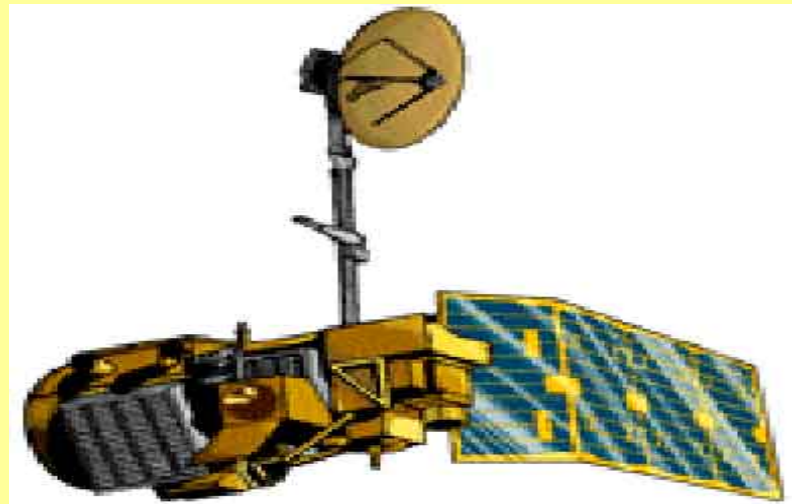


Die Nutzung von Fernerkundungsdaten in der Wasserhaushaltsmodellierung - ein Review

Martin Wegehenkel
AG Fernerkundung und GIS
Institut für Landschaftssystemanalyse
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
D-15374 Müncheberg
Eberswalder Strasse 84



Inhalt:

Mögliche Parameter aus der Fernerkundung (FE) für die Wasserhaushaltsmodellierung

Satelliten und Sensoren

Kurzes Review von Verfahren zur Ableitung von Parametern

Anwendungsbeispiel für den Versuch einer räumliche Validierung eines Wasserhaushaltsmodells über NDVI-ETr-Datenprodukte aus Landsat-TM5-Daten für das Stobbergebiet

Anwendungsbeispiel für die Einbindung von Landnutzungsdatenprodukten aus Landsat-TM5-Daten in die Wasserhaushaltsmodellierung für das Ucker-Einzugsgebiet



AG Fernerkundung und GIS

Parameter aus Fernerkundungs(FE)-Daten (aus Mauser et al. 1997, verändert)

Parameter	Ableitbar aus Fernerkundung
Relief - Höhenmodell	✓
Landnutzung / Vegetationstyp / Fruchtart	✓ ←
Bebauung / Versiegelungsgrad	✓
Vegetationsindices (z.B. NDVI, SAVI)	✓ ←
Blattflächenindex LAI	✓
Reale Evapotranspiration ETr	✓ ←
Wuchshöhe	✓
Biomasse	✓
Bedeckungsgrad	✓
Schneedecke Ausdehnung / Wassergehalt	✓
Bodenfeuchte	✓
Oberflächentemperatur	✓
Albedo	✓
Globalstrahlung	✓

Übersicht über verschiedene Systeme

Typ	Sensoren	Räumliche Auflösung	Wiederholungsrate	Parameter
IKONOS	Multispektral 5 Kanäle (VIS-NIR,PAN)	4m 1m (PAN)	1-3 Tage, Definition des Nutzers	Landbedeckung, Fruchtart, Vegetationsindices
Landsat- TM5 und ETM+	Multispektral 7 Kanäle (TM5), 8 Kanäle (ETM), VIS-NIR-SWIR-TIR	30m 120m (TM5-TIR) 60m (ETM-TIR)	16 Tage, 185 x 170 km	Landbedeckung, Fruchtart, Vegetationsindices, Atmosphär. Datenprodukte (z.B. Oberflächen- temperatur etc.)
ASTER	Multispektral, 14 Kanäle VIS-NIR-SWIR-TIR	B1-B3, 15m B4-B9, 30m B10-14,90m	16 Tage, 60 x 60 km	Landbedeckung, Fruchtart, Vegetationsindices, Atmosphär. Datenprodukte (z.B. Oberflächen- temperatur etc.)
MODIS	Multi(hyper)spektral 36 Kanäle (VIS-NIR-SWIR- TIR)	B1-2, 250m B3-7, 500m B8-36,1000m	1 Tag,	Vegetationsindices, Atmosphär. Datenprodukte (z.B. Oberflächen- temperatur etc.)
NOAA- AVHRR	Multispektral 5 Kanäle (VIS-TIR)	B1-B5, 100m	1 Tag	Vegetationsindices, Atmosphär. Datenprodukte (z.B. Oberflächen- temperatur etc.)
ERS1-2	SAR	30m	35 Tage	z.B. Bodenfeuchte
ENVISAT	10 versch. Instrumente	30m-1000 m	35 Tage	-



