

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 53

Användninga av global satellitdata för uppskattning av spannmålsproduktion i västafrikanska Sahel

Jenny Andersson



Department of Physical Geography,
Lund University
Sölvegatan 13, S-221 00 Lund,
Sweden

1999



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---|-----------|
| 1 INLEDNING | 3 |
| 1.1 SYFTE | 3 |
| 1.2 AVGRÄNSNINGAR | 3 |
| 2 BAKGRUND | 4 |
| 2.1 POLITIK OCH EKONOMI | 4 |
| 2.2 BEFOLKNING | 6 |
| 2.3 KLIMAT OCH NEDERBÖRD | 8 |
| 2.3.1 Klimatklassificering | 10 |
| 2.4 GEOMORFOLOGI OCH JORDAR | 11 |
| 2.5 VEGETATION | 11 |
| 2.6 JORDBRUK | 13 |
| 2.7 MARKANVÄNDNING | 13 |
| 2.7.1 Spannmålsproduktion | 14 |
| 2.7.2 Markförstöring | 14 |
| 2.8 ÅTGÄRDER FÖR EN BÄTTRE LIVSMEDELSFÖRSÖRJNING | 15 |
| 3 MATERIAL OCH DATA | 15 |
| 3.1 SATELLITDATA | 16 |
| 3.1.1 NOAA AVHRR | 16 |
| 3.1.2 NDVI | 16 |
| 3.1.3 Tillämpningar | 17 |
| 3.1.4 AVHRR Land Pathfinder | 18 |
| 3.2 NEDERBÖRDSDATA | 18 |
| 3.3 SOCIOEKONOMISK DATA - SPANNMÅLSPRODUKTION | 18 |
| 4 METODER | 19 |
| 4.1 SATELLITBILDSDATA | 19 |
| 4.2 NEDERBÖRDSDATA | 20 |
| 4.3 SOCIOEKONOMISK DATA - SPANNMÅLSPRODUKTION | 20 |
| 4.4 KORRELATIONSANALYS | 21 |
| 4.5 MJUKVARA | 22 |
| 5 RESULTAT | 23 |
| 5.1 NEDERBÖRD, NDVI OCH SPANNMÅLSPRODUKTION MELLAN 1982 OCH 1990. | 23 |
| 5.2 KORRELATIONSANALYS | 24 |
| 5.2.1 Korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd | 25 |
| 5.2.2 Korrelationsanalys mellan NDVI och spannmålsproduktion | 28 |
| 5.2.3 Korrelationsanalys mellan nederbörd och spannmålsproduktion | 31 |
| 5.2.4 Temporal korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd | 34 |
| 6 DISKUSSION | 37 |
| 6.1 NEDERBÖRD, NDVI OCH SPANNMÅLSPRODUKTION MELLAN 1982 OCH 1990 | 37 |
| 6.2 RESULTATEN AV KORRELATIONSANALYSERNA | 37 |
| 6.2.1 Temporal korrelation med NDVI-variabeln | 37 |
| 6.2.1.1 Låga NDVI och nederbördsvärden | 38 |
| 6.2.2 Temporal korrelation mellan nederbörd och spannmålsproduktion | 38 |
| 6.2.3 Temporal och spatial korrelationsanalys | 38 |
| 6.3 BRISTFÄLLIG DATA | 39 |
| 6.3.1 NDVI-data | 38 |
| 6.3.2 Nederbördsdata | 39 |
| 6.3.3 Spannmålsdata | 39 |
| 7 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATS | 40 |

1 INLEDNING

Det var torkan under åren 1968 - 1973 som fokuserade världens uppmärksamhet till Sahelregionen, som är ett smalt bälte mellan Saharaöknen i norra Afrika och grässlätterna söder därom. De ovanligt torra åren hade lett till matbrist i form av förstörda skördar och annan vegetation, samt boskapsdöd. Året 1973 nådde torkan sitt klimax i Sahelområdet, vilket fick till följd att 50% av boskapen dog och hungersnöden tog mer än 100 000 människoliv (MacDonald 1986). Bilder och historier om undernärda barn och död boskap stimulerade en enorm katastrofhjälp. Denna kortsiktiga hjälp har följts av mer långsiktig hjälp för utveckling av Sahelländerna.

Svälten i Afrika orsakas till stor del av torra och andra fysiska faktorer (nederbörd, geologi, sötvattentillgång, vegetation etc), men är också en produkt av de politiska, ekonomiska och sociala problemen. Under de senaste 20 åren har torrperioderna blivit allt fler och man tvistar om huruvida det rör sig om *klimatförändringar* eller *klimatvariationer*. I stora delar av Afrika används traditionella och lågintensiva metoder inom jordbruket, vilket gör produktionen sårbar i torkperioder. Därmed sätts gränser för den lokala grödeproduktionen och djurhållningen.

Tidsserier med klimat, nederbörd och biomassa blir här viktiga metoder för uppskattning av Afrikas naturessurser. Nu finns omfattande organisation kring uppbyggande och användande av bl a nederbörds- och satellitbildsdata. Fjärranalysmetoder har en avgörande roll i detta arbete och vädersatelliten NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) med sensorn AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) används ofta. Vegetationens spektrala egenskaper skattas av vegetationsindex, där NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) är ett av de vanligaste. Indexen ger en bra uppskattning om biomassans utbredning i tid och rum, och är därmed ett mycket användbart instrument för forskning, övervakning och planering i Sahelregionen. Global satellitdata måste dock användas med största försiktighet. Styrkan hos NOAA-datan ligger i de tidsserier man kan få fram, och inte i enskilda mätvärden, eftersom dessa påverkas och beror av en mängd yttre faktorer.

1.1 Syfte

Huvudsyftet med denna studie har varit att undersöka om global satellitdata (NOAA-AVHRR-data och NDVI) kan användas för att undersöka kopplingen mellan mattillgång och naturförhållanden i länderna; Burkina Faso, Gambia, Guinea Bissau, Mali, Mauritien, Niger, Senegal och Tchad. Detta kan vidare formuleras som tre frågor:

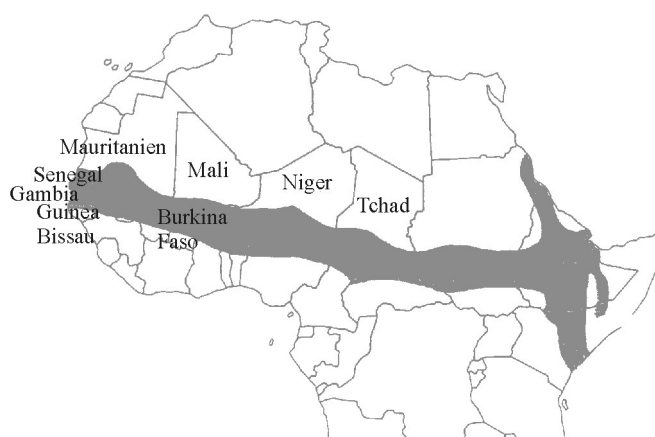
1. förekommer samband mellan NDVI och nederbörd?
2. förekommer samband mellan NDVI och spannmålsproduktion?
3. förekommer samband mellan nederbörd och spannmålsproduktion?

1.2 Avgränsningar

Undersökningen är avgränsad till Sahelområdet och länderna; Burkina Faso, Gambia, Guinea Bissau, Mali, Mauritien, Niger, Senegal och Tchad. Länderna ingår i Club du Sahel/CILLS (Interstate Permanent Committee for the Fight against Drought in Sahel), som är en sammanslutning av Sahelländer och biståndsorganisationer vars mål bl a är att reducera risken för svält genom att öka självförsörjningen och jordbruksproduktionen på ett ekologiskt hållbart sätt. Dessa länder har också en likartad situation vad gäller faktorer som klimat, politik och ekonomi. Kap Verde öarna räknas också till CILLS-länderna, men eftersom NDVI-data inte fanns tillgänglig, exkluderades dessa från studien.

2 BAKGRUND

Sahel är ett arabiskt ord som betyder strand eller kust i betydelsen gränzonen till sand och stenhavet i Sahara och det används som ett gemensamt namn på en zon som ligger omedelbart söder om Sahara i Västafrika. Sahelzonen är ett relativt smalt band (ca: 400 km, ungefär mellan 12° N och 18°N) som sträcker sig över norra Afrika, från Atlantkusten till Röda havet (White 1983). De länder som brukar räknas dit är Senegal, Gambia, Mauritien, Mali, Burkina Faso, Niger, Tchad, Sudan, Etiopien, Eritrea, Djibouti och Somalia. Guinea Bissau skiljer sig något från de övriga länderna eftersom det ligger på gränsen till Sahelregionen.



Figur 2.1 Schematisk bild över afrikanska Sahelområdet med de, för studien, aktuella länderna (Linné et al. 1986).

Sahelområdet karaktäriseras av både likheter och olikheter. Regnmängden och jordmån varierar både i tid och rum. Ett stort antal etniska grupper med olika kulturella, sociala och ekonomiska system bebor området. Trots detta bör man betrakta området som tämligen homogent med många likartade problemställningar. Gemensamt för länderna är det torra klimatet med återkommande missväxt. De räknas också till världens fattigaste länder.

2.1 Politik och ekonomi

Vid 1900-talets början dominerade europeerna politiskt och ekonomiskt i Afrika och år 1913 kontrollerade europeiska nationer 93 % av kontinenten (Holst 1971). Avkoloniaseringen är en mycket komplex process, som bl a startade en omfattande ekonomisk och social förändring. Uppdelningen av Afrika sammanförde etniska grupper, som ofta saknade språklig och kulturell gemenskap, eller splittrade grupper på två eller flera stater. Värt att nämna är också att kolonialmakterna avsåg sig den politiska, men inte den ekonomiska makten. Sammantaget har detta lett till en situation som skiljer de afrikanska länderna från övriga u-länder.

CILLS-länderna karaktäriseras av labila och fluktuerande ekonomier, med en till stor del negativ handelsbalans (Hjort af Ornäs & Salin 1989, SIDA 1994). Detta ger sig främst uttryck under torrperioder, då den egna spannmålsskörden förstörs, och livsmedel måste importeras i större mängder. Eftersom länderna till stor del exporterar jordbruksprodukter minskar också exporten av dessa under nederbördsfattiga år. Under perioder av lägre nederbörd sjunker BNP och hela ekonomin påverkas negativt (UN, Guinea Bissau 1990). När ländernas exportintäkter stagnerar eller sjunker betyder det också mindre utrymme för social utveckling samt uppbyggnad av infrastruktur och en stabil demokrati (GATT 1994).

Den dåliga infrastrukturen i Sahel gör att transporter och handel mellan länder och inom länder försvåras. Ländernas ekonomiska förhållandena kan studeras i tabell 2.1 nedan.

Tabell 2.1 CILLS-ländernas ekonomiska förhållanden. Värden anges i %, eller M USD, förutom BNP/capita som anges i USD. Skuld och bistånd avser externa medel. Den övre siffran i Industriraden visar tillväxt och den undre, del av BNP. Jordbruk avser del av BNP (Worlddata, 95 fact).

| | Burkina Faso | Gambia | Guinea Bissau | Mali | Mauritien | Niger | Senegal | Tchad |
|-------------------|---------------------|---------------|----------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|---------------|
| BNP | 2698 | 303 | 241 | 2662 | 859 | 2220 | 5770 | 1133 |
| BNP/capita | 300 | 350 | 240 | 270 | 500 | 270 | 750 | 210 |
| Tillväxt | 3,7 % | 2,4 % | 4,8 % | 1,9 % | 2,0 % | -0,6 % | 2,8 % | 4,8 % |
| Export | 145 | 80 | 16 | 342 | 450 | 283 | 740 | 132 |
| Import | 642 | 234 | 62 | 477 | 670 | 331 | 1262 | 201 |
| Skuld | 1144 | 386 | 692 | 2650 | 2203 | 1704 | 3768 | 757 |
| Bistånd | 457 | 92 | 97 | 360 | 331 | 347 | 508 | 229 |
| Industri | 6,7 % 15 % | 6,7 % - | - 8 % | -1,4 % 13 % | - 30 % | -2,7 % 15 % | 1,9 % 15 % | 2,7 % 15 % |
| Jordbruk | 40 % | 30 % | 45 % | 50 % | 25 % | 40 % | 20 % | 45 % |

Början på den afrikanska agrara ekonomiska krisen började redan under 1960-talet. Kontinenten hade blivit en nettoimportör av grödor, för att kompensera för bortfallet i den inhemska produktionen. Nedgången i jordbruksproduktion och jordbruksexport är huvudförklaringen till den ekonomiska krisen. Politiken som förts har missgynnat jordbruksutveckling till fördel för andra sektorer (Larsson 1994). Exportproduktion främjades framför spannmålsproduktion och småbönderna blev de stora förlorarna. Det statliga monopolet och prisregleringar har negativa konsekvenser för den inhemska marknaden. De flesta afrikanska länder har nu avreglerat sin livsmedelsmarknad och därmed har *ett* viktigt hinder för ökad livsmedelsproduktion avskaffats (Dre'ze et al.1995, SIDA 1994).

Oljekrisen under 1970-talet innebar restriktiv penning- och finanspolitik i i-länderna, med höjda räntor och dollarkurser som följd. För u-länderna innebar detta att efterfrågan och priserna på deras produkter sjönk. U-länderna fick nu ökade importkostnader och minskade exportintäkter (UN, Niger 1990). Därmed fick CILLS-länderna, under 1980-talet, hjälp med att upprätta makroekonomiska- och strukturanpassningsprogram (av bl a Världsbanken och Internationella Valuta Fonden), för att strukturera ekonomierna och få till stånd en positiv utveckling (SIDA 1994). Strukturanpassningsprogrammen har dock inte alltid fungerat tillfredsställande.

2.2 Befolkning

Den klassiska engelske ekonomen och prästen Thomas Malthus hade, under slutet av 1700-talet (1798), teorier om att befolkningstillväxten förr eller senare skulle resultera i överbefolkning om inte födelsetalen medvetet hölls låga. Överbefolkningen skulle i sin tur orsaka ökad dödlighet genom krig, svält och sjukdomar, tills balansen mellan befolkning och resurser var återskapad. Han resonerade som så att det alltså var tillgången på livsmedel som bestämmer befolkningsmängden. Den danska ekonomen Esther Boserup vände upp och ner på Malthus argument. Boserups teori (presenterad 1965) utgick från att ökat befolkningsstryck på resurserna hade varit en drivande kraft för bönder att gå från extensivt till intensivt jordbruk. Boserup ansåg alltså att befolkningsökningen bestämmer jordbruksutvecklingen, men hon förklarade emellertid aldrig hur utvecklingen skulle gå till (Larsson 1995). Dagens teorier bygger delvis på Amartya Sens (professor i ekonomi och filosofi vid Harvards Universitet samt 1998 års Nobelpristagare i ekonomi) ideér om att svältkatastrofer inte alls behöver medföra en jordbruksutveckling. Han menar att livsmedelsförsörjning är ett fördelningsproblem ("entitlement") och anser att de politiska- och sociala strukturerna begränsar en positiv livsmedelsutveckling. Ofta finns det alltså livsmedel i dessa länder, men problemet är att maten inte är tillgängligt för befolkningen (Dre´ze et al. 1995).

