaktionen mellan marken och atmosfären fungerar och hur aerosoler påverkar klimatet för att kunna modellera Sahels framtid korrekt.

5. Slutsatser

Människans aktiviteter i Sahel kan påverka vegetationen både positivt och negativt och leda till ökat eller minskat NDVI. Att stora arealer naturlig vegetation har omvandlats till åkermark kan förväntas resultera i grönare vegetation och ökat NDVI, eftersom odlad vegetation kan vara grönare än naturlig. Det växande antalet boskapsdjur som är ojämnt fördelade på regional nivå påverkar NDVI i olika riktningar. Där betetrycket minskar kan man förvänta sig en tätare naturlig vegetation med ett högre NDVI än tidigare.

Kortare trädesperioder kan göra Sahel grönare eftersom större arealer aktivt odlas, men om jordförbättringen är otillräcklig riskerar grönskan att bli kortvarig och istället ge ett lägre NDVI på sikt när markens näringsinnehåll försämras.

Hushållens strävan efter att vara självförsörjande genom diversifiering är ett sätt att anpassa sig till den opålitliga nederbörden. I vilken riktning grönskan och NDVI påverkas beror på hur hushållet förvaltar sina externa inkomster. Om inkomsterna investeras i jordbruket borde det leda till grönare vegetation och högre NDVI.

Slutsatsen av denna studie är att människan påverkar NDVI, men det är svårt att urskilja någon enskild antropogen faktor som ensam kan påverka NDVI-värden uppmätta med satellit. Det behövs mer detaljerad data och fler studier för att identifiera orsaken eller orsakerna till den ökande grönskan som observerats med satellit.

6. Författarens tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Dr. Lars Eklundh, vid institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys vid Lunds universitet för vägledning, råd och respons som jag fått under arbetet med denna uppsats.

Vill även tacka Dr. Jonas Ardö, Dr. Jonathan Seaquist och Dr. Thomas Hickler för material och idéer.

Lärare och studenter som jag har träffat under min studietid vid Lunds universitet förtjänar att uppmärksammas för bra undervisning och trevliga stunder.

Även ett stort tack riktas till min familj för stöd och support under min studietid.

7. Referenser

- Benites, J. (red.), 2005. Drought-resistant soils, Proceedings of the electronic conference organized by the FAO Land and Water Development Division, 15 November-18 December 2004, *FAO Land and Water Bulletin*, 11, FAO, Rome.
- Bolwig, S., 2001. The Dynamics of Inequality in the Sahel: Agricultural Productivity, Income Diversification, and Food Security among the Fulani Rimaïbe in Northern Burkina Faso i Benjaminsen, T.B. och Lund, C. (red.), Politics, property and production in the West African Sahel. Nordiska Afrikainstitutet, Uppsala, sid. 278-302.
- Breman, H., Groot, J.J.R. och van Keulen, H., 2001. Resource limitations in Sahelian agriculture. *Global Environmental Change*, 11, 59-68.
- Charney, J.G., 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101, 193-202.
- Christianson, C.B. och Vlek, P.L.G., 1991. Alleviating soil fertility constraints to food production in West Africa: Efficiency of nitrogen fertilizers applied to food crops. *Fertilizer Research*, 29, 21-33.
- Eklundh, L. och Olsson, L., 2003. Vegetation index trends for the African Sahel 1982-1999. *Journal of Geophysical Research*, 30, 1430-1433
- Eklundh L. and Sjöström M., 2005. Analysing vegetation changes in the Sahel using sensor data from Landsat and NOAA. 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, St. Petersburg, June 20-24, 2005.
- Ellis, F., 2000. Rural Livelihoods and Diversity in Developing Countries. Oxford University Press.
- Elmqvist, B. och Olsson, L., 2006. Livelihood diversification: continuity and change in the Sahel. *GeoJournal*, 67, 167-180.
- Elmqvist, B. och Khatir, A.R., 2007. The possibilities of bush fallows with changing roles of agriculture – An analysis combining remote sensing and interview data from Sudanese drylands. *Journal of Arid Environments*, 70, 329-343.
- Enyong, L.A., Debrah, S.K. och Bationo, A., 1999. Farmers' perceptions and attitudes towards introduced soil-fertility enhancing technologies in western Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 53, 177-187.
- Eva, H.D., Brink, A. och Simonetti, D. 2006. Monitoring land cover dynamics in sub-Saharan Africa. *European Commission, Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability*. ISSN: 1018-5593.
- FAO, 2005. Livestock sector brief (Burkina Faso, Mali, Niger och Sudan). Food and Agricultural Organization, Livestock Information, Sector Analysis and Policy Branch, Rome.
- FAO, 2007 a. FAOSTAT agricultural data. Food and Agricultural Organization.
Besökt: 2007-11-23
<http://faostat.fao.org/site/551/default.aspx>
- FAO, 2007 b. FAOSTAT agricultural data. Food and Agricultural Organization.
Besökt: 2007-11-22
<http://faostat.fao.org/site/408/default.aspx>
- FAO, 2007 c. FAOSTAT agricultural data. Food and Agricultural Organization.
Besökt: 2007-11-22
<http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx>
- Grove, A.T., 1993. The Changing Geography of Africa, andra upplagan. *Oxford University Press*, 1989.