Inputparameter und mögliche Kanäle für die Ableitung der Evaporation / Evapotranspiration aus FE-Daten

Parameter	Wellenlängenbereiche
Globalstrahlung	SWIR (z.B. PINKER 1994)
Oberflächenalbedo	VIS und NIR (z.B. HUMES ET AL. 1994)
Oberflächentemperatur	TIR (z.B. KUSTAS ET AL. 1994)
Energiebilanzglieder fühlbarer Wärmestrom und Bodenwärmestrom	TIR, VIS und NIR (z.B. KUSTAS ET AL. 1994)
NDVI	Kanalkombination (RUNNING ET AL. 1989)
Bodenwassergehalt	SAR-Radar (z.B. WANG ET AL. 1996; WEIMANN 1997,

Verfahren zur Bestimmung der ETr aus optischen FE-Daten:

- Direkte Ableitung der Evapotranspiration aus radiometrisch bestimmten Oberflächentemperaturen
- Dynamische Parametrisierung von Modellinputdaten wie z.B. Globalstrahlung, Albedo, LAI, NDVI aus Fernerkundungsdaten zur Anwendung von SVAT- und Energiebilanzmodellen z.B. SEBAL (Bastiaansen et al. 1998)
- Kombinierte Anwendung verschiedenster Sensoren wie SAR-ERS1, LANDSAT-TM, NOAA-AVHRR mit SVAT-Modellen und hydrologischen Einzugsgebietsmodellen

Validierung dieser Methoden über versch. Kampagnen wie z.B. Lotrex10E-HIBE, FIFE oder HAPEX-Sahel-Vergleich Satelliten-ETR versus gemessene ETr von Ankerstationen (Profilmessungen, Eddy-Flux, Szintillometer)

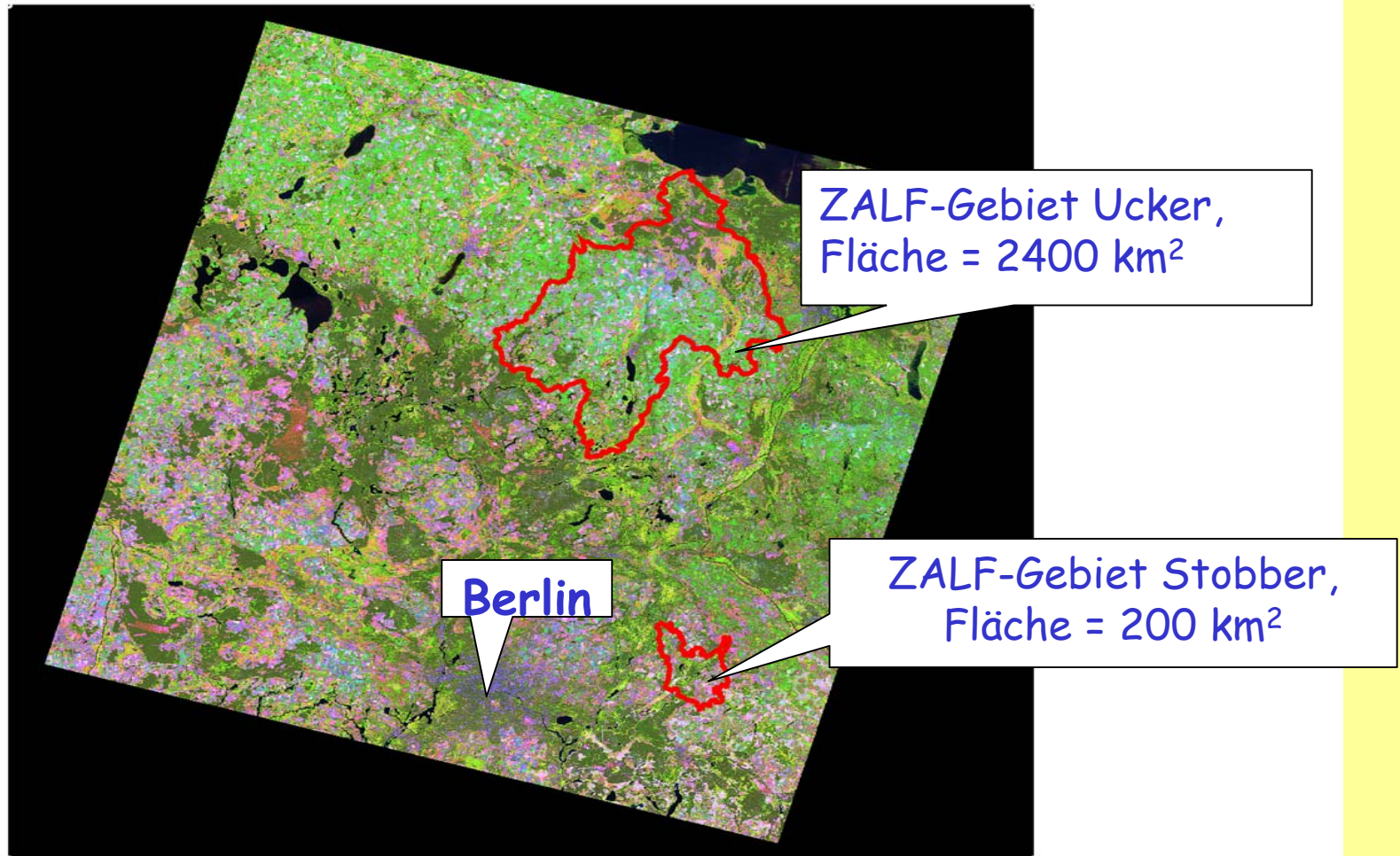
Probleme:

Durchgängige längere Zeitreihen der ETr nur mit FE-Daten hoher Zeitauflösung möglich (z.B. NOAA-AVHRR, MODIS).

Mit Landsat-TM z.B. nur „Snap Shots“ der ETr von einzelnen Tagen. Daher oftmals Kombination von z.B. Landsat-TM mit NOAA-AVHRR oder Nutzung für die Erhebung zeitinvarianter Eingangsdaten (z.B. Landnutzung) und zur raumbezogenen Validierung der ETr-Berechnungen von hydrologischen Modellen.



Fernerkundung und Wasserhaushaltmodellierung im ZALF: Vollszene Landsat-TM5,
(Track 193/23) Composit aus Kanal 5, 4, 3 vom 19. Juni 2000



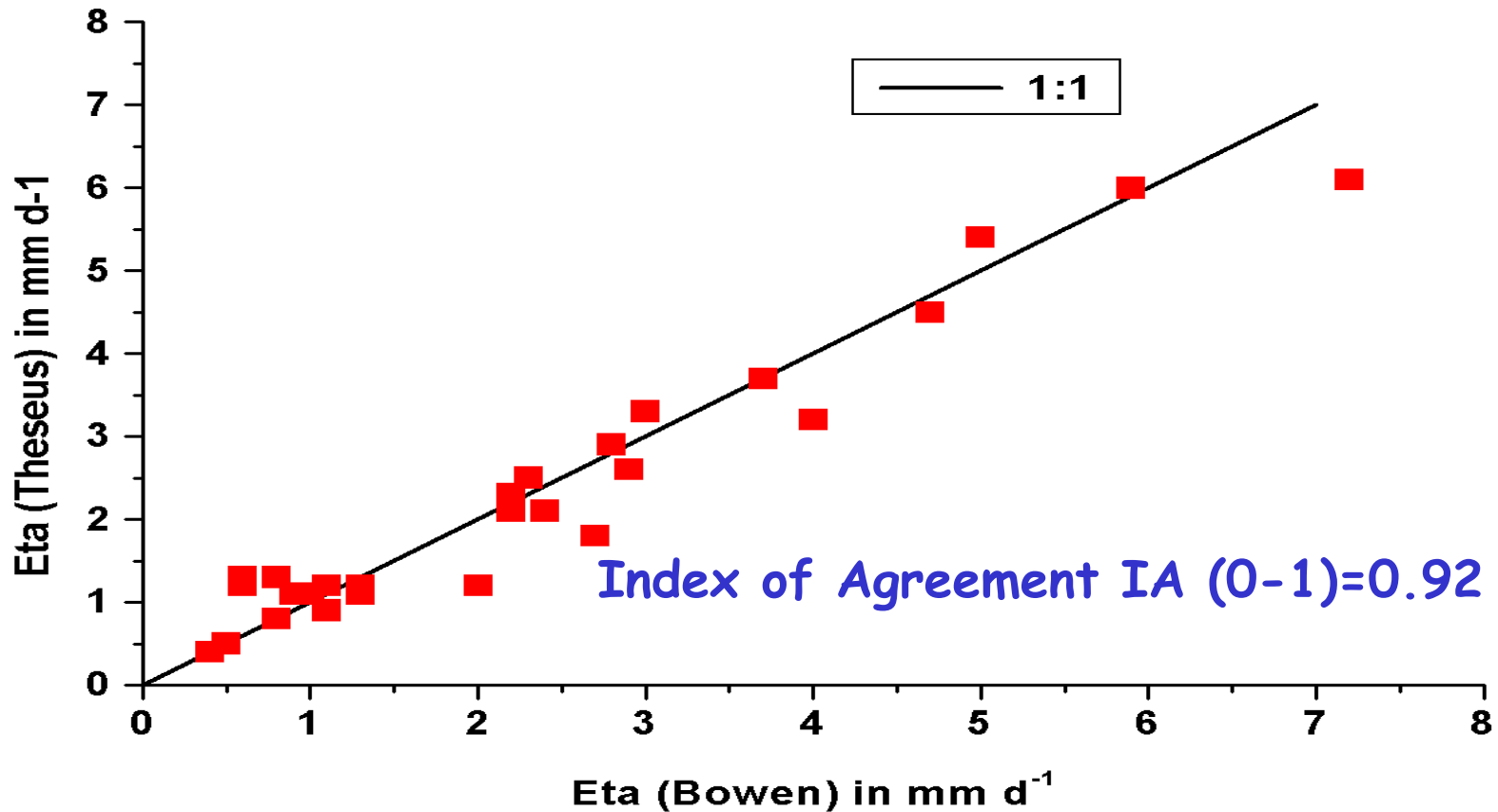
Hydrologisches GIS-gestütztes Modell THESEUS für die regionale Wasserhaushaltsmodellierung:

Bestandteile des hydrologischen EGMs THESEUS (WEGEHENKEL 2000)

Räumliche Diskretisierung	Hydrotope, Teileinzugsgeb., Einzugsgeb.
Zeitliche Diskretisierung	1 Tag
Charakterisierung	Konzeptionell
Evapotranspiration	PENMAN, HAUDE, TURC, WENDLING, PENMAN-MONTEITH
Vegetationsdecke	Semiemp. Pflanzenmodell
Interzeption	Einzellinearspeicher
Schneesmelze	Taggrad-Verfahren
Infiltration und Bodenwasserhaushalt	Mod. HOLTAN Ansatz und Plattenmodell
Gerinneabfluss	Lineare Speicherkaskade über Teileinzugsgeb. und Gewässerabschnitte
Ungesättigte Zone	Mehrschichtplattenmodell
Gesättigte Zone	Einzellinearspeicher



Standorttest des Modells THESEUS auf drei Experimentalfeldern (Plot No.1 - No.3) in Müncheberg, Tageswerte in mm d^{-1} , Eta(Theseus) = simuliert mit THESEUS, Eta (Bowen) = geschätzt mit der Bowen Ratio Methode