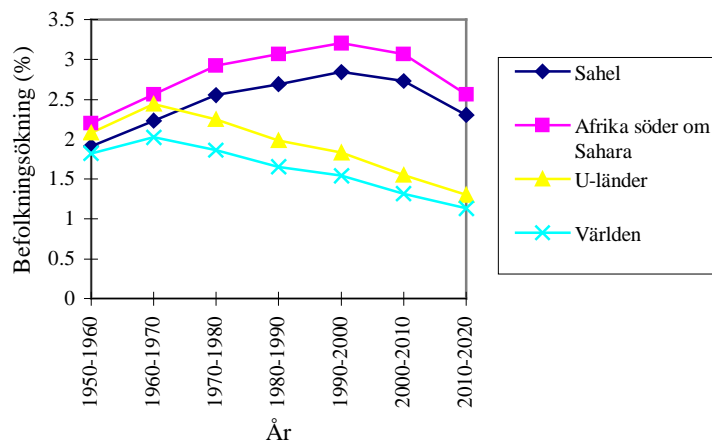
Storskaliga migrationer har länge varit karaktäristiskt för Sahel. Man kan urskilja fyra huvudtyper av förflyttningar (IUCN 1989):

- Internationell migration
- Säsongsmigration till städer eller jordbruksområden i behov av arbetskraft
- Migration av landsbygdsbefolkning från torra till fuktiga områden
- Migration av landsbygdsbefolkning till städerna på grund av försämrade förhållanden beträffande nederbörd, grödeproduktion samt på grund av politiska och ekonomiska orättvisor mellan stad och landsbygd.

Migrationen har medfört en ineffektivitet i produktionen och en låg lönenivå, eftersom arbetarna ständigt byts ut eller flyttar vidare. Avsaknaden av en stabil yrkeskunnig arbetskår har utgjort ett hinder för industrialiseringen. Afrikanska ledare har prioriterat urban utveckling och gett städerna resurser. Detta har resulterat i en snabb urbanisering och överbefolkning i städerna samt underbefolkning på landsbygden. Bristen på rural arbetskraft gör att livsmedelsproduktionen sjunker (Dre´ze et al. 1995).

Västafrika är relativt glest befolkat, men befolkningen är ojämnt fördelad och de produktiva jordbruksområdena är betydligt mer tätbefolkade. Befolkningstätheten påverkar uppbyggandet av bl a infrastruktur, och Afrikas utspridda befolkning gör att kostnaderna per capita för att tillhandahålla vägar, järnvägar, skolor och annan service stiger, vilket i hög grad hämmar utvecklingsmöjligheterna (IUCN 1989).

Nu är befolkningsökningen i Sahel runt 3 % per år och befolkningen fördubblas på ungefär 25 år (IUCN 1989).



Figur 2.2 *Befolkningsökning i Sahel, Afrika söder om Sahara, U-länder och Världen, 1950-2020. Ökningen visar medelvärden för tioårsperioder. Projicerade värden mellan år 1990 och 2020 (IUCN 1989).*

Figur 2.2. visar att befolkningsökningen i Sahel följer mönstret hos alla afrikanska länder söder om Sahara medan övriga u-länderna följer världsmönstret (IUCN 1989). Den snabba populationsökningen har lett till att en stor del av befolkningen (45%) är under 15 år. Detta kommer att betyda att befolkningstillväxten kommer att öka kraftigt långt in under nästa århundrade (IUCN 1989).

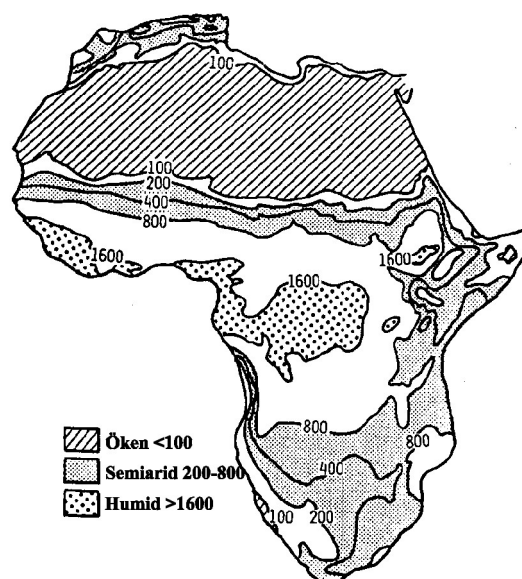
Den rurala befolkningen samt befolkning livnär på jordbruk har till stor del minskat under perioden 1982 till 1990. I Mauritien bor ca 50% av befolkningen på landsbygden och i övriga CILLS-länder ligger siffran mellan 75 och 90 %. Ungefär hälften av befolkningen i regionen är ekonomiskt aktiv. I de flesta länder återfinns den ekonomiskt aktiva befolkningen inom jordbruket (runt 80-90 %). Den genomgående trenden är en liten minskning under 10-års perioden, dvs. den ekonomiskt aktiva befolkningen har minskat inom jordbrukssektorn och övergått till andra sektorer, bl a industri. Tabell 2.2 visar befolkningsstatistik för länderna och här kan man urskilja både likheter och olikheter.

Tabell 2.2 *Befolkningsstatistik. Folkmängd avser avrundade värden. Medelålder anges i år, och är något högre för kvinnor än för män. Befolkningsökningen är ett medelvärde för åren 1990-1995. Befolkningsstäthet avser invånare per kvadratkilometer. Läs- och skrivkunnighet samt urbanisering anges som % av den totala befolkningen. Ekonomiskt aktiv befolkning visar del av total befolkning (Worlddata 95).*

| | Burkina Faso | Gambia | Guinea Bissau | Mali | Mauritien | Niger | Senegal | Tchad |
|--|--------------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Folkmängd | 10,3 milj. | 1,1 milj. | 1,1 milj. | 10,8 milj. | 2,3 milj. | 9,2 milj. | 8,3 milj. | 6,4 milj. |
| Medelålder | 47 | 45 | 44 | 46 | 52 | 47 | 50 | 48 |
| Befolknings-ökning | 2,76 % | 3,83 % | 2,14 % | 3,17 % | 2,54 % | 3,37 % | 2,52 % | 2,71 % |
| Befolkningsstäthet | 35 | 83 | 28 | 8 | 2 | 7 | 39 | 5 |
| Läs- och skrivkunnighet | 17,4 % | 35,6 % | 51,7 % | 27,2 % | 36,2 % | 12,4 % | 30,5 % | 44,9 % |
| Urbanisering | 27,2 % | 25,5 % | 22,2 % | 27,0 % | 53,8 % | 17,0 % | 42,3 % | 21,4 % |
| Ekonomiskt aktiv befolkning | 54 % | 50 % | 48 % | 50 % | 45 % | 49 % | 45 % | 49 % |
| Ekonomiskt aktiv befolkning inom jordbruk | 92 % | 82 % | 85 % | 86 % | 55 % | 90 % | 77 % | 83 % |

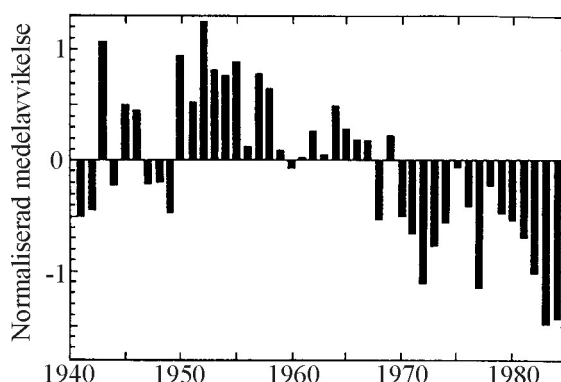
2.3 Klimat och nederbörd

Sahel kan delas in i delområden med avseende på klimat och vegetation. Rör man sig söderut från Sahara ökar den årliga nederbörden (figur 2.3). I områden med årsnederbörden 600 mm är regnperioden ungefär tre månader. Eftersom de mest snabbvuxna sädeslagen behöver tre månader för att hinna mogna är detta den nordligaste gränsen för odling av spannmål. Norr om denna gräns ligger 2/3 av länderna. Där hamnar en stor del av Mauritien, Mali, Niger och Tchad samt ett litet hörn av Burkina Faso. Rör man sig söderut kommer man in i områden där nederbörden ligger mellan 600 och 1000 mm per år. Inom detta område ligger stora delar av Senegal, Guinea Bissau, betydande delar av Mali och Burkina Faso samt de sydligaste delarna av Niger och Tchad. Här är spannmålsodling möjlig, men även här är nederbörden ofta en begränsande faktor (Fries 1996).



Figur 2.3 Årlig medelnederbörd(mm) över Afrika (Nicholson 1981).

Regnen i Sahel har alltid varit osäkra och varierat mycket under olika tidsperioder, men de senaste 20 åren har torrperioderna blivit allt fler (figur 2.4). Perioder med relativt hög nederbörd förekom under 1950-talet. Dessa övergick till perioder av torka 1969 till 1973. Efter det följde perioder med "mindre" nederbördsbrist, men den svåra torkan återkom 1982 och varade till 1984.



Figur 2.4 Nederbördsindex för stationer i Västafrika, väster om 10° Ö och mellan 11° N och 19° N (Lamb 1985).

Nederbörds klimatet i Sahel kan tolkas på en rad olika sätt beroende på vilka dateringsmetoder, analysredskap och tidsskalor man använder sig av. Tolkar man torkan som en *klimatförändring* krävs långsiktiga biståndsstrategier, däremot kan man koncentrera sig på tillfälliga lösningar om torkan anses vara en *klimatvariation*. Intensiv forskning pågår om bakomliggande klimatförhållanden, men det är emellertid klart att det regionala klimatet påverkas av atmosfärens globala cirkulationsmönster (Bärring 1992).

Det har tvistats om huruvida människan har påverkat klimatet eller om klimatet initierat problemen. Enligt en teori ansågs det att *människans överexploatering* av semiarida miljöer leder till högre albedo (Charney 1975). Försvinner stora delar av vegetationstäcket ökar albedot och energibalansen mellan markytan och atmosfären rubbas. Detta leder till avkylning av markytan och ökad subsidens i lägre luftskikt. En ökad storskalig subsidens resulterar i en reducerad konvektion vilket ger mindre nederbörd som i sin tur påverkar vegetationen negativt. Förändringar av dessa faktorer involverar förändringar i vädersystemen i flera olika skalor, från lokala till globala. I Sahelregionen skulle detta leda till ett torrare klimat, som i sin tur ökar markförstörelsen ytterligare (Ahrens 1991, Hulme & Kelly 1993). Nyare studier med bättre observationsmaterial och modeller visar att det omvända gäller, dvs att *människan tvingas till överexploatering* efter en längre period av torka. Här anses markfuktighet vara en av nyckelparametrarna. I områden där vegetationstäcket överbetas eller överutnyttjas minskar markfuktigheten vilket ger reducerad evaporation och därmed mindre nederbörd (Nicholson 1989, Bärring 1992).

Det finns också teorier om att avskogningen (av främst regnskog) påverkar klimatet i Sahel. Avskogning i Amazonas visar att avdunstningen minskar och påverkar atmosfärens relativa fuktighet längs vindriktningen. Det har dragits paralleller till Sahelområdet, där den fuktiga sydvästmonsunen passerar över tropisk regnskog innan den når den torrare Sahelregionen. En avskogning skulle här leda till en torrare sydvästmonsun (Flohn 1987, Bärring 1992).

Afrika tillhör nästan helt den tropiska klimatzonen. Klimatet här bestäms i hög grad av ITCZ. ITCZ (Inter Tropical Convergence Zone) separerar de nordöstliga passadvindarna på norra hemisfären från de sydöstliga passadvindarna på södra hemisfären, och rör sig norrut eller söderut beroende på årstid. ITCZ bestämmer dels klimatets årsvariation, dels årsnederbördens fördelning. På nordsidan (inom Saharalufte) förekommer praktiskt taget ingen nederbörd. På sydsidan av fronten ökar sedan nederbörden gradvis söderut. Regnperioden (vanligtvis mellan juni och oktober) under sommarhalvåret blir kortare ju längre norrut man kommer (Liljequist 1975). Nederbörden är låg, högst varierande och ojämnt fördelad, samt karaktäriserad av kraftiga skurar. En stor del av nederbörden filtrerar inte genom jorden, utan försvinner som ytavrinning eller avdunstning. Klimatet i de mest arida delarna är kraftigt strålningsbetingat och därmed är det stora temperaturskillnader mellan dag och natt. Under torrsäsongen är luftfuktigheten mycket låg och stoftstormar, "harmattanvinden", en torr nordöstlig vind förekommer från november till februari (Ahrens 1991, OTA 1986).

Högre upp i atmosfären dominerar två sk jetströmmar. Tropical Easterly Jet (TEJ), på ca 12 km höjd, och African Easterly Jet (AEJ), på ca 4-5 km höjd. Sahelområdet påverkas främst av AEJ som uppkommer i gränsområdet mellan den fuktigare, kallare monsunluften från Guineabukten i söder och den torrare, hetare ökenluften i norr. I denna gränzon uppstår störningar som ger stormar samt producerar stor del (ca 80%) av den totala årliga nederbörden. Västra delen av Sahel får en stor del av nederbörden från sk squall lines (störningslinje av aktiva åskväder). Dessa uppstår i samband med de "Östliga Vågorna" (vandrande våglik störning i den östliga luftströmmen i anslutning till ITCZ) (Lamb 1972).

Hypoteser finns om att cirkulationen i Atlanten kan påverka torkan i Sahel och man jämför med cirkulationsmönstren i Stilla Havet. Under 1960- och 70-talen sattes variationer i det ekvatoriella vindsystemet i samband med variationer i ytvattentemperaturen utanför Peru. Detta fenomen brukar benämnas ENSO (El Nino/Southern Oscillation). En Atlantisk motsvarighet till Stilla Havets El Nino inträffade under 1984 och den har satts i samband med den extrema torkan 1983-1984. Eftersom Atlanten är betydligt mindre än Stilla Havet är det tveksamt om man kan jämföra dess strömningsmönster. I Atlanten förekommer också andra variationer hos ytvattentemperatur som är viktiga för nederbördsmonstren i Sahelregionen. I Sahelregionens västligaste, kustnära delar finns ett mycket tydligt samband mellan ytvattentemperatur och nederbörd (Barring 1992). Det debatteras också om huruvida en global uppvärmning kommer att påverka Sahelregionen. Forskare har konstaterat att den globala medeltemperaturen har ökat med 0,45° C - 1,5° C sen slutet av 1800-talet, men är oense om denna växthuseffekt ska anses naturlig eller orsakad av människan (Folland et al 1990). Enligt IPCC's (Intergovernmental Panel on Climate Change) bästa modelleringar med en beräknad global medeluppvärmning med 1,8° C till år 2030, kan Sahelregionens temperatur öka med 1° C till 3° C. Man är osäker på hur temperaturen kommer att fördela sig över området, men man konstaterar att vissa delar kommer få en ökad nederbörd och markfuktighet, medan det omvända gäller för andra regioner (IPCC 1990).

2.3.1 Klimatklassificering

Den tyske klimatologen Köppen presenterade 1918 en klimatklassificering som baserade sig både på klimat och naturlig vegetation (Liljequist 1975).

Klimatet och vegetationen i Sahelområdet utgörs av de enligt Köppens klimatklassificeringssystem benämnda klimatzonerna:

Bwh - varm och torr öken

Bsh - varm och torr stäpp och

Aw - tropiskt savannklimat

Beteckningarna w, s och h står för torrtid under vintern, semiarid samt varmt och torrt.