Harris, F., 2002. Management of manure in farming systems in semi-arid west Africa. *Experimental Agricultural*, 38, 131-148.

Harris, F. och Yusuf, M.A., 2001. Manure management by smallholder farmers in the Kano close-settled zone, Nigeria. *Experimental Agriculture*, 37, 319-332.

Helldén, U., 1991. Desertification – Time for an Assessment? *Ambio*, 20, 372-383.

Herrmann, S.M., Anyamba, A. och Tucker, C.J., 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, 15, 394-404.

Herrmann, S.M. och Hutchinson, C.F., 2005. The changing contexts of the desertification debate. *Journal of Arid Environments*, 63, 538-555.

Hickler, T. Eklundh, L., Seaquist, J.W., Smith, B., Ardö, J., Olsson, L., Sykes, M.T. och Sjöström, M., 2005. Precipitation controls Sahel greening trend. *Geophysical Research Letters*, vol. 32, L21415, doi:10.1029/2005GL024370.

Holmén, H., 2004. Spurts of Production – Africa's Limping Green Revolution i Djurfeldt, G., Holmén, H., Jirström, M. och Larsson, R. (red.), *The African Food Crisis-Lessons from the Asian Green revolution*, CAB International, sid. 65-85.

Hulme, M., 2001. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11, 19-29.

Hulme, M., Doherty, R., Ngara, T., New, M. och Lister, D., 2001. African climate change: 1900-2100. *Climate research*, vol. 17, 145-168.

ILRI, 2007. Agricultural transitions in West Africa: Impacts on agropastoral livelihoods, livestock mobility and the environment. International Livestock Research Institute.

Besökt: 2007-10-12

<http://www.ilri.org/research/Content.asp?SID=124&CCID=41>

Jordbruksverket, Riktlinjer för gödsling och kalkning 2007, Rapport 2006:33.

Kaboré D. och Reij C., 2004. The emergence and spreading of an improved traditional soil and water conservation practice in Burkina Faso. *International Food Policy Research Institute, Washington*, EPTD Discussion Paper, No. 114.

Klaij, M.C. och Serafini, P.G., 1990. The potential impact of the use of animal traction on millet-based cropping systems in the Sahel i Starkey, P.H. och Faye, A. (red.), *Animal traction for agricultural development*, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Ede-Wageningen, Holland, sid. 422-429.

Larsson, R., 2004. Spurts of Production – Africa's Limping Green Revolution i Djurfeldt, G., Holmén, H., Jirström, M. och Larsson, R. (red.), *The African Food Crisis-Lessons from the Asian Green revolution*, CAB International, sid 113-137.

Le Houérou H.N., 1980. The rangelands of the Sahel. *Journal de Range Management*, 33, 41-46.

Le Houérou H.N., 1989. *The Grazing Land Ecosystems of the African Sahel*. (Red. Billings, W.D., Golley, F., Lange, O.I., Olson, J.S. och Remmert, H.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Lillesand, T., Kiefer, R. och Chipman, J., femte upplagan, 2004. *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, Inc. sid. 465-470.

Lykke, A.M., Fog, B. och Madsen, J.E., 1999. Woody vegetation changes in the Sahel of Burkina Faso assessed by means of local knowledge, aerial photos and botanical investigations. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography*, Special Issue, 2, 57-68.

Mortimore, M., 1989. *Adapting to Drought: Farmers, Famines and Desertification in West Africa*. Cambridge, Cambridge University Press.

Mortimore, M. och Adams, W.M., 1999. *Working the Sahel*. Routledge, *Research global environmental change*.

Mortimore, M., 2001. Overcoming Variability and Productivity Constraints in Sahelian Agriculture i Benjaminsen, T.B. och Lund, C. (red.), *Politics, property and production in the West African Sahel*. Nordiska Afrikainstitutet, Uppsala, sid. 233-254.

Mortimore, M. och Adams, W., 2001. Farmer adaptation, change and "crisis" in the Sahel. *Global Environmental Change*, 11, 49-57.