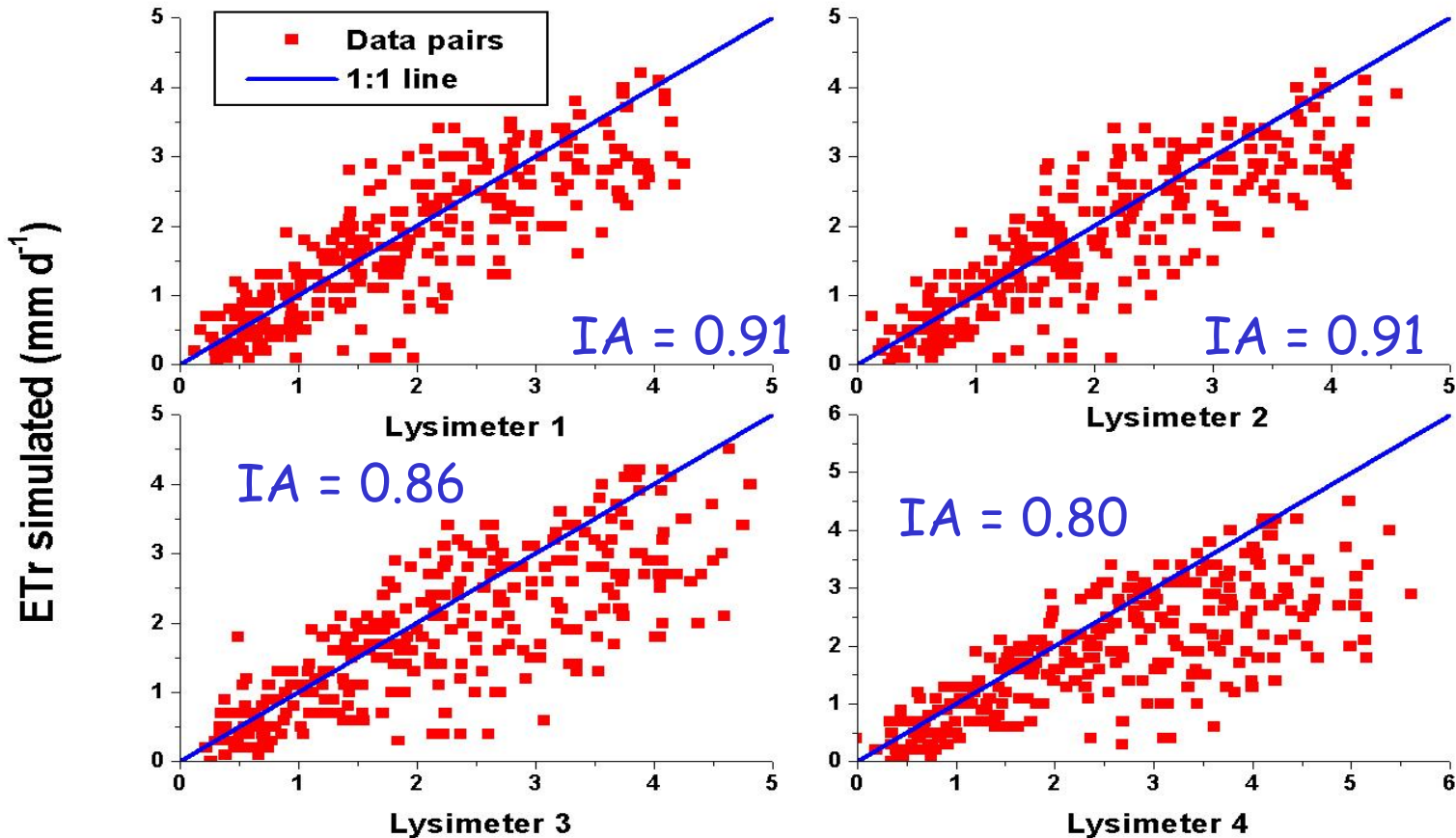


Aus Eulenstein et al. 1999 und Olejnik et al. 2001

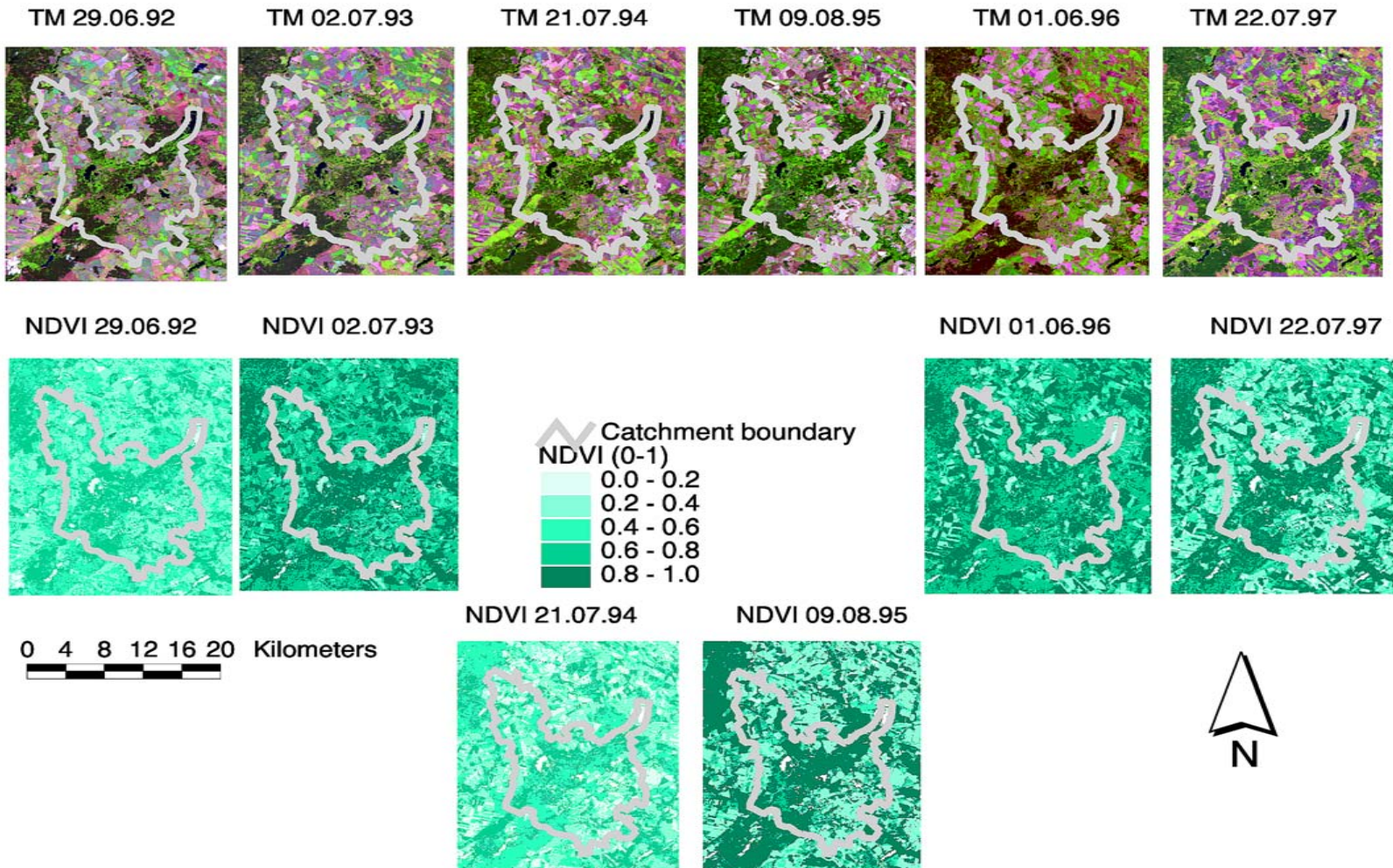
AG Fernerkundung und GIS



Standorttest des Modells THESEUS über den Vergleich von simulierten mit gemessenen Tageswerten der aktuellen Evapotranspiration (ET_r), Lysimeteranlage Berlin-Dahlem, 1996-1998, wägbare Lysimeter Nr.1-Nr.4 (Zenker, 2003)



Test des Modells auf regionaler Ebene: TM5 Ausschnitte des Stobbergebietes von 6 Sommerterminen 1992-97 und die entsprechenden Raummuster des NDVI



Test des Modells auf regionaler Ebene: Einfache Beziehungen zwischen den Vegetationsindices NDVI, SAVI und LAI, ETr

$$\text{NDVI} = \frac{B_{\text{nir}} - B_{\text{red}}}{B_{\text{nir}} + B_{\text{red}}} \quad \leftarrow \text{Rouse et al. (1973), Huete (1988)}$$

$$\text{SAVI} = \frac{(B_{\text{nir}} - B_{\text{red}}) \cdot 1.5}{(B_{\text{nir}} + B_{\text{red}}) \cdot 0.5} \quad \text{Baret und Guyot (1991)}$$

$$\text{LAI} = -\left(\frac{1}{a_2}\right) \cdot \ln\left(\frac{a_0 - \text{NDVI}}{a_1}\right) \quad \text{Asrar et al. (1984), Baret und Guyot (1991)}$$

$$\text{ETr} = a \cdot \text{NDVI} + b \quad \leftarrow \text{Wei und Sado (1994)}$$