Matthews klimatklassificering är en global vegetations- och markanvändningsdatabas utvecklad för klimat och klimatförändringsstudier. Vegetationen är klassificerad enligt UNESCO's klassificeringssystem och vegetationen är indelad i 30 olika klasser (Matthews 1983). I Sahel återfinns klasserna:

15 - Tropical/subtropical drought - deciduous woodland

21 - Xeromorphic shrubland/dwarf shrubland

23 - Tall/medium/short grassland with 10-40 % woody tree

24 - Tall/medium/short grassland with <10 % woody tree

25 - Tall/medium/short grassland with shrub cover

30 - Desert

2.4 Geomorfologi och jordar

Största delen av Sahelzonen formar ett flackt eller något kuperat landskap (under 600 möh), och täcks till största delen med sand och leror från Pliocen (Tertiär) (White 1983). Endast 12% av Sahels jordar är lämpade för odling. De har låg fertilitet, dvs att de har lågt organiskt innehåll (< 1 %), låga kväve- och fosfornivåer och en låg katjons utbytes kapacitet, samt dålig kapacitet att binda vatten. Jordarna är högst varierande, men jordar med grov jordtextur, högt sandinnehåll (50-85 %) och moderat lerinnehåll (5-25 %) dominerar regionen. De är mycket känsliga för överexploatering och utsätts ofta för vind- och vattenerosion, järnanrikning (lateritisering) och aluminiumanrikning, försaltning samt vattenmättnad och bildning av hårda lerlager (OTA 1986).

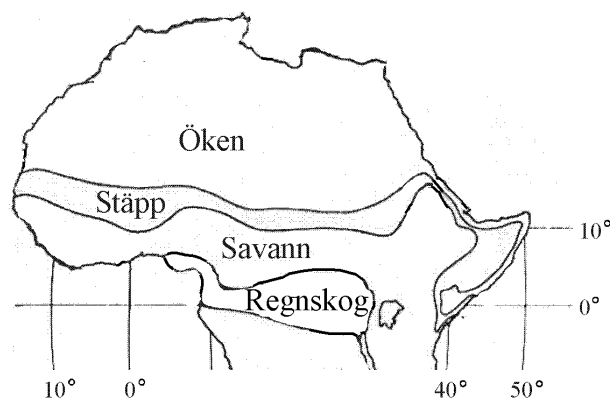
Enligt FAO-UNESCO (Soil map of the world) indelas Sahels jordar i Yermosoler (Aridisols), Xerosols (Aridisols), Solonchaks, Solonetz, Vertisols, Ferralsols (Oxisols) och Cumulosols (Fitzpatrick 1986). Aridisol och Oxisol är benämningar enligt U.S Comprehensive Soil Classification System.

Aridisol (Yermosol och Xerosol) bildas i arida områden och utgör stora delar av Saharaöknen. Jordarten har en dålig förmåga att hålla fuktighet tillgänglig för vegetation och därmed använder nomaderna den främst till bete, men med bevattning kan dessa jordar bli högproduktiva. (Strahler & Strahler 1992, Fitzpatrick 1986). Solonetz återfinns i semiarida områden och karaktäriseras av en sandig profil med en anrikningshorisont av lermineral och ett högt basmineralinnehåll (över pH 8,5). Dessa basmineral är skadliga för vegetationen och måste sänkas om marken ska kunna odlas. Vertisolerna förekommer främst i östra och allra sydligaste Sahel och utmärks av ett högt lermineralinnehåll, vilket gör dem svårbrukade. De håller kvar vattnet i sin finkorniga lermineralstruktur och därmed har vegetationen svårt att utnyttja fuktigheten. Jordarna ger ofta en låg avkastning vid odling, men med de nya effektiva jordbruksmetoderna har vissa vertisoler blivit mer produktiva och kan ge två eller tre skördar per år. (Strahler & Strahler 1992). Cumulosol är ingen jordart i vanlig bemärkelse. Denna har en grov eroderad yta (deflationsyta) som uppkommit genom aeolisk erosion. Cumulosol är en av de vanligaste "jordarterna" i många tropiska och subtropiska områden (Fitzpatrick 1986).

I arida och semiarida områden återfinns också mycket unga jordar av nutida sediment, i form av sanddyner och alluvium. Dessa finns spridda och förekommer tillsammans med Aridosols.

2.5 Vegetation

De nederbördsrika områdena i den tropiska zonen (med riklig nederbörd året runt) är bevuxna med täta tropiska regnskogar. När man rör sig från ekvatorn och närmar sig den arida zonen faller nederbörden endast under sommaren, resten av året är torrtid. Regnskogarna övergår i savanner, och när man når in i den arida zonen övergår savannen i stäpp, som i sin tur övergår i ren öken (Liljequist 1975).



Figur 2.5 Förenklad bild över de, för Sahelområdet, aktuella vegetationszonerna.

Vid årsnederbörden 400 mm förekommer trädsavann (Savanna woodland), och då årsnederbörden sjunker till 300 mm övergår trädsavannen till busksavann (Walter 1985). Ju lägre nederbörden är desto mindre busk och trädvegetation förekommer, och de långa gräsarterna byts ut mot korta. Trädsavann förekommer i de sydligaste delarna av Senegal, Mali, Burkina Faso och Tchad (White 1983). Gräs och trädarter trivs sällan tillsammans, men i tropiska klimat ger sommarregn och den specifika jordmånen upphov till samexistens (Walter 1985). Arter som Akacia och Baobab trivs bra här och Elefantgräs är en vanlig art som kan växa till en höjd av 5 meter.

Stäppen består av korta gräs, som förekommer i sparsamt distribuerade klungor, med spridda buskar och ibland låga träd. Marktäckningen är ofta liten och mycket barjord exponeras för vind och vatten (Walter 1985). Vegetationen är anpassad till en lång varm och torr period, med endast en kort intensiv regnperiod. Träden och buskarna är ofta taggiga och fäller sina blad under torrsäsongen. Det förekommer också ettåriga örtväxter i undervegetationen, som till stor del försvinner under torrperioden. Övergången från stäppliknande förhållanden till halvöken sker gradvis. Trädvegetationen försvinner och buskvegetationen och undervegetationen blir mer sparsam ju närmre ökenbiomen man kommer (White 1983). I öken biomen består vegetationen av små hårdlövade buskar, succulenta plantor eller hårda gräs (bl a Stipa och Tamarisk). Vegetationen lider brist på vatten hela året.

Vegetationens vattenförluster, i arida och semiarida regioner, är ofta stora i relation till tillförseln. Upp till 50 % av nederbörden kan gå förlorad genom avdunstning. Ytavrinning är en annan huvudsaklig faktor som orsakar vattenförlust, och kan vara 25 % av nederbörden (Breman & Uithol 1984). Detta betyder att mindre än hälften, och ibland mindre än en fjärdedel, av nederbörden är tillgänglig för plantan. Den kritiska faktorn för biomassaproduktion är alltså inte den faktiska nederbörden, utan jordfuktigheten. Tillgänglig jordfuktighet beror av nederbörd, inkommande energi, infiltration, dränering och avdunstning, jordstruktur, jordtextur samt jorddjup (Rapp et al. 1976). Stora delar av primärproduktionen i arida områden finns under markytan, och är därmed svår att mäta. (Rapp et al. 1976). Ett annat problem är också att man inte kan urskilja växttäckets kvalitet och artsammansättning i satellitbilder. Efter perioder av torra minskar artrikedomen, proportionen ettåriga växter ökar och träd hinner inte växa upp (Nygård et al. 1991).

2.6 Jordbruk

Jordbruket i Sahel koncentreras till en kort regnsäsong med en vegetationsperiod på 90-120 dagar, följt av en torrsäsong på 7-8 månader (Tilander 1996). I Sahels norra delar erhålls bra skördar bara under riktigt nederbördsrika år och därför lever människorna främst av boskapskötsel och befolkningen domineras av nomader. I de sydligaste delarna av Sahel består befolkningen till största delen av bofasta bönder som huvudsak odlar två sädeslag, hirs och durra. Inom jordbruket används enkla redskap och gödningen erhålls från husdjuren eftersom man inte har råd med konstgödsel (Fries 1996).

Jordbruket och livsmedelsproduktionen kantas av en rad olika problem. Det traditionella roterande jordbrukssystemet med långa trädesperioder klarar inte av att föda en växande befolkning, varför det gradvis har övergetts. Den ökande befolkningen innebär ett ökat tryck på markresurserna och det finns inte tillräckligt med mark för att man ska kunna låta den ligga i träda så lång tid som behövs. Jordarna hinner inte återhämta sig, vilket leder till att skörden per hektar minskar, vilket i sin tur leder till att man tvingas röja ny mark för odling i områden som inte är lämpliga för jordbruk. Fördelen med det traditionella odlingsystemet var att det gav en säkrare livsmedelsproduktion, med minimal ekologisk påverkan och liten eller ingen markförstöring (Tilander 1996).

Olika jordägarformer ger också upphov till problem. Tidigare bedrevs det afrikanska jordbruket kollektivt, men nu har traditionella jordbrukare och nomader förlorat mark till privata kapitalägare eller till stadsägda kooperativ (Djurfeldt et al. 1997). Kvinnan är den som brukar jorden och försörjer familjen, men det är männen som äger jorden, både i det traditionella samhället och i det nya komersiella jordbruket (Nilsson 1995). I Sahelområdet är det också vanligt att man odlar exportgrödor istället för mat till husbehov. Små böndernas situation präglas fortfarande av det koloniala arvet och de återfinns på de sämsta jordarna.

Allt sedan torkan 1968-73 har Sahels bevattningspotential undersökts och resultaten visar att den borde kunna utvecklas. Många länder och organisationer har menat att storskaliga bevattningsprojekt och ny teknologi ska lösa livsmedelsproblematiken. Konstbevattningsprojekt är dyra och bönder med kapital använder främst marken till exportgrödeproduktion. Småbönderna drivs från sina gamla marker eftersom stora ytor tas i anspråk. Med dammprojekten följer också en mängd miljöproblem, varav försaltning och försumpning av jordarna är vanligt (OTA 1986).

2.7 Markanvändning

Jordbruksmarken återfinns främst i de sydligast belägna länderna. Här finns också de största skogsmarkerna. Guinea Bissau och Senegal har den högsta bevattningspotential, som är runt 1 % av den totala jordbruksmarken. Tabell 2.3 nedan visar ländernas markanvändning.

Tabell 2.3 Markanvändningen i de aktuella länderna. Den totala landytan anges i km². Markanvändning (1995) avser del av total landytan, i procent. Konstbevattning (1990) anger andel bevattnad jordbruksmark.

| | Burkina Faso | Gambia | Guinea Bissau | Mali | Mauritanien | Niger | Senegal | Tchad |
|------------------------|--------------|--------|---------------|-----------|-------------|-----------|---------|-----------|
| Total landytan | 273 800 | 10 000 | 28 000 | 1 220 000 | 1 030 400 | 1 266 700 | 192 000 | 1 259 200 |
| Jordbruksmark | 10 % | 16 % | 12 % | 2 % | 1 % | 3 % | 27 % | 2 % |
| Äng/betes-mark | 37 % | 9 % | 43 % | 25 % | 38 % | 7 % | 30 % | 36 % |
| Träd/skogs-mark | 26 % | 20 % | 38 % | 7 % | 5 % | 2 % | 31 % | 11 % |
| Övrig mark | 27 % | 55 % | 7 % | 66 % | 56 % | 88 % | 12 % | 51 % |
| Konstbevattning | 0,02 % | 0,03 % | 0,12 % | 0,02 % | 0,01 % | 0,05 % | 0,12 % | 0,002 % |

2.7.1 Spannmålsproduktion

Flera av länderna i Sahel producerade mindre mat per person under början av 1980-talet än vad man gjorde under perioden 1974-76 (Hjort af Ornäs & Salin 1989). Trots att man totalt sett ökade spannmålsproduktionen, räckte det inte för att försörja den växande befolkningen. Sahelländerna var självförsörjande till under sent 1970-tal. De för studien aktuella Sahelländerna har en spannmålsproduktion mellan 0,6-1 ton /ha, år 1990 (se figur 5.3 i kap.5.1). Jämför man siffrorna för spannmålsproduktion med tabell 2.4 nedan, ser man att det mesta jordbruket bedrivs på gammalt traditionellt sätt.

Tabell 2.4 Olika produktionsnivåer i världen (Okigbo 1997).

| Brukningssmetod | Produktion (ton/ha) |
|--------------------------|---------------------|
| Roterande jordbruk | < 0,1 |
| Låg traditionellt | 0,8 |
| Måttligt traditionellt | 1,2 |
| Förbättrat traditionellt | 2 |
| Måttligt teknologiskt | 3 |
| Hög teknologiskt | 5 |
| Specialiserad teknologi | 7 |

I länderna odlas främst spannmålsgrödorna ris, majs, hirs och durra och fördelningen av dessa visas i tabell 2.5

Tabell 2.5 De vanligaste spannmålsgrödorna (1990), som procent av total odlad ytareal. För vissa länder blir totalsumman inte 100%, vilket innebär att någon av grödorna vete, korn eller fonio upptar dessa procent.

| LAND | RIS | MAJS | HIRS | DURRA |
|---------------|------|------|------|-------|
| Burkina Faso | 1 % | 7 % | 40 % | 51 % |
| Gambia | 16 % | 13 % | 56 % | 15 % |
| Guinea Bissau | 55 % | 12 % | 18 % | 12 % |
| Mali | 8 % | 7 % | 50 % | 33 % |
| Mauritanien | 13 % | 3 % | 10 % | 73 % |
| Niger | 0 % | 0 % | 67 % | 33 % |
| Senegal | 6 % | 9 % | 70 % | 14 % |
| Tchad | 4 % | 3 % | 45 % | 41 % |

2.7.2 Markförstöring

Merparten av Sahelområdet har marginella förutsättningar för jordbruk. Överbetning av får, getter och boskap lämnar markytan bar och öppen för såväl vatten- som vinderosion. En avverkning av träd, ofta i kombination med överbetning, ger samma effekt. Ett allför intensivt jordbruk utarmar marken och ger sämre vegetationstäckning. Den begränsande tillväxsfaktorn blir bristen på näring snarare än vatten. Markförstörelsen är ofta så stor att jordar och vegetation inte kan återhämta sig under regnperioden. Så länge befolkningsökningen påverkar markanvändningen kommer trycket på jorden att bestå och det blir svårt att hindra markförstörelsen.

2.8 Åtgärder för en bättre livsmedelsförsörjning

I det långa loppet måste länderna själva kunna ta hand om utvecklingen i sina länder, men eftersom de är fattiga och det är dyrt och svårt att genomföra förändringar så behövs bistånd. Nu börjar dock de stora biståndsgivarna bli mer lyhörda för lokalbefolkningens behov. Lokalbefolkningen har också börjat inse problemen och förstår att de måste skydda sin miljö. Samband mellan mark- och miljöförstöring och befolkningsökning är inte klart och det är inte säkert att en lägre befolkningsökning skulle vara bättre för miljön. Däremot är en kombination av jordbrukspraxis och reducerad befolkningsökning början till en hållbar utveckling (Benneh 1997).