Nationalencyklopedin, 2007 a. Besökt: 2007-11-22.

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=303460

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=252839

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=249481

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=138345

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=269510

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=325127

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=318490

Nationalencyklopedin, 2007 b. Besökt: 2007-11-22.

http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=308902

Nicholson, S.E., 1989. Long-term changes in African rainfall. *Weather*, 44 (2), 46-56.

Nicholson, S.E., 2005. On the question of the "recovery" of the rains in West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63, 615-641.

Ong, C.K. och Monteith, J.L., 1985. Response of Pearl millet to light and temperature. *Field Crops Research*, 11, 141-160.

Olsson, L., 1993. On the Causes of Famine-Drought, Desertification and Market Failure in the Sudan. *Ambio*, 22 (6), 395-403.

Olsson, L., Eklundh, L. och Ardö, J., 2005. A recent greening of the Sahel – trends, patterns and potential causes. *Journal of Arid Environments*, 63, 556-566.

Pielke R.A., Adegoke, J., Beltrán-Przekurat A., Hiemstra, C.A., Lin, J., Nair, U.S., Niyogi, D. och Nobis, T.E., 2007. An overview of regional land-use and land-cover impacts on rainfall. *Tellus*, 59B, 587-601.

PLACE II, 2007. Columbia University Population, Landscape and Climate Estimates (PLACE) och Center for International Earth Science Information Network (CIESIN).

Besökt 2007-11-29.

http://sedac.ciesin.columbia.edu/place/downloads/maps/population_density/Continent_Africa_PopDensity.pdf

Powell, J.M., och Mohamed-Saleem, M.A., 1987. Nitrogen and Phosphorus Transfer in a Crop-Livestock System in West Africa. *Agricultural Systems*, 25, 261-277.

Powell, J.M., Pearson, A. och Hiernaux, P.H., 2004. Crop-Livestock Interactions in the West African Drylands. *Agronomy Journal*, 96, 469-483.

Prince, S.D., Brown de Colstoun, E. och Kravitz, L.L., 1998. Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology*, 4, 359-374.

Reenberg, A., Loring, T. and Rasmussen, K., 1998. Field expansion and reallocation in the Sahel – land use pattern dynamics in a fluctuating biophysical and socio-economic environment. *Global Environmental Change*, 8, 4, 309-327.

- Reij, C., Tappan, G. och Belemvire, A., 2005. Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968-2002). *Journal of Arid Environments*, 63, 642-659.
- Romney, D.L., Thorne, P.J. och Thomas, D., 1994. Some animal-related factors influencing the cycling of nitrogen in mixed farming systems in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 49, 163-172.
- Seaquist, J., 2001. Mapping primary production for the west african Sahel with satellite data. Meddelande från Lunds Universitets Geografiska Institution, Avhandlingar 140.
- Stéphenne, N. och Lambin, E.F., 2001. A dynamic simulation model of land-use changes in the Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 145-161.
- Sullivan, S. och Rohde, R., 2002. On non-equilibrium in arid and semi-arid grazing systems. *Journal of Biogeography*, 29, 1595-1618.
- Tilander, Y. och Bonzi, M., 1997. Water and nutrient conservation through the use of agroforestry mulches, and sorghum yield response. *Plant and Soil*, 197, 219-232.
- Turner, M. 1994. Grazing options to intensify land use. Institute for Low External Input Agriculture (ILEIA), Nyhetsbrev 10, 14-15.
Besökt 2007-09-14:
[http://www.leisa.info/index.php?url=show-blob-html.tpl&p\[fo_id\]=69343&p\[fa_id\]=211&p\[fa_seq\]=0](http://www.leisa.info/index.php?url=show-blob-html.tpl&p[fo_id]=69343&p[fa_id]=211&p[fa_seq]=0)
- Vandenbeldt, R.J. och Williams, J.H., 1992. The effect of soil surface temperature on the growth of millet in relation to the effect of *Faidherbia albida* trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 60, 93-100.
- Van Keulen, H. och Breman, H., 1990. Agricultural development in the West African Sahelian region: a cure against land hunger? *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 32, 177-197.
- Wezel, A., 2000. Scattered scrubs in pearl millet fields in semiarid Niger: Effect on millet production. *Agroforestry Systems*, 48, 219-228.
- Wezel, A. och Haigis, J., 2002. Fallow cultivation system and farmers' resource management in Niger, west Africa. *Land degradation and development*, 13, 221-231.
- White, F., 1983. The Vegetation of Africa, A Descriptive Memoir to Accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO Vegetation Map of Africa. UNESCO, Paris.
- Williams, T.O., Powell, J.M. and Fernández-Rivera, S., 1995. Manure utilization, drought cycles and herd dynamics in the Sahel: implications for cropland productivity. In *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa. Vol. II: Technical Papers. Proceedings of an international conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993.* J. M. Powell, S. Fernández-Rivera, T.O. Williams and C. Renard (red.). International Livestock Centre for Africa. Addis Ababa, Ethiopia.
- Williams, T.O., 1999. Factors influencing manure application by farmers in semi-arid west Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 55, 15-22,
- Wittig, R., König, K., Schmidt, M. och Szarzynski, J., 2007. A Study of Climate Change and Anthropogenic Impacts in West Africa. *Environmental science and pollution research international*, 14 (3), 182-189.
- Xue, Y. och Shukla, J., 1993. The Influence of Land Surface Properties on Sahel Climate. Part I: Desertification. *Journal of Climate*, 6, 2232-2245.
- Xue, Y. och Shukla, J., 1994. The Influence of Land Surface Properties on Sahel Climate. Part II: Afforestation. *Journal of Climate*, 7, 3260-3275.
- Uchida, S., 2001. Discrimination of agricultural land use using multi-temporal NDVI data. Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore.