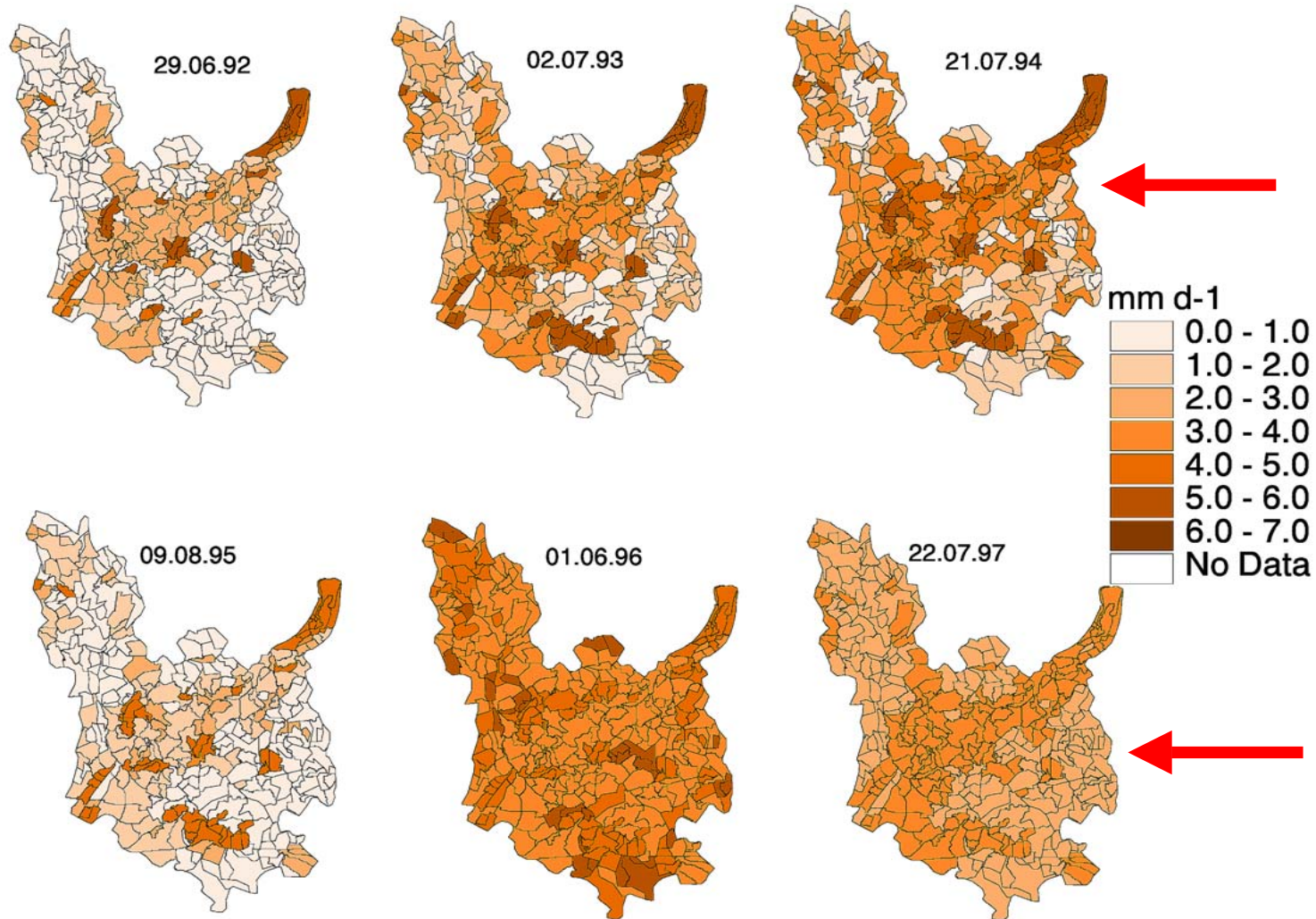
$$\text{ETr} = R_n - G - B \cdot (T_{\text{surface}} - T_{\text{air}})^n \quad \text{Carlson et al. (1995)}$$

$$G = R_n \cdot 0.4 \cdot \frac{(1.0 - \text{NDVI})}{1.0} \quad \leftarrow$$

$$B = (0.0109 + 0.051 \cdot \text{NDVI})$$

$$n = 1.067 - 0.372 \cdot \text{NDVI}$$

Test des Modells auf regionaler Ebene: Simulierte Verteilungen der ETr für die 6 Landsat-TM-Termine, Stobber Gebiet