Jordbruksrådgivningen måste också få ökade resurser och samarbete mellan ämnesområdena agronomi, skogsvård, ekonomi, sociologi och antropologi måste skapas. Behovet av landreformer påpekas både av bönder och organisationer och man skulle kunna förbättra jordbruksproduktionen avsevärt genom att införa roterande jordbruk, förbättra integration av grödor och boskap (gödselutnyttjande), agroforestry, nya grödesystem, bättre markvård, effektivare arbetsredskap (idag är stora delar av jordbruket hackjordbruk) samt införa bättre utsäde (Platteau 1995).

3 MATERIAL OCH DATA

Detta kapitel inleds med en teoretisk bakgrund om NOAA AVHRR och NDVI, därefter följer en beskrivning av datamaterial som använts i studien.

3.1 Satellitdata

3.1.1 NOAA AVHRR

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) -satelliterna är polära cirkulerande vädersatelliter, som på höjden 833 till 870 km genererar data över jorden två gånger per dygn, med sensorn AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Sensorn är en scannande radiometer med fem kanaler inom det synliga, nära infraröda, mellan infraröda och det termiska infraröda spektrumet och med en upplösning på 1,1 km. NOAA-AVHRR sensorn var ursprungligen avsedd till att samla in global meteorologisk data. AVHRR data kan bl a användas för att identifiera moln, land-vatten gränser och snö-is utbredning, översvänningsövervakning, markfuktighetsanalyser, skogsbrandskartering, vedbränslekartering, övervakning av stoft- och sandstormar, geologiska applikationer och vegetations kartering och övervakning (Wastenson 1990).

NOAA mottar AVHRR data i två olika format. Data som registreras i full upplösning kallas "Local Area Coverage" (LAC) data. Data som reducerats till upplösningen 4 km kallas "Global Area Coverage" (GAC) data (Prince 1991, James & Kalluri 1994).

Satellitbilsdata är behäftade med vissa fel och måste användas med största försiktighet. När bilddata registreras av satelliternas sensorer uppstår radiometriska och geometriska fel. Dessa fel ger bl a upphov till att pixlarnas storlek varierar över bilden samt att de får fel position (Richards 1993). Eftersom varje mätning innehåller ett relativt stort fel bör man inte dra slutsatser från enskilda pixelvärden. Värt att notera är att de reflektionsvärden som representerar varje pixel (8x8 km) endast härrör från 6% av markytan, för AVHRR Land Pathfinder data (Eklundh 1997).

3.1.2 NDVI

Det är vegetationens fysiologiska processer som fotosyntes och klorofyllproduktion samt fysiologiska tillstånd som cellstruktur, vatteninnehåll och bladtjocklek som påverkar den spektrala reflektionen i de olika våglängdsområdena (Hoffer 1978). Den spektrala reflektionen hos vegetation varierar vid olika registreringsförhållanden med hänseende till växternas dygnsrytm, tidpunkt under vegetationssäsongen, näringsstatus, vattenhalt och pigmentering. Reflektion hos olika grödor varierar också beror på en mängd regionala faktorer såsom antal grödor per enhet, nederbörd per säsong, fältstorlek, vegetationsperiodens längd, dränering av marken etc (Buechel et al 1989). Reflektionen från bakgrunden, såsom mark och vattenytor måste också tas med i beräkningen, speciellt i arida och semiarida områden.

Olika matematiska kombinationer av AVHRR kanal 1 och 2 har visat sig vara bra indikatorer på vegetationens aktuella tillstånd. Kombinationerna benämns vegetationsindex, varav ett enkelt vegetationsindex (VI) och ett normaliserat index (NDVI) är vanligast. NDVI ("the Normalized Difference Vegetation Index") normaliserar skillnaden mellan kanalerna så att värdena kommer att ligga mellan -1 och + 1.

VI definieras som $Ch\ 2 - Ch\ 1$ och NDVI som

$$\text{NDVI} = (\text{Ch } 2 - \text{Ch } 1) / (\text{Ch } 2 + \text{Ch } 1)$$

där Ch 1 och Ch 2 är reflektansen i den synliga röda (0,58-0,68 μm) respektive den infraröda (0,725-1,1 μm) kanalen (Davenport & Nicholson 1993). Områden med vegetation ger generellt höga värden för båda indexen beroende på deras relativt höga närainfraröda reflektans och låga reflektans inom det synliga spektrat. NDVI kompenserar för förändrade ljusförhållanden, sluttning, vinklar etc. I satellitscener med hög biomassa ligger NDVI vanligen mellan 0,1 och 0,6 (Lillesand & Kiefer 1987). I litteraturen nämns ofta NDVI gränsen 0,1 för markpåverkan (Malingreau 1986). Detta innebär att NDVI-värden under 0,1 är påverkade av markytan och är därmed inte representativa som ett mått på biomassa.

Reflektionen av grön biomassa i det synliga och infraröda spektrat utgör på så sätt en innovativ metod för övervakning och kontroll från rymden. Här används vanligtvis NDVI. Det pågår debatt om huruvida NDVI värdet är relaterat till den fotosyntetiska aktiviteten och evapotranspirationen, eller till biomassa och LAI (Leaf Area Index) hos den observerade vegetationen (Eklundh 1996).

3.1.3 Tillämpningar

Vegetationsindex från NOAA-AVHRR har använts både i kvalitativa och kvantitativa studier. Sedan 1980-talet har ett stort antal studier gjorts med hjälp av AVHRR för globala och regionala vegetationstillämpningar. Såväl marktäckning, som årstidsvariationer hos vegetationen har studerats och analyserats (Hayes 1985, Townshend et al. 1991, Erlich et al. 1994). Ett antal NDVI baserade studier i Sahelregionen och Sahara öknen har utförts (Holben 1986, Tucker et al. 1985, Justice 1986, Prince & Justice 1991). Kvantitativa studier i form av bestämning av vegetationsmängd har gjorts, genom att relatera tidsserier av data till vegetationsindikatorer som nederbörd och markfuktighet (Eklundh 1996). AVHRR NDVI-data används också i semiarida områden för att ge tidiga varningssignaler vid hotande torka och svält (Hutchinson 1991, Johnson et al. 1987, Hielkema 1992). Den goda temporal upplösningen hos AVHRR-NDVI har också gjort det möjligt att studera vegetationens utveckling under hela växtsäsonger, sk. Fenologiska studier (Malingreau 1986, Justice et al. 1985, Tucker et al. 1985, Townshend & Justice 1986, Loveland et al 1991, Defries & Townshend 1994).

Skördeberäkningar och prognoser med hjälp av flygfoton och satellitbilder har hittills gett varierande resultat (Lillesand & Kiefer 1987). Beräkningarna blir komplexa eftersom de baseras på en mängd olika faktorer. Det är ofta svårt att fastställa dessa faktorer på en regional skala eftersom det finns stora rumsliga variationer. Både Landsat TM och MSS data har använts för att identifiera odlade områden och göra skördeprognoser. Det krävs många scener, vilket försvåra molnfria scener under vegetationsperioden. NOAA AVHRR data ger däremot möjlighet att studera stora områden med god temporal upplösning (Groten 1993, Henricksen och Durkin 1986).

3.1.4 AVHRR Land Pathfinder

NASA har haft en ledande roll i uppbyggnad av globala databaser för vegetationsövervakning. Med den meteorologiska NOAA-satellitens AVHRR-sensor har man bl a skapat GAC databasen AVHRR Land Pathfinder. Datan täcker tidsperioden 1982-1994 och har den grova spatiala upplösningen, 8x8 km, med ytriktiga projektionen Goode Homolosine. NOAA-satelliterna genererar data över jordytan två gånger per dygn, och från den datan har man skapat NDVI-värden i *10-dagars kompositer*. För att få en homogen tidsserie har man extraherat och behållt det maximala NDVI-värdet från varje 10-dagars period för varje pixel (Holben 1986). Eftersom NDVI maximerats innehåller datan relativt liten påverkan av moln, belysningsvinklar och andra atmosfäriska effekter. En molnalgorithm (CLAVR) har också framställts dels för att erhålla så opåverkade NDVI-värden som möjligt och dels för identifiering av graden molninghet hos pixlarna (James & Kalluri 1994). Tidsserier med denna typ av NDVI-data har kalibrerats och bearbetats av NASA. I den här studien användes samtliga bilder (36 bilder per år) mellan 1982 och 1990 över Afrika, samt framställda molnalgorithm (CLAVR) för alla bilder.

3.2 Nederbördsdata

Jordens klimatförändringar har medfört ett ökat behov av globala klimatdatabaser. Därför har “the Carbon Dioxide Information Analysis Center“ (CDIAC) och “the National Climatic Data Center“ (NCDC) inlett “the Global Historical Climatology Network“ (GHCN) projektet. Här skapas en global databas med information om *månadsmedelvärden* för temperatur, nederbörd och lufttryck vid havsytan samt lufttryck vid respektive klimatstation. Alla stationer har minst 10 år med data, 40% har mer än 50 år med data. Nederbördsdatan finns för 7533 stationer över hela världen. Ingen data finns för någon station efter 1990. Flest stationer finns i centrala Nordamerika, centrala Europa, Afrika söder om Sahara och östra Australien. Däremot *fattas mycket data inom bl a Sahararegionen*. Nästan 72% av alla stationer saknar mindre än 10% data, men i bl a norra Afrika saknas mer data. Här användes totalt 81 nederbördsstationer från det angivna området (se tabell 4.2 för fördelning av stationer per land) med månadsmedelvärden för åren 1982 till 1990.

3.3 Socioekonomisk data - spannmålsproduktion

“The Food and Agricultural Organisation“ (FAO) har byggt upp en databas kallad FAOSTAT. Sammanställningen av databasen har blivit möjlig genom samarbete med regeringar och organisationer världen över, som varje år fyllt i frågeformulär om den aktuella situationen.

FAOSTAT är global och innehåller *årliga summeringar* för:

Produktion (grödor, boskap, kreatur, kött-mjölk produkter)

Produktionsindex (jordbruk)

Handel och handelsbalans (grödor, boskap, kreatur)

Mark (markanvändning och bevattning)

Produktionshjälpmedel (jordbruksmaskiner, konstgödsel, bekämpningsmedel)

Mathjälp

Befolkning

Fiskeri samt

Skog

I detta arbetet har främst Produktions-, Markanvändnings-, och Befolkningsdata över Sahelområdet använts, för åren 1982 till 1990. Här användes total spannmålsproduktion (ihopslagning av hirs, durra, majs, ris, vete, korn och fonio) i ton/ha.

4 METODER

4.1 Satellitbilsdata

Ursprungsdatan innehöll 36 scener per år över Afrika, med ett NDVI värde för varje pixel. För att erhålla NDVI-medelvärden från de aktuella länderna digitaliserades först träningsytor. Dessa träningsytor representerade olika klimat- och vegetationszoner. En grov indelning med i genomsnitt två zoner per land gjordes efter modifiering av Köppens- och Matthews vegetationsindelning. Följande zoner definierades och digitaliserades, tabell 4.1:

Tabell 4.1 *Indelning efter klimat och vegetationszon, för samtliga länder, enligt Köppens och Matthew. Med zonförhållande avses de digitaliserade klimatzonernas storleksförhållande till varandra.*

| Land och antal zoner | Matthew zon | Köppen zon | Zonförhållande | |
|----------------------|-------------|------------|----------------|------|
| Senegal | 1 | 15 | Aw | 1 |
| | 2 | 25 | Bsh | 1.02 |
| Mauritanien | 1 | 30 | Bwh | 2.13 |
| | 2 | 21, 25 | Bsh | 1 |
| Mali | 1 | 30 | Bwh | 6.58 |
| | 2 | 25 | Bsh | 3.86 |
| | 3 | 15 | Aw | 1 |
| Burkina Faso | 1 | 25 | Bsh | 4.54 |
| | 2 | 15 | Aw | 1 |
| Niger | 1 | 25 | Bsh | 1 |
| | 2 | 30 | Bwh | 1.91 |
| Tchad | 1 | 30 | Bwh | 7.19 |
| | 2 | 23-25 | Bsh | 6.17 |
| | 3 | 15 | Aw | 1 |
| Guinea Bissau | 1 | 15 | Aw | 1.11 |
| | 2 | 23,25 | Bsh | 1 |
| Gambia | 1 | 15 | Aw (Bsh) | 1 |

Från den totala NOAA datan (36 bilder per år) extraherades NDVI-värden för de definierade klimatzonerna. Resultatet blev 36 tiodagars medelvärde för varje vegetationszon, dvs tre NDVI-värden per månad och zon, för perioden 1982-1990.

För att erhålla NDVI-data med låg molnpåverkan användes en molnmask, CLAVR, som tidigare nämnts. Kriteriet sattes till att NDVI-medelvärden endast skulle skapas av helt molnfria pixlar, samt att medelvärdesberäkningar skulle göras från minst tre pixlar.

Av tio-dagars NDVI-medelvärden skapades månadsmedelvärden, årsmedelvärden samt medelvärden för definierade regnperioder (se kapitel 4.4), för senare korrelationsanalys med nederbörd och spannmålsdata. Viktade NDVI-årsmedelvärden producerades för samtliga länder. Medelvärdena räknades ut enligt formeln:

$$x_{ab} = (x_a \times n_a) + (x_b \times n_b) / n_a + n_b,$$

där x är NDVI-värden för vegetationszonerna a och b , och n är antalet pixlar för respektive zon. Genom att vikta NDVI-värdena tar man hänsyn till träningsytornas olika storlek.

Eftersom den bara markytan i Sahels arida och semiarida områden i hög grad påverkar NDVI-värden plockades, i vissa analyser (kapitel 5.2.4), värden under 0.05 bort. Dessa värden anses vara alltför påverkade av markytan och ger då ingen rättvis bild av vegetationsfördelningen. I litteraturen

nämns ofta NDVI-gränsen 0.1 för markpåverkan (Malingreau 1986), men i detta fall hade för många värden exkluderats om denna gräns valts.

4.2 Nederbördsdata

Nederbördsdata för de 8 aktuella Sahelländerna plockades ut. Datan var ojämnt fördelad över länderna och vissa stationer saknade mycket data. Saknades mer än hälften av nederbördsdatan för en station uteslöts de helt. För Mali och Gambia togs en station bort och två plockades bort från Tchad. Stationer i Gambia och Guinea Bissau saknade mycket data vilket betyder att analysresultaten från dessa två länder måste tolkas med extra försiktighet. Tabellen nedan visar hur många stationer som användes till analyserna.

Tabell 4.2. *Fördelning av nederbördsstationer.*

| Land | Antal stationer |
|----------------------|------------------------|
| Burkina Faso | 9 |
| Gambia | 1 |
| Guinea Bissau | 3 |
| Mali | 13 |
| Mauritanien | 11 |
| Niger | 5 |
| Senegal | 13 |
| Tchad | 26 |

Från månadsmedelvärden uträknades årsmedelvärden och medelvärden för definierade regnperioder och klimatzoner för alla länder. Årsmedelvärden avser medelvärden av alla nederbördsstationer för varje land. Medelvärden för klimatzoner, definierade efter Köppens och Matthew, gjordes på nederbördsstationer placerade i aktuell klimatzon. Regnperioder definierades både för hela länder och för uppdelning i klimatzoner.

4.3 Socioekonomisk data - spannmålsproduktion

Data från FAO's socioekonomiska databas (FAOSTAT) importerades (<http://apps.fao.org/default.asp>). Fokusering gjordes främst på den totala spannmålsproduktionen i ton/ha, framför enskilda grödor. Den totala spannmålsproduktionen avser sammanslagning av årsmedelvärden för grödorna hirs, durra, majs, ris, vete, korn och fonio. I tidigare studier har man funnit att korrelationsanalys med en sammanslagning av grödorna hirs, durra, majs och fonio gav liknande resultat som analys av enskilda grödor (Groten 1993). Information om åkerareal, betesareal, skogsareal, bevattnad areal, och befolkningsstatistik (befolkningsdemografi och ekonomiskt aktiv befolkning) bearbetades och användes delvis som bakgrundsmaterial.