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serie startade 1985.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

Report series started 1985.

79. Ullman, M., (2001): El Niño Southern Oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
80. Andersson, A., (2001): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
81. Lalloo, D., (2001): Geografiska informationssystem för studier av polyaromatiska kolväten (PAH) – Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
82. Almqvist, J., Fergéus, J., (2001): GIS-implementation in Sri Lanka. Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study. Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
84. Umegård, J., (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
85. Rosenberg, R., (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk – en studie i norra Island.
86. Håkansson, J., Kjörling, A., (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie.
87. Arvidsson, H., (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf – A study of barrier morphodynamics.
88. Bemark, M., (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan.
89. Dahlberg, I., (2002): Rödlistade kärlväxter i Göteborgs innerstad – temporal och rumslig analys av rödlistade kärlväxter i Göteborgs artdatabank, ADA.
90. Poussart, J-N., (2002): Verification of Soil Carbon Sequestration - Uncertainties of Assessment Methods.
91. Jakubaschk, C., (2002): Acacia senegal, Soil Organic Carbon and Nitrogen Contents: A Study in North Kordofan, Sudan.
92. Lindqvist, S., (2002): Skattning av kväve i gran med hjälp av fjärranalys.
93. Göthe, A., (2002): Översvämningskartering av Vombs ångar.
94. Lööf, A., (2002): Igenväxning av Köphultsjö – bakomliggande orsaker och processer.
95. Axelsson, H., (2003): Sårbarhetskartering av bekämpningsmedels läckage till grundvattnet – Tillämpat på vattenskyddsområdet Ignaberga-Hässleholm.
96. Hedberg, M., Jönsson, L., (2003): Geografiska Informationssystem på Internet – En webbaserad GIS-applikation med kalknings- och försurningsinformation för Kronobergs län.
97. Svensson, J., (2003): Wind Throw Damages on Forests – Frequency and Associated Pressure Patterns 1961-1990 and in a Future Climate Scenario.
98. Stroh, E., (2003): Analys av fiskrättsförhållandena i Stockholms skärgård i relation till känsliga områden samt fysisk störning.
99. Bäckstrand, K., (2004): The dynamics of non-methane hydrocarbons and other trace gas fluxes on a subarctic mire in northern Sweden.

100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
101. Lina Möllerström (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka
105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
106. Sjöström, M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
107. Danilovic, A., Stenqvist, M., (2004): Naturlig förnyring av skog
108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tolleback, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer I sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tåguller i Skåne – befolkningens exponering.
126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species

- richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBird-data för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
128. Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker.
129. Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
130. Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i stormfällan efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
131. Eckeskog, M., (2006) Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio Sucio drainage basin, Nicaragua.
132. Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global carbon cycle and greenhouse gas forcing.
133. Persson, P., (2007) Investigating the Impact of Ground Reflectance on Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index
134. Valoczi, P. (2007) Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog I Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.
135. Johansson, H. (2007) Dalby Söderskog - en studie av trädarternas sammansättning 1921 jämfört med 2005
137. Kalén, V. (2007) Analysing temporal and spatial variations in DOC concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing
138. Maichel, V. (2007) Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda våtmarker i Skåne
139. Agardh, M. (2007) Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och åtgärdsförslag
140. Peterz, S. (2007) Do landscape properties influence the migration of Ospreys?
141. Hendrikson, K. (2007) Småvatten och groddjur i Täby kommun