4.4 Korrelationsanalys

Korrelationsanalys valdes eftersom sambanden mellan faktorerna NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion skulle studeras. De största svagheter med korrelationsmodellen är att en mängd faktorer som påverkar sambandet utelämnas. Korrelationskoefficienten är också mycket känslig för avvikande värden, sk "outliers" (Andersson et al. 1983).

För att studera de eventuella samband mellan variablerna beräknades korrelationskoefficienter på en rad olika sätt. Eftersom spannmålsproduktionen endast var beräknad på årsbasis för respektive land beräknades bl a korrelation mellan NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion med årsmedelvärden för åren 1982-1990. Korrelation beräknades också per klimatzon, för att se i vilka zoner starkast samband förekom mellan NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion. Här korrelerades alltså NDVI-värden med nederbörd från stationer i samma klimatzon. Samtliga korrelationer gjordes både mellan länderna och mellan åren med årsmedelvärden för samtliga faktorer. I dessa analyser användes NDVI-värden med och utan (dvs värden under NDVI 0,05 eliminerade) gränsen för markpåverkan. Se tabell 4.3 på sidan 20, för sammanställning av samtliga analyser.

Korrelationsanalys gjordes också mellan NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion för definierade regnperioder (vegetationsperioder), per land och per klimatzon, se tabell 4.3. Regnperioderna indelades olika för länderna beroende på nederbördssituationen i respektive land under perioden 1982 till 1990. De valda regnperioderna påverkas därmed av den aktuella nederbördsdatan, med avseende på antal stationer och spridning i landet, samt datakvalitet. Med en nedre gräns på 20 mm nederbörd per månad beräknades nya medelvärden för NDVI och nederbörd för de antagna regnperioderna:

Burkina Faso: april-oktober

Mali: maj-oktober

Tchad: maj-oktober

Senegal: juni-oktober

Gambia: juni-oktober

Guinea Bissau: juni-oktober

Niger: juni-september

Mauritanien: juli-september

Tabell 4.3 *Korrelationsanalyser mellan variablerna NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion. Med och utan markpåverkan avser NDVI-värden, under och över 0,05. Vid analyser med nederbörd och spannmål görs ingen uppdelning med avseende på markpåverkan, eftersom dessa kriterier definieras utifrån NDVI-data. Årsmedelvärden och medelvärden för definierade regnperioder används i analyserna.*

| Variabler | Korrelationsanalys | Kriterier |
|-----------------------------------|----------------------|--|
| NDVI och Nederbörd | Temporal och Spatial | Med och utan markpåverkan. Med och utan definierad klimatzon för temporal analys. |
| NDVI och Nederbörd | Temporal och Spatial | Med och utan markpåverkan. Med och utan definierad klimatzon för temporal analys. För definierad regnperiod. |
| NDVI och Spannmålsproduktion | Temporal och Spatial | Med och utan markpåverkan. Med och utan definierad klimatzon för temporal analys. |
| NDVI och Spannmålsproduktion | Temporal och Spatial | Med och utan markpåverkan. Med och utan definierad klimatzon för temporal analys. För definierad regnperiod. |
| Nederbörd och Spannmålsproduktion | Temporal och Spatial | Med och utan definierad klimatzon för temporal analys. |
| Nederbörd och Spannmålsproduktion | Temporal och Spatial | Med och utan definierad klimatzon för temporal analys. För definierad regnperiod |

Ytterligare en korrelation gjordes med variablerna NDVI och nederbörd, med månadsmedelvärden och NDVI-värden över 0,05. Här togs också hänsyn till 1 månads lag-effekt. Med lag-effekt menas att man tar hänsyn till vegetationens tidsförskjutning i förhållande till nederbörden. Nederbördsvärden korrelerades med NDVI-värden från samma regionala områden.

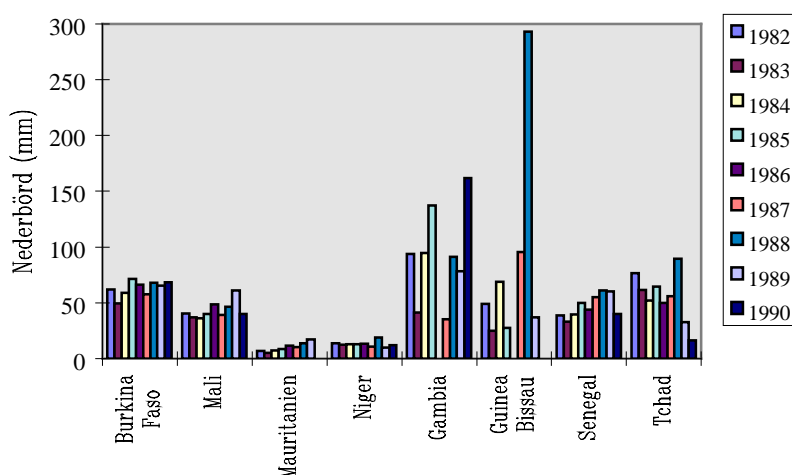
4.5 Mjukvara

Olika programvaror har använts under arbetet. Till bildbehandling och digitalisering av träningsytor användes PCI (PCI 1994). För att sedan generera signaturfiler till träningsytorna behövdes programmet IDRISI (Eastman 1993). Vidare för extrahering av NDVI användes programmet Signatur (Olsson/Eklundh). Nederbördsdatan behandlades först i Access och uppbyggnad av databaser och analyser ägde sedan rum i Microsoft Excel och Minitab.

5 RESULTAT

5.1 Nederbörd, NDVI och spannmålsproduktion mellan 1982 och 1990.

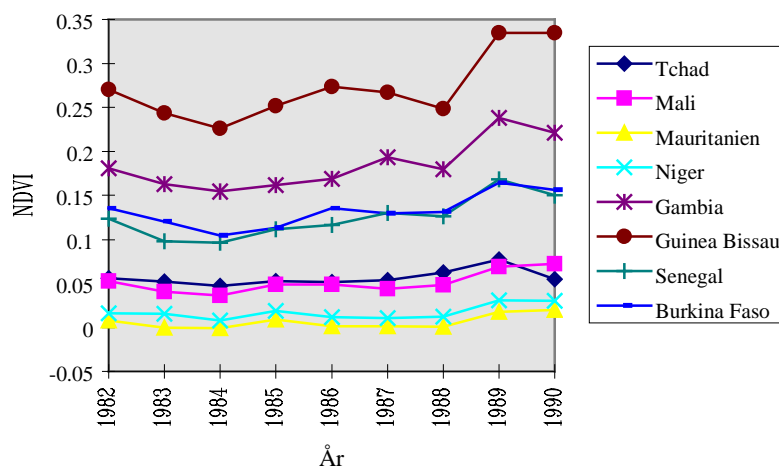
Fig 5.1 nedan visar nederbördsituationen mellan åren 1982 till 1990, för samtliga aktuella länder.



Figur 5.1 Årsmedelvärden för nederbörd (mm) under perioden 1982 till 1990 för samtliga länder. Data saknas för Guinea Bissau (1986 och 1990), Gambia (1986) och Mauritien (1990). Årtalen anges i samma inbördes ordning som i legenden.

Mest nederbörd erhåller länderna Gambia, Guinea Bissau och Burkina Faso, följt av Senegal, Tchad och Mali. Allra minst nederbörd får länderna Niger och Mauritien. Torkperioden mellan 1982 till 1984 syns som en nedgång av nederbörden under året 1983. För Guinea Bissau (1986 och 1990), Gambia (1986) och Mauritien (1990) saknas nederbördsdata, vilket medför att de totala nederbördsstaplarna för 1986 och 1990 blir lägre.

Figur 5.2 visar NDVI-värden för länderna, från 1982 till 1990.

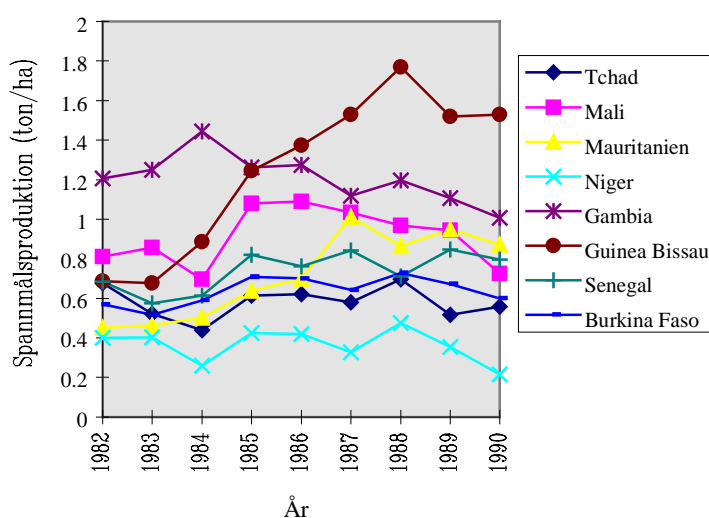


Figur 5.2 Årsmedelvärden för NDVI under perioden 1982 till 1990.

Guinea Bissau har högst NDVI-värden följt av Gambia, Burkina Faso och Senegal. Övriga länder har lägre värden varav Mauritien och Nigers NDVI-medelvärden aldrig överstiger 0.05. Under åren 1983-84 kan man skönja en nedgång av NDVI (jmf. Nederbörd. Fig 5.1). Om man jämför nederbörd och NDVI ser man, i merparten av fallen, att länder med hög nederbörd också har högt

NDVI, och tvärtom. Ett undantag är Senegal och Tchad. I figur 5.1 ser vi att Tchad har högre nederbörd än Senegal. Figur 5.2 visar däremot att Senegal har högre NDVI än Tchad. För Tchads del beror detta förmodligen på att årsmedelvärdet för nederbörden påverkas mycket av de stationer som ligger i de nederbördsrika, sydliga delarna av landet, medan NDVI värdet representerar stora delar av ökenområdena.

Figur 5.3 visar den totala spannmålsproduktionen, dvs en sammanslagning av grödorna hirs, durra, ris, majs, korn, vete och fonio, i ton/ha för perioden 1982-1990.



Figur 5.3 Årsmedelvärden för total spannmålsproduktion (ton/ha) under perioden 1982 till 1990.

Den sammanslagna spannmålsproduktiviteten har fluktuerat under perioden 1982 till 1990 och ser lite olika ut för länderna. Mest spannmål per ytenhet producerar Guinea Bissau, med 1,53 ton/ha år 1990, följt av Gambia och Mali. Allra minst spannmål producerar i Niger, där siffran ligger runt 0,2 ton /ha år 1990. Flertalet länder har en medelproduktivitet mellan 0,6-1 ton /ha, år 1990. I Guinea Bissau har produktiviteten ökat relativt mycket och är betydligt högre i förhållande till de andra. Mauritien och Senegal har också haft en ökning av produktiviteten, men betydligt mindre än Guinea Bissau. I Gambia och Niger har produktiviteten sjunkit något, och i övriga länder har förändringarna inte varit så stora, även om fluktuationer förekommit. Generellt kan man se en sänkt produktivitet under åren 1983 till 1984.

5.2 Korrelationsanalys

Resultaten från korrelationsanalyserna av de tre variablerna NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion presenteras i fyra delkapitel, indelat beroende på vilka variabler som analyserats. I resultattabellerna anges endast signifikansnivå för sambanden mellan variablerna. Antalet parvis observationer (n) är 9 för de temporala korrelationsanalyserna och 8 för de spatiala korrelationsanalyserna. Alla signifikanta samband (r) är positiva. Som illustration av sambanden mellan de tre faktorerna har länderna Guinea Bissau, Senegal och Niger valts (se figur 5.4-5.7). Dessa tre länder representerar områden med relativt sett höga-, medel- respektive låga värden för NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion. Analys med årsmedelvärden och markpåverkan valdes eftersom detta kriterie återfinns i samtliga korrelationsanalyser.

5.2.1 Korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd

Resultaten av de temporala korrelationsanalyserna, med årsmedelvärden och medelvärden för definierade regnperioder, mellan NDVI och nederbörd visas i tabell 5.1 nedan.

Tabell 5.1 Signifikansnivåer för temporal korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd, för varje land. Medelvärden för NDVI och nederbörd är uträknat per år och per definierad regnperiod, med och utan markpåverkan (dvs. NDVI gränsen 0,05). Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| Land | Årsmedelv. med markpåverkan | Årsmedelv. utan markpåverkan | Medelv. för regnperiod med markpåverkan | Medelv. för regnperiod utan markpåverkan. |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| Burkina Faso | - | - | - | - |
| Gambia | - | - | - | - |
| Guinea Bissau | - | - | - | - |
| Mali | - | - | - | - |
| Mauritanien | - | - | - | * signifikans |
| Niger | - | ** signifikans | - | ** signifikans |
| Senegal | - | * signifikans | - | - |
| Tchad | - | - | - | * signifikans |

Korrelationen för årsmedelvärden mellan NDVI-värden och nederbörd är låga och i de flesta fall finns inget signifikant samband alls. Om man räknar bort NDVI-värden under 0.05 fås signifikanta samband i Niger och Senegal. Använder man NDVI och nederbörd specificerade för en viss regnperiod, utan markpåverkan, fås signifikanta samband i länderna Mauritanien, Niger och Tchad.

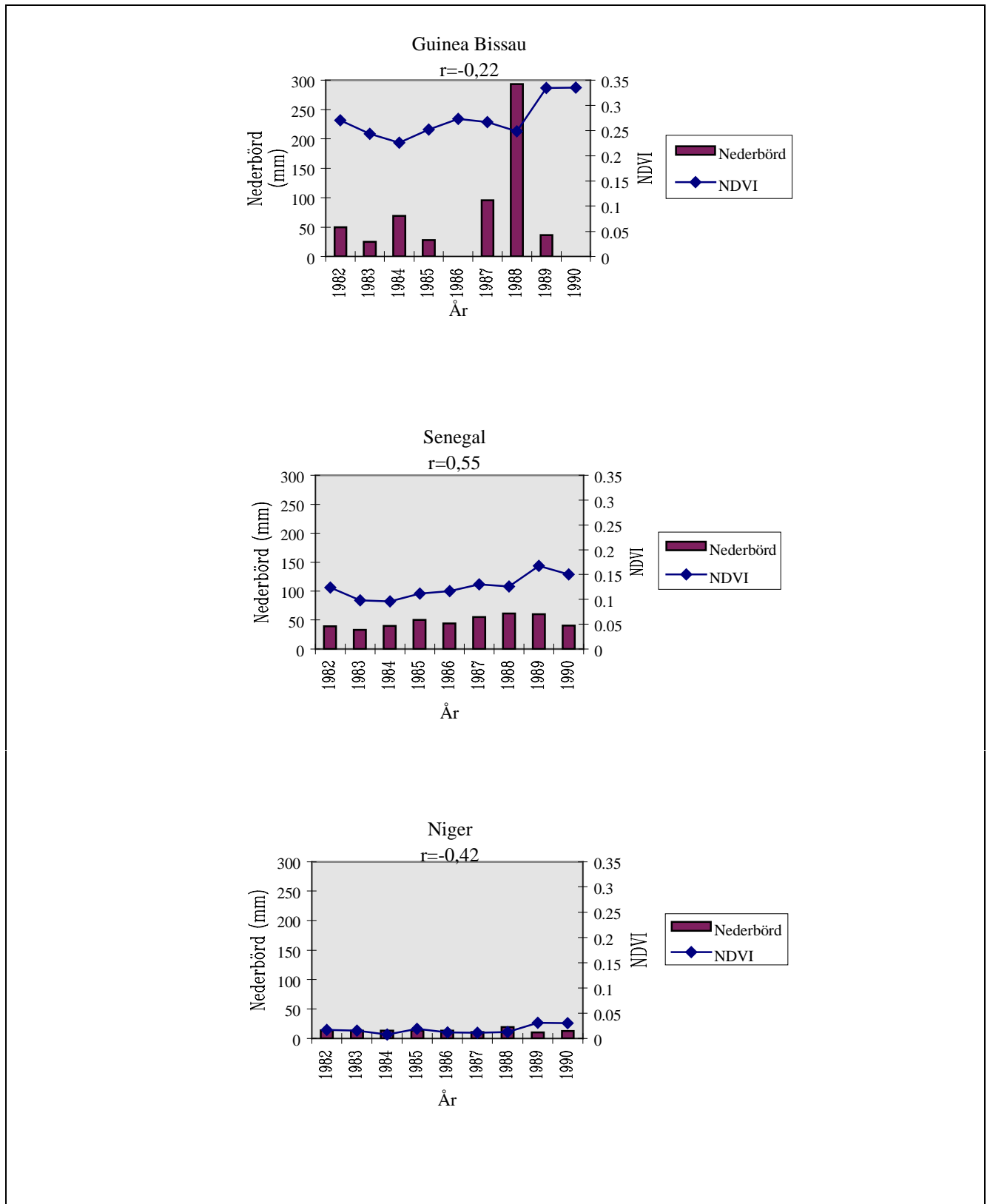
Delas länderna in i klimatzoner fås resultaten i tabell 5.2, för temporal korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd.

Tabell 5.2 Signifikansnivåer för temporal korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd för specificerade klimatzoner, för varje land (se kapitel 4.1). Medelvärden för NDVI och nederbörd är uträknat per år och per definierad regnperiod, med och utan markpåverkan (dvs. NDVI gränsen 0,05). Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| Land | Årsmedelv. med markpåverkan | Årsmedelv. utan markpåverkan | Medelv. för regnperiod med markpåverkan | Medelv. för regnperiod utan markpåverkan. |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| Burkina Faso 1 | - | - | - | - |
| Burkina Faso 2 | - | - | - | - |
| Guinea Bissau 1 | - | - | - | - |
| Guinea Bissau 2 | - | - | - | - |
| Mali 1 | - | - | - | - |
| Mali 2 | - | - | - | - |
| Mali 3 | * signifikans | * signifikans | - | - |
| Mauritanien 1 | - | - | - | - |
| Mauritanien 2 | * signifikans | - | - | - |
| Niger 1 | * signifikans | - | * signifikans | - |
| Niger 2 | - | - | - | - |
| Senegal 1 | - | * signifikans | - | - |
| Senegal 2 | * signifikans | ** signifikans | ** signifikans | - |
| Tchad 1 | - | - | - | - |
| Tchad 2 | - | - | - | * signifikans |
| Tchad 3 | - | - | - | - |

Här ser vi att de signifikanta sambanden mellan NDVI och nederbörd för varje land och klimatzon är relativt fåtaliga. De länder där signifikanta samband förekommer varierar också mellan de olika analyserna. Man kan dock se att de länder där signifikanta samband mellan NDVI och nederbörd förekommer är ungefär desamma i de båda ovanstående tabellerna, dvs Mauritaniens, Niger, Senegal och Tchad. Signifikanta samband fås främst i klimatzoner och i analyser där NDVI och nederbörds värdena är relativt höga (0.2-0.3). Guinea Bissau och Gambia har relativt höga NDVI-värden (runt 0.3), men där är nederbördsdatan mycket bristfällig, vilket inte ger signifikanta samband. Klimatzonen Tchad 1 saknar helt nederbördsstationer.

Sambanden mellan NDVI och nederbörd för Guinea Bissau, Senegal och Niger illustreras i figur 5.4 på sidan 26. Värdena är årsmedelvärden per land med markpåverkan. Signifikanta samband förekommer inte hos någon av länderna i denna analys, men i analyser utan markpåverkan, för definierade regnperioder eller klimatzoner förekommer korrelation hos Senegal och Niger.



Figur 5.4 Illustration av sambanden mellan nederbörd (mm) och NDVI för Guinea Bissau, Senegal och Niger under peioden 1982 till 1990. Värdena är årsmedelvärden per land med markpåverkan. Guinea Bissau saknar nederbördsdata för åren 1986 och 1990. Inga signifikanta samband förekommer i denna analys.

Vid spatiala korrelationsanalyser mellan NDVI och nederbörd under åren 1982 till 1990 ser resultaten lite annorlunda ut, se tabell 5.3 nedan.

Tabell 5.3 Signifikansnivåer för spatial korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd, för varje år. Medelvärden för NDVI och nederbörd är uträknat per år och per definierad regnperiod, med och utan markpåverkan (dvs. NDVI gränsen 0,05). Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| År | Årsmedelv. med markpåverkan | Årsmedelv. utan markpåverkan | Medelv. för regnperiod med markpåverkan | Medelv. för regnperiod utan markpåverkan. |
|------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| 1982 | - | - | ** signifikans | *** signifikans |
| 1983 | - | - | * signifikans | * signifikans |
| 1984 | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans |
| 1985 | - | - | *** signifikans | *** signifikans |
| 1986 | ** signifikans | *** signifikans | * signifikans | ** signifikans |
| 1987 | ** signifikans | ** signifikans | * signifikans | * signifikans |
| 1988 | ** signifikans | ** signifikans | * signifikans | ** signifikans |
| 1989 | - | - | ** signifikans | ** signifikans |
| 1990 | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans |

De signifikanta sambanden mellan NDVI och nederbörd är betydligt fler för den spatiala korrelationsanalysen. Vid analyser baserade på årsmedelvärden, både med och utan markpåverkan, finns samband under åren 1984, 1986, 1987, 1988 samt 1990. Spatiala samband under den specificerade regnperioden (både med och utan markpåverkan) finns för samtliga år.

5.2.2 Korrelationsanalys mellan NDVI och spannmålsproduktion

Korrelationsanalys mellan NDVI och spannmålsproduktion gjordes på samma sätt som mellan NDVI och nederbörd i kapitel 4.1. Resultaten från de temporala analyserna, med årsmedelvärden och medelvärden för definierade regnperioder, visas i tabell 5.4 nedan.

Tabell 5.4. Signifikansnivåer för temporal korrelationsanalys mellan NDVI och spannmålsproduktion, för varje land. Medelvärden för NDVI är uträknat per år och per definierad regnperiod, med och utan markpåverkan (dvs. NDVI gränsen 0,05). Spannmålsdata förekommer som årsmedelvärden, enbart definierade landsvis. Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| Land | Årsmedelv. med markpåverkan | Årsmedelv. utan markpåverkan | Medelv. för regnperiod med markpåverkan | Medelv. för regnperiod utan markpåverkan. |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| Burkina Faso | - | - | - | - |
| Gambia | - | - | - | - |
| Guinea Bissau | - | - | - | - |
| Mali | - | - | - | - |
| Mauritanien | - | - | - | * signifikans |
| Niger | - | * signifikans | - | ** signifikans |
| Senegal | * signifikans | *** signifikans | ** signifikans | *** signifikans |
| Tchad | - | - | - | * signifikans |

Sambanden hos årsmedelvärden mellan NDVI och spannmålsproduktion hos länderna är relativt svaga. Sambanden mellan variablerna är dock bäst i korrelationsanalysen där hänsyn tagits till både markpåverkan och regnperiod. Här ser vi liknande mönster som vid korrelation mellan NDVI och nederbörd. Det är ungefär i samma länder som signifikanta samband förekommer, dvs Mauritanien, Niger, Senegal och Tchad. Värt att nämna är också att Senegal har signifikanta samband mellan NDVI och spannmålsproduktion i alla fyra korrelationsanalyserna.

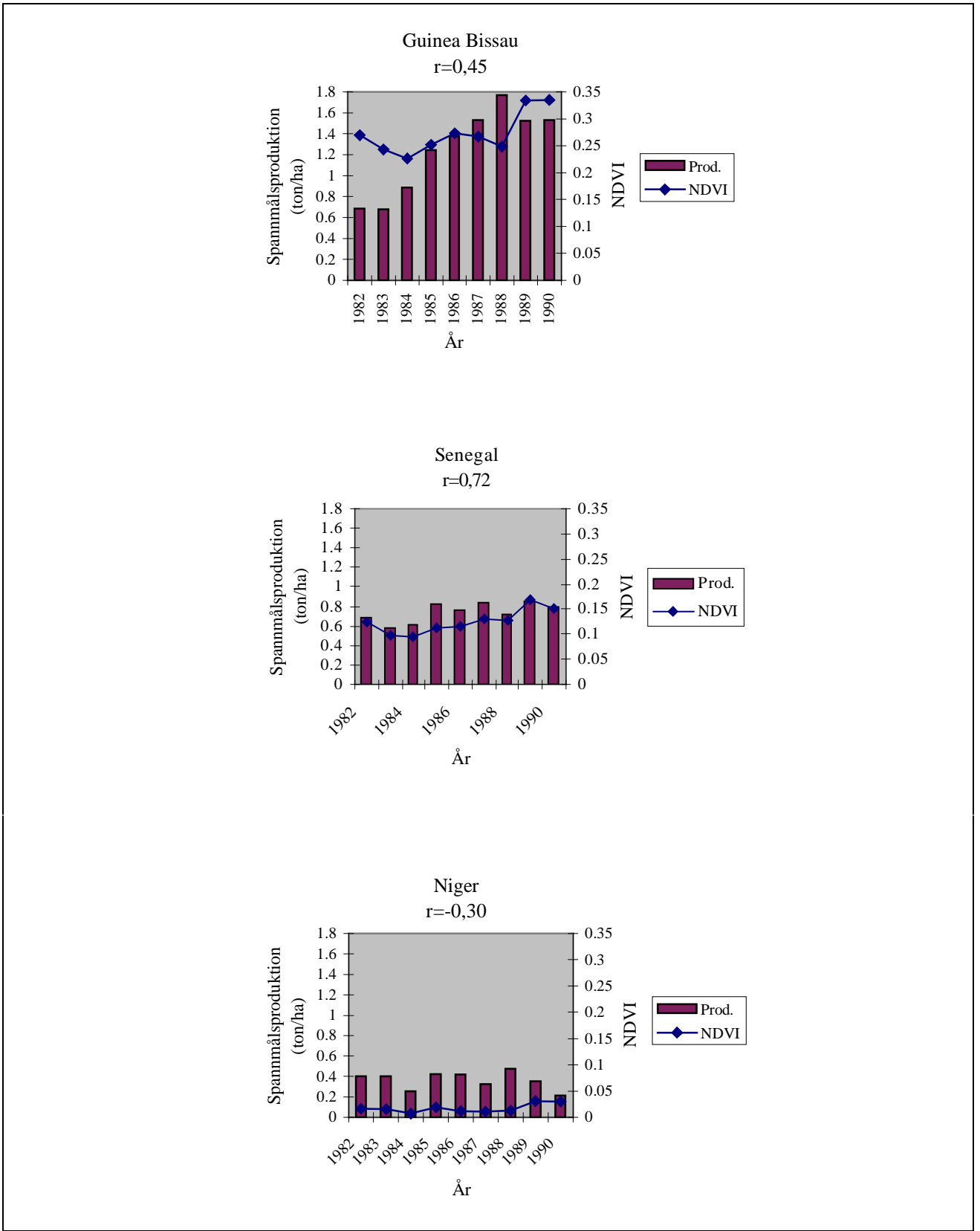
Även här testades sambanden, för NDVI och spannmålsproduktion, uppdelat i definierade klimatzoner, se tabell 5.5.

Tabell 5.5 Signifikansnivåer för temporal korrelationsanalys mellan NDVI och spannmålsproduktion för specificerade klimatzoner, för varje land (se kapitel 4.1). Medelvärden för NDVI är uträknat per år och per definierad regnperiod, med och utan markpåverkan (dvs. NDVI gränsen 0,05). Spannmålsdata förekommer som årsmedelvärden, enbart definierade landsvis. Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| Land | Årsmedelv. med markpåverkan | Årsmedelv. utan markpåverkan | Medelv. för regnperiod med markpåverkan | Medelv. för regnperiod utan markpåverkan. |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| Burkina Faso 1 | - | - | - | - |
| Burkina Faso 2 | - | - | - | - |
| Guinea Bissau 1 | - | - | - | - |
| Guinea Bissau 2 | - | - | - | - |
| Mali 1 | - | - | - | - |
| Mali 2 | - | - | - | - |
| Mali 3 | - | - | - | - |
| Mauritanien 1 | - | - | - | - |
| Mauritanien 2 | - | - | - | * signifikans |
| Niger 1 | - | * signifikans | - | ** signifikans |
| Niger 2 | - | *** signifikans | - | - |
| Senegal 1 | * signifikans | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans |
| Senegal 2 | * signifikans | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans |
| Tchad 1 | - | *** signifikans | - | - |
| Tchad 2 | - | * signifikant | - | * signifikans |
| Tchad 3 | - | - | - | - |

Sambanden mellan NDVI och spannmålsproduktion för definierade klimatzoner liknar resultaten för korrelation med landsmedelvärden (tabell 5.4), samt resultaten mellan NDVI och nederbörd i kapitel 5.2.1. Det är återigen hos länderna Mauritania, Niger, Senegal och Tchad som de signifikanta sambanden återfinns. Senegals båda klimatzoner, ger också här signifikanta samband i alla analyser. Den höga signifikansnivån för Niger 2 och Tchad 1 i analysen med årsmedelvärden utan markpåverkan är orälistiska och beror förmodligen på för få NDVI-värden.

Sambanden mellan NDVI och spannmålsproduktion för Guinea Bissau, Senegal och Niger illustreras i figur 5.5, sidan 29. Värdena är årsmedelvärden per land med markpåverkan. Signifikant samband förekommer enbart hos Senegal i denna analys. Niger har signifikant samband i flera av de övriga analyserna.



Figur 5.5 Illustration av sambanden mellan NDVI och spannmålsproduktion (ton/ha) för Guinea Bissau, Senegal och Niger. Värdena är årsmedelvärden per land med markpåverkan. Signifikant samband förekommer hos Senegal (r=0,72).

Vid spatiala korrelationsanalyser mellan NDVI och spannmålsproduktion, under åren 1982 till 1990, skiljer sig också här resultaten från de temporala analyserna, se tabell 5.6 nedan.

Tabell 5.6. Signifikansnivåer för spatial korrelationsanalys mellan NDVI och spannmålsproduktion, för varje år. Medelvärden för NDVI är uträknat per år och per definierad regnperiod, med och utan markpåverkan (dvs. NDVI gränsen 0,05). Spannmålsdata förekommer som årsmedelvärden, enbart definierade landsvis. Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| År | Årsmedelv. med markpåverkan | Årsmedelv. utan markpåverkan | Medelv. för regnperiod med markpåverkan | Medelv. för regnperiod utan markpåverkan. |
|------|-----------------------------|------------------------------|---|---|
| 1982 | - | - | - | - |
| 1983 | - | - | - | - |
| 1984 | * signifikans | * signifikans | * signifikans | * signifikans |
| 1985 | * signifikans | * signifikans | * signifikans | ** signifikans |
| 1986 | * signifikans | ** signifikans | * signifikans | ** signifikans |
| 1987 | * signifikans | * signifikans | * signifikans | ** signifikans |
| 1988 | * signifikans | * signifikans | * signifikans | * signifikans |
| 1989 | * signifikans | * signifikans | * signifikans | * signifikans |
| 1990 | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans | ** signifikans |

I samtliga fyra korrelationsanalyser finns det spatiala signifikanta samband mellan NDVI och spannmålsproduktion för åren 1984 till 1990.

5.2.3 Korrelationsanalys mellan nederbörd och spannmålsproduktion

I korrelationsanalyser mellan nederbörd och spannmålsproduktion har hänsyn inte tagits till markpåverkan, eftersom kriterierna sattes utifrån NDVI-värden. Resultaten av de temporala korrelationsanalyserna, med årsmedelvärden och medelvärden för definierade regnperioder, visas i tabell 5.7 nedan.

Tabell 5.7 Signifikansnivåer för temporal korrelationsanalys mellan nederbörd och spannmålsproduktion, för varje land. Medelvärden för nederbörd är uträknat per år och per definierad regnperiod. Spannmålsdata förekommer som årsmedelvärden, enbart definierade landsvis. Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| Land | Årsmedelv. | Medelv. för regnperiod |
|---------------|----------------|------------------------|
| Burkina Faso | ** signifikans | *** signifikans |
| Gambia | - | - |
| Guinea Bissau | * signifikans | * signifikans |
| Mali | - | * signifikans |
| Mauritanien | ** signifikans | ** signifikans |
| Niger | - | - |
| Senegal | * signifikans | - |
| Tchad | * signifikans | ** signifikans |

I tabell 5.7 ovan ser man att de signifikanta sambanden mellan nederbörd och spannmålsproduktion är betydligt fler än i analyserna mellan nederbörd och NDVI eller spannmålsproduktion och NDVI. Gambia och Niger har inga signifikanta samband i någon av analyserna. De dåliga korrelationskoefficienterna hos Gambia beror förmodligen på den bristfälliga nederbördsdatan (1 nederbördsstation).

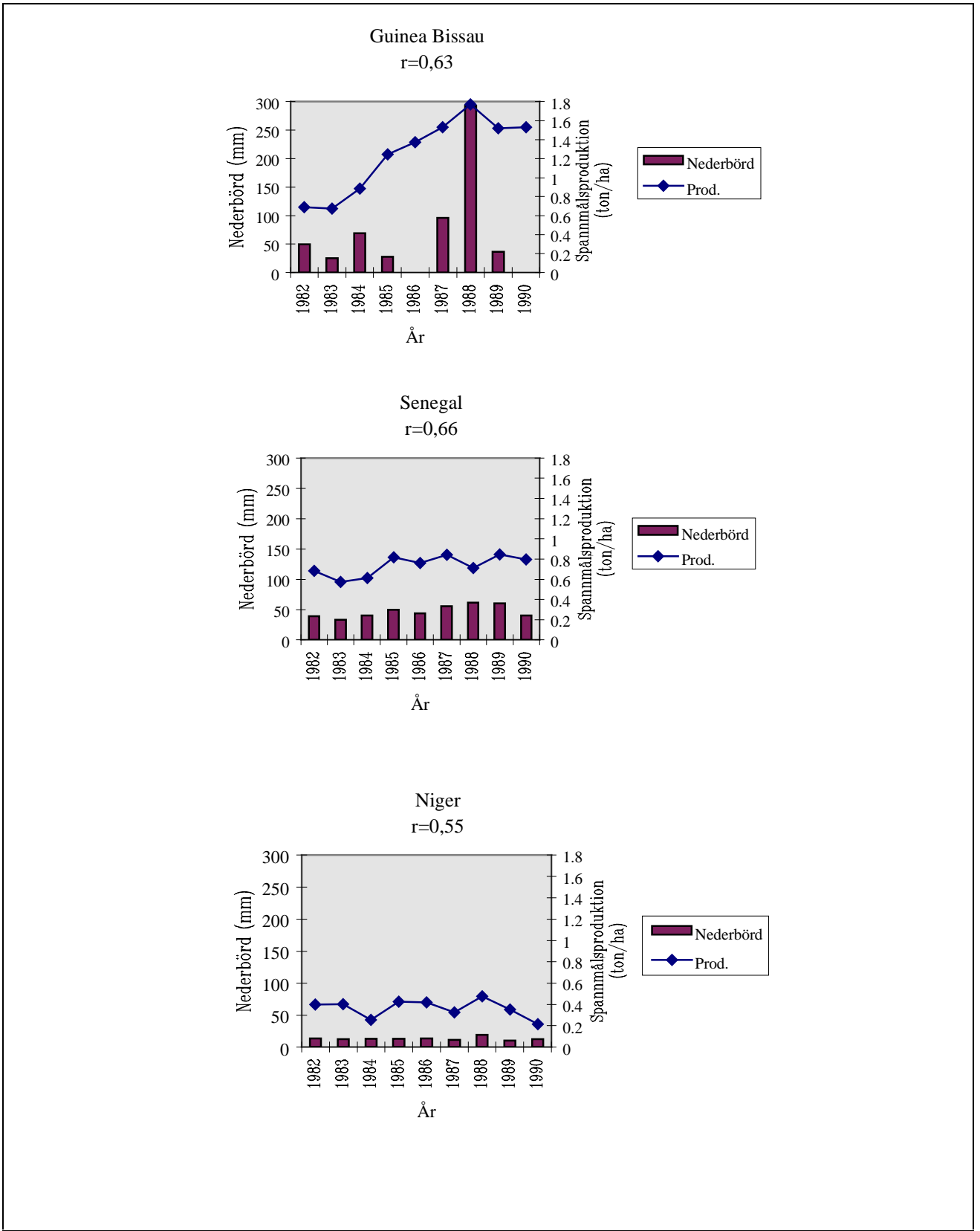
Klimatzonerna för länderna indelades här efter de nederbördstationer som var placerade i de definierade klimatzonerna (utifrån NDVI-datan), se tabell 5.8 nedan.

Tabell 5.8 Signifikansnivåer för temporal korrelationsanalys mellan nederbörd och spannmålsproduktion för specificerade klimatzoner, för varje land. Medelvärden för nederbörd är uträknat per år och per definierad regnperiod. Spannmålsdata förekommer som årsmedelvärden, enbart definierade landsvis. Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| Land | Årsmedelv. | Medelv. för regnperiod |
|-----------------|---------------|------------------------|
| Burkina Faso 1 | - | - |
| Burkina Faso 2 | - | * signifikans |
| Guinea Bissau 1 | - | - |
| Guinea Bissau 2 | * signifikans | ** signifikans |
| Mali 1 | - | - |
| Mali 2 | - | - |
| Mali 3 | - | * signifikans |
| Mauritanien 1 | * signifikans | * signifikans |
| Mauritanien 2 | - | - |
| Niger 1 | * signifikans | * signifikans |
| Niger 2 | - | - |
| Senegal 1 | * signifikans | - |
| Senegal 2 | * signifikans | * signifikans |
| Tchad 1 | | |
| Tchad 2 | - | * signifikans |
| Tchad 3 | * signifikans | *** signifikans |

Signifikanta samband finns, i någon av analyserna, hos alla länder förutom Gambia. Flest signifikanta samband finns i analysen med medelvärden för definierade regnperioder. Korrelationen är oftast bäst i klimatzoner där nederbördsvärdena är högre än genomsnittet, vilket indikerar att nederbörden är *en* kritisk faktor för spannmålsproduktion. Niger har här signifikant samband mellan nederbörd och spannmålsproduktion i klimatzon Niger 1, till skillnad från resultaten i tabell 5.7 ovan. Detta är ett exempel på hur indelning av klimatzoner och medelvärdesberäkningar påverkar resultaten. Klimatzonen Tchad 1 saknar helt nederbördsstationer.

Sambanden mellan nederbörd och spannmålsproduktion för Guinea Bissau, Senegal och Niger illustreras i figur 5.6 på sidan 32. Värdena är årsmedelvärden per land. Signifikanta samband förekommer hos Guinea Bissau och Senegal i denna analys. Signifikant samband förekommer hos Niger för klimatzon 1.



Figur 5.6 Illustration av sambanden mellan nederbörd (mm) och spannmålsproduktion (ton/ha) för Guinea Bissau, Senegal och Niger. Värdena är årsmedelvärden per land. Guinea Bissau saknar nederbördsdata för åren 1986 och 1990. Signifikanta samband förekommer hos Guinea Bissau ($r=0,63$) och Senegal ($r=0,66$).

De spatiala korrelationsanalyserna mellan nederbörd och spannmålsproduktion, för åren 1982 till 1990, visas i tabell 5.9 nedan.

Tabell 5.9 Signifikansnivåer för spatial korrelationsanalys mellan nederbörd och spannmålsproduktion, för varje år. Medelvärden för nederbörd är uträknat per år och per definierad regnperiod. Spannmålsdata förekommer som årsmedelvärden, enbart definierade landsvis. Ej signifikanta samband markeras med ett streck.

| År | Årsmedelv. | Medelv. för regnperiod |
|------|----------------|------------------------|
| 1982 | * signifikans | - |
| 1983 | - | - |
| 1984 | ** signifikans | * signifikans |
| 1985 | - | ** signifikans |
| 1986 | - | - |
| 1987 | - | * signifikans |
| 1988 | ** signifikans | ** signifikans |
| 1989 | - | * signifikans |
| 1990 | * signifikans | ** signifikans |

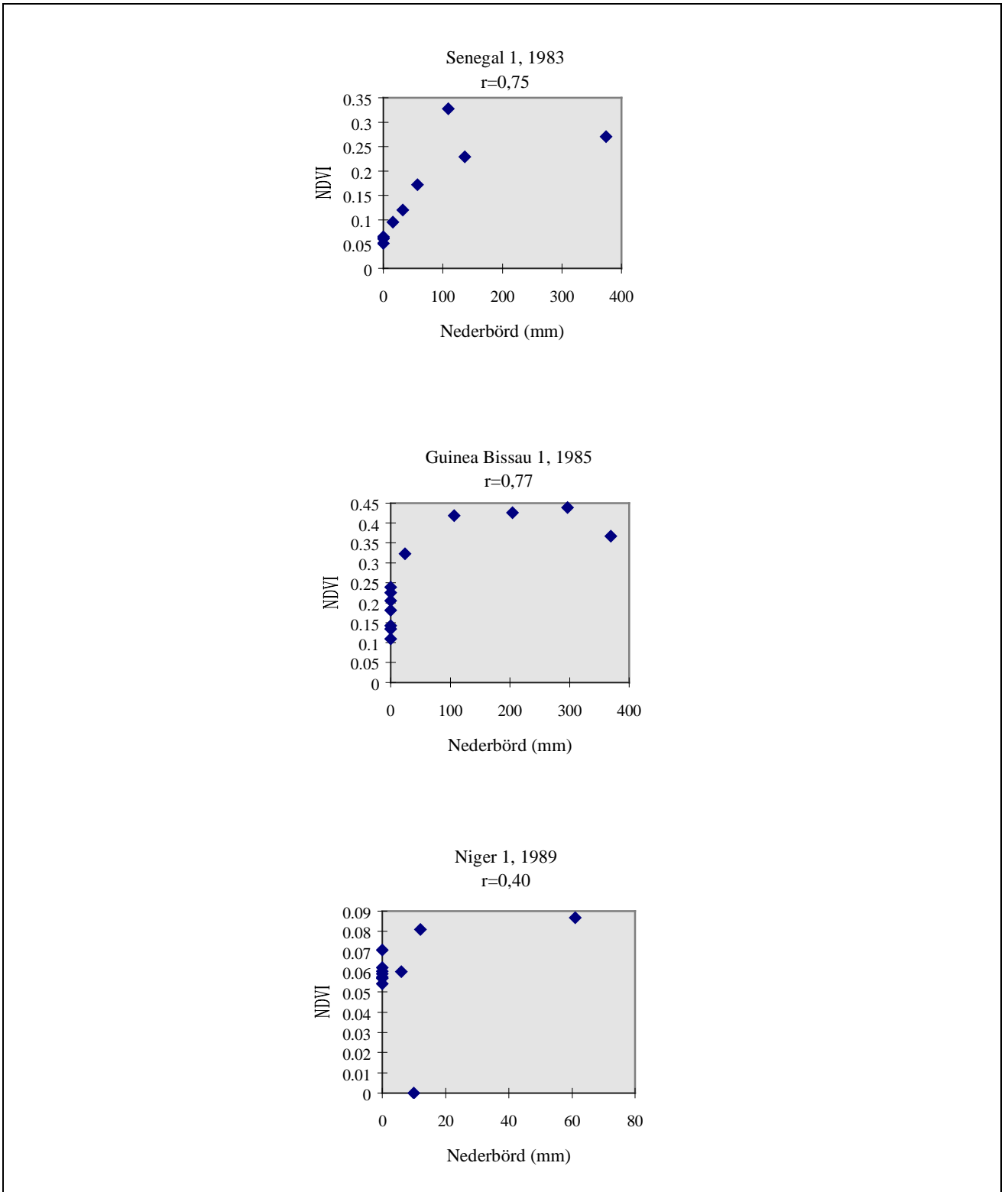
Här erhålls fler signifikanta spatiala sambanden mellan nederbörd och spannmålsproduktion om en regnperiod definieras. Åren 1984, 1988 och 1990 har signifikanta samband i båda analyserna.

5.2.4 Temporal korrelationsanalys mellan NDVI och nederbörd

Korrelationsanalyser mellan NDVI och nederbörd gjordes också med *månadsmedelvärden* från *samma regionala områden*, dvs nederbörds värden från nederbördsstation placerad i aktuell klimatzon korrelerades med varandra. Korrelationsanalyserna utfördes både med och utan 1-månads lag-effekt. Alla analyser gjordes med hänsyn till markpåverkan, vilket betyder att NDVI-värden under 0,05 exkluderades.

Detta resulterade i att korrelationerna blev betydligt fler och högre än i tidigare analyser med års- och regnperiodsmedelvärden. Här förekommer signifikanta samband hos de korrelationsanalyserna där NDVI- och nederbördsdata är tillfredsställande. De flesta länder uppvisar bättre samband där hänsyn tagits till 1-månads lag-effekt. Undantaget är Niger som erhöll högre korrelationsvärden utan lag-effekten. Där NDVI-värden över 0,05 eller nederbördsdata saknades kunde inte korrelationsanalys utföras. Mauritien har alldeles för få NDVI-värden över 0,05 och även om värden under 0,05 medräknades erhöles ingen korrelation. Guinea Bissau`s tre nederbördsstationer saknade mycket månadsdata, men korrelationen blev relativt hög där nederbördsdata fanns. Detsamma gäller för Gambia där korrelationsresultaten påverkas mycket av kvaliteten på nederbördsdata (1 station).

Figur 5.7 på sidan 34 illustrerar månadskorrelation med lag-effekt mellan NDVI och nederbörd i länderna Senegal, Guinea Bissau och Niger för åren 1983, 1985 och 1989. Senegal 1 och Guinea Bissau 1 representerar klimatzonen Aw, dvs tropisk savann. Niger 1 representerar klimatzon Bsh, som betyder varm och torr stäpp. I klimatzoner där många månader har värden under NDVI 0,05 (Bwh, dvs varm och torr öken) har korrelationsanalys inte kunnat utföras, vilket betyder att Bwh zonen inte kan illustreras. För Senegal och Niger, i figur 5.7, saknas 2 respektive 6 korrelationsvärden. Antingen beror det på att NDVI inte överstiger 0,05 eller på att det saknas nederbördsdata.



Figur 5.7 Plottar av månatliga värden av NDVI och nederbörd i länderna Senegal, Guinea Bissau och Niger för åren 1983, 1985 och 1989. För Senegal och Niger saknas 2 respektive 6 korrelationsvärden. Signifikanat samband förekommer hos Senegal ($r=0,75$) och Guinea Bissau ($r=0,77$).

I början och i slutet av året faller liten eller ingen nederbörd alls i de aktuella Sahelländerna. Detta betyder att många månader med ingen nederbörd kan ge hög korrelation, som i fallet Guinea Bissau 1 (figur 5.7). NDVI-värden under 0,05 och nollvärden för nederbörden påverkar inte årsmedelvärden på samma sätt som månadsmedelvärden, eftersom årsmedelvärden utjämnar extremvärden. Åren i figur 5.7 är valda utifrån olika nederbördsförhållanden, med avseende på torka, respektive normalår. Enligt fig. 5.1 ser man att året 1983 hade relativt sett lägre nederbörd. Här ser vi dock att Senegal under 1983 har ungefär lika hög nederbörd som Guinea Bissau under 1985. Detta beror på att nederbördskillnaderna är betydligt större mellan länderna och de olika klimatzonerna än mellan åren.

6 DISKUSSION

Huvudsyftet med detta arbete har varit att undersöka om global satellitdata (NOAA-AVHRR) kan användas för att studera kopplingen mellan spannmålsproduktion och naturförhållanden i Sahelregionen. Som alltid när man arbetar med naturvetenskaplig data måste man ha klart för sig att de variabler som undersöks ofta indirekt beror av ett flertal andra faktorer. I den här studien har ett antal naturvetenskapliga och samhällsvetenskapliga faktorer belysts. Faktorerna samverkar och skiljer sig mellan länderna, vilket betyder att det inte finns några enkla samband och därmed inte några enkla lösningar för CILLS-ländernas framtida matproduktion.

6.1 Nederbörd, NDVI och spannmålsproduktion mellan 1982 och 1990

De valda Sahelländernas NDVI-kurvor kan relativt väl urskiljas i figur 5.2. Nederbörds kurvorna (figur 5.1) är betydligt mer fluktuerande, bl a beroende på att årsmedelvärden påverkas av extremtillfällen och lokalisering av nederbördsstationerna. Kurvorna för nederbörd och NDVI följer annars varandra relativt väl, med avseende på att de länder med hög nederbörd också har höga NDVI-värden. Det kan tolkas som att den aktuella nederbörden har betydelse för biomassaproduktionen och påverkar därmed NDVI-värdena.

Spannmålsproduktionen (figur 5.3) fluktuerar också med tiden men följer inte samma mönster som nederbörd och NDVI. Gambia och Guinea Bissau producerar mest spannmål, vilket stämmer relativt bra överens med respektive lands NDVI och nederbörds värden. Övriga länder uppvisar annan ordningsföljd, dvs att länder med relativt höga nederbörd och NDVI-värden inte producerar motsvarande spannmåls mängd. Detta kan tolkas som att fler faktorer, än enbart nederbörd och NDVI, är avgörande för matproduktionen, men kan också bero på missvisande data.

6.2 Resultaten av korrelationsanalyserna

Resultaten av korrelationsanalyserna ger inga distinkta samband eller trender, men ett flertal mönster, beroende på testade variabler och analyser, kan urskiljas. Man får dock tolka samtliga resultat med försiktighet eftersom de signifikanta sambanden som lägst har en förklaringsgrad på 40 %.

6.2.1 Temporal korrelation med NDVI-variabeln

De länder där signifikanta samband mellan NDVI och nederbörd respektive NDVI och spannmålsproduktion förekommer är ungefär desamma, dvs Mauritien, Niger Senegal och Tchad. Signifikanta samband fås främst i specificerade klimatzoner och i analyser där NDVI och nederbörds värden är relativt höga. Länderna Burkina Faso, Gambia, Guinea Bissau och Mali får generellt sämre korrelationsresultat i motsvarande analyser. I analyserna med variabeln nederbörd kan den dåliga korrelationen hos Gambia och Guinea Bissau förklaras med ländernas bristfälliga nederbördsdata, där data saknas och stationerna är fåtaliga. Den dåliga korrelationen kan också påverkas av nederbördsstationernas placering i landet. Gambia är ett litet land i jämförelse med de andra, vilket kan betyda att Gambias fåtal NDVI-värden är starkt påverkade av värden i grannlandet Senegal. Resultaten för samtliga länder påverkas också av valet av träningsytor för NDVI och klimatzonsindelningen. Den dåliga korrelationen mellan NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion beror också på att det inte finns några enkla samband mellan variablerna. Stor del av nederbörden (50-75 %) går ofta förlorad som avdunstning och ytavrinning och blir då inte tillgänglig för plantan. Därmed är mängden vatten som når rotsystemet en mer kritisk faktor för biomassaproduktion, än den faktiska nederbörden (Breman & Uithol 1984). Stora delar av

primärproduktionen samt närings- och vattenreserver i arida områden förekommer under markytan, och är därmed svår att mäta och se i satellitbilder (Rapp et al.1976). Härav kan man dra slutsatsen att enbart nederbördsdata och global satellitbilsdata inte är tillräklig för att göra en grundlig analys av vegetationens förutsättningar, med avseende på jordens näringsstatus och förmåga att hålla vatten.

Där NDVI och nederbörd korrelerades med månadsvärden från samma regional klimatområde erhålls bättre korrelationsresultat. Detta beror delvis på att antalet felkällor minskats.

6.2.1.1 Låga NDVI och nederbördsvärden

Låga NDVI och nederbördsvärden tycks vara en osäkerhetsfaktor och ger sämre korrelationsresultat, även om signifikanta samband förekommer även här. Spannmålsodling har förmodligen ingen jämn utbredning över landet och odlas främst i regioner med något högre NDVI och nederbördsvärden, vilket kan förklara en del av de sämre korrelationsresultaten. I klimatzoner med hög ariditet (låga NDVI-värden) fås generellt sämre korrelationsresultat också med nederbördsdata. Korrelation mellan NDVI och nederbörd borde vara relativt sett högre i semiarida områden, eftersom nederbörden där är en begränsande faktor för biomassan (Hellden, Eklundh 1988). NDVI-värden i dessa områden är dock starkt påverkade av markytan. NDVI ligger här runt 0,1, som är gränsen för NDVI's känslighet. Därmed erhålls inte representativa värden för befintlig biomassa.

6.2.2 Temporal korrelation mellan nederbörd och spannmålsproduktion

För de temporala analyserna gav variablerna nederbörd och spannmålsproduktion bäst korrelationsresultat. Här finns signifikanta samband hos alla länder, i någon av analyserna. Korrelationerna är flest i klimatzoner med relativt sett högre nederbörd, vilket antas bero på att spannmål odlas i just dessa regioner. Det betyder att nederbörd här är *en* avgörande faktor för spannmålsproduktion. Att korrelationen är bäst i zoner med högre nederbörd är en genomgående trend i alla korrelationsanalyserna, men förekommer mest utpräglat i korrelationen mellan nederbörd och spannmål. Spannmålsproduktion tycks följa nederbördsfluktuationerna i högre grad än NDVI. På regional nivå i semiarida Sudan visar tidigare studier en hög korrelation mellan nederbörd och grödorna hirs respektive durra, (de Leeuw & Lamprey 1988). Variationen hos skördarna kunde också till stor del förklaras av nederbördparametrar.

6.2.3 Temporal och spatial korrelationsanalys

Den största skillnaden finns dock mellan de temporala och spatiala korrelationsanalyserna. De spatiala korrelationsanalyserna har betydligt fler signifikanta samband. De spatiala analyserna mellan NDVI och nederbörd ger signifikanta samband för samtliga år (1982-1990). Resultaten för de spatiala analyserna beror på att de inte påverkas i lika hög grad av de årliga fluktuationerna hos variablerna. De temporala sambanden präglas däremot av de årliga fluktuationerna inom ett land, vilket ger sämre korrelationsresultat. För NDVI-variabeln är detta extra tydligt, eftersom dessa värden inte följer nederbördens, och i viss mån spannmålsproduktionens, förändringar.

6.3 Bristfällig data

Eftersom det förekommer fysiska skillnaderna mellan länderna betyder att det är svårt att göra generaliseringar och rättvisa medelvärdesberäkningar för de tre variablerna. I tidigare studier (Groten 1993, Ahlcrona 1986) har man funnit signifikanta samband mellan variablerna NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion. Där har dock tids- och rumsupplösningen varit betydligt bättre för nederbörd och spannmålsproduktion.

6.3.1 NDVI-data

NOAA AVHRR Land Pathfinder NDVI ger en bra tidsupplösning, men rumsupplösningen 8x8 km är inte tillräcklig för analys av spannmålsproduktion. Sådana analyser kräver ofta NDVI-data för regionala områden eller fält. Enskilda pixelvärden är också mycket påverkade av omgivning och bakgrund. NOAA LAC data, och Landsat MSS och TM data har bättre spatial upplösning och hade därmed varit av intresse för vidare studier. Problemet är då att man måste begränsa området, samt att tidsupplösningen försämras vid användning av Landsat scener. För noggrannare analyser krävs också att man tar hänsyn till bl a atmosfärens påverkan på NDVI-värdena, sensorkalibrering (Hutchinson 1991) samt den temporala autokorrelationen (Eklundh 1996). Det förekommer stora skillnader mellan olika vegetationstyper, speciellt mellan inhemsk vegetation och grödor. Den naturliga vegetationen har ett betydligt mer utarbetat skyddssystem, medan grödorna är mer känsliga för klimatvariationer och nederbörds fluktuationer. NDVI kan här ses som ett medelvärde för all biomassa. Härav *en* förklaring till varför korrelationer med NDVI och spannmålsproduktion gav sämre resultat än korrelation mellan nederbörd och spannmålsproduktion i den här studien.

6.3.2 Nederbördsdata

Nederbördsdatan för de åtta Sahelländerna var bristfällig både med avseende på antal stationer och lokalisering. Gambia, Guinea Bissau och Niger har endast 1,3 respektive 5 nederbördsstationer. För vissa länder fattas dessutom data för vissa månader och år, vilket också sänker trovärdigheten hos förekommande data. Flertalet nederbördsstationer återfinns i de regnräkaste områdena, vilket medför att vissa länder därmed felaktigt erhåller högre årsmedelvärden. Detta gäller framför allt Tchad, där de flesta nederbördsstationer återfinns i de sydligaste delarna. Nederbörden i Sahel kommer ofta i korta kraftiga skurar och kan variera mycket inom ett land eller tom inom ett begränsat lokalt område, vilket betyder att det skulle behövas betydligt fler nederbördsstationer.

6.3.3 Spannmålsdata

Spannmålsproduktion i områden med traditionella jordbruksmetoder kan variera mycket mellan regioner och, till och med, mellan fält. Detta beror inte enbart på naturliga variationer som nederbörd och jordart, utan också på den enskilda byn eller bondens brukningsmetoder. Därför hade det varit intressant med information om de olika grödornas utbredning i tid och rum. Information om sådd och skördetider hade också varit av intresse för noggrannare korrelation med NDVI och nederbörd. Man måste också ta hänsyn till att informationen är insamlad av ett flertal personer och myndigheter.

7 SAMMANFATTNING OCH SLUTSATS

Trots att många Sahelländer drabbats av torkrelaterade begränsningar för inhemsk livsmedelsproduktion, finns inga enkla samband mellan meteorologisk torka och minskning av livsmedelsproduktion. Däremot bör torka ses som en av huvudfaktorerna för begränsat jordbruk i många av länderna. Klimat, jordar, sötvattentillgång, markanvändningssystem i de olika regionerna ser olika ut. Tillgång på arbetskraft och utsäde, samt rådande landägande former är också faktorer som påverkar spannmålsproduktionen. Därtill kommer etniska, politiska och ekonomiska skillnader. Man frågar sig också hur stor del av Afrikas agrara problem som är ett resultat av naturliga faktorer och hur stor del som resulterar från mänskliga aktiviteter och politiska beslut. Situationen varierar naturligtvis både i tid och rum.

För att undersöka om NOAA AVHRR NDVI kan användas för att studera kopplingen mellan mattillgång och naturförhållanden har korrelation mellan variablerna NDVI, nederbörd och spannmålsproduktion beräknats på ett flertal olika sätt. Ett flertal mönster har kunnat urskiljas från resultaten:

- Signifikant korrelation med NDVI-variabeln förekommer ungefär i samma länder, dvs Mauritien, Niger, Senegal och Tchad. Dessa länder hade flest signifikanta samband mellan NDVI och nederbörd samt NDVI och spannmålsproduktion. Mali, Burkina Faso, Gambia och Guinea Bissau erhåller sämre resultat i samma analyser. Detta kan delvis förklaras med valet av träningsytor och klimatzoner. De sämre resultaten för Gambia och Guinea Bissau kan bero på den bristfälliga nederbördsdatan (1 respektive 3 nederbördsstationer).
- Arida klimatzoner, med låga NDVI-värden ger generellt sett färre signifikanta samband. NDVI-värdena är här ofta lägre än 0,1, vilket anses vara gränsen för NDVIs känslighet.
- Variablerna nederbörd och spannmålsproduktion gav bäst resultat i de temporala korrelationsanalyserna. Detta kan bero på att nederbördfluktuationer får direkt utslag hos spannmålsproduktionen, men inte hos NDVI.
- De allra största skillnaderna fanns mellan de temporala och spatials korrelationsanalyserna. De spatials analyserna erhåller betydligt bättre resultat i samtliga fall, beroende på att de inte i lika hög grad påverkas av faktorernas årliga fluktuationer.
- Vid temporal korrelationsanalys med månadsmedelvärden för NDVI och nederbörd, för specificerade klimatzoner, erhöles relativt starka samband, i de fall där NDVI var över 0,05 och där det inte fattades alltför mycket nederbördsdata. Detta beror på att färre generaliseringar och medelvärdesberäkningar gjorts, då månadsmedelvärden istället för årsmedelvärden har använts.

Eftersom resultaten i den här studien är högst differentierade är det svårt att dra slutsatser om vad olikheterna beror på. Den bristfälliga nederbörds- och spannmålsproduktionsdatan samt den grova satellitdatan förklarar en stor del av resultaten. För att kunna avgöra hur bra NOAA AVHRR Land Pathfinder (8x8 km) är för studier av kopplingen mellan mattillgång och naturförhållanden i Sahelområdet hade bättre tids och rumsupplösning krävts för nederbörds- och spannmålsdatan. Om man sedan vill göra en noggrannare studie av sambanden mellan de aktuella faktorerna krävs också bättre upplösning på satellitdatan, samt fältdata. Nu har alldeles för grova generaliseringar gjorts, med tanke på att Sahelområdet är relativt komplext.