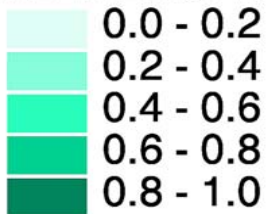


NDVI- und simulierte ETr-Raummuster, grids 500 x 500 m, 21.07.94

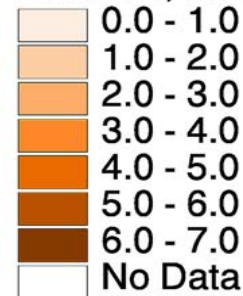


0 3 6 9 12 Kilometers

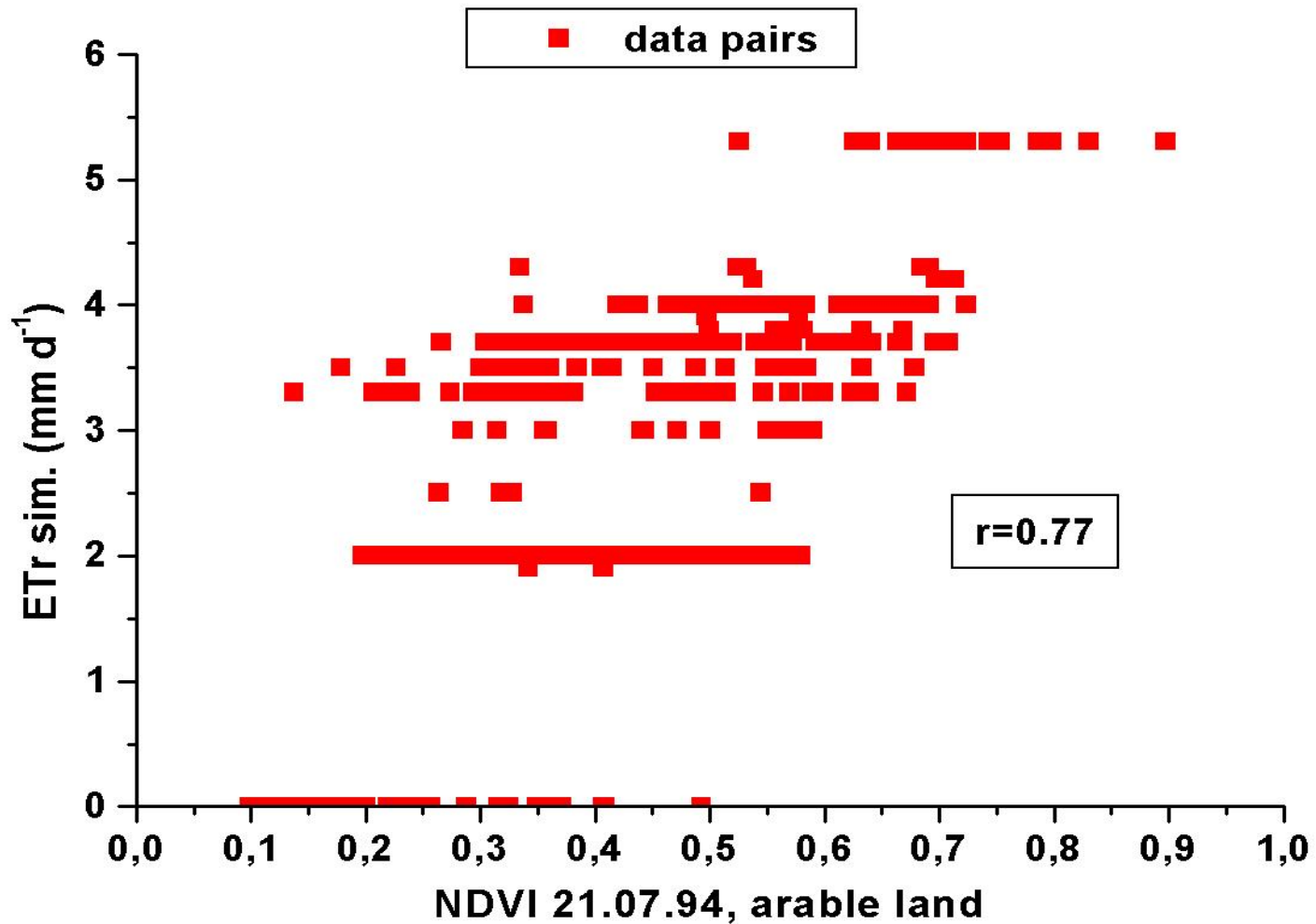
NDVI 21.07.94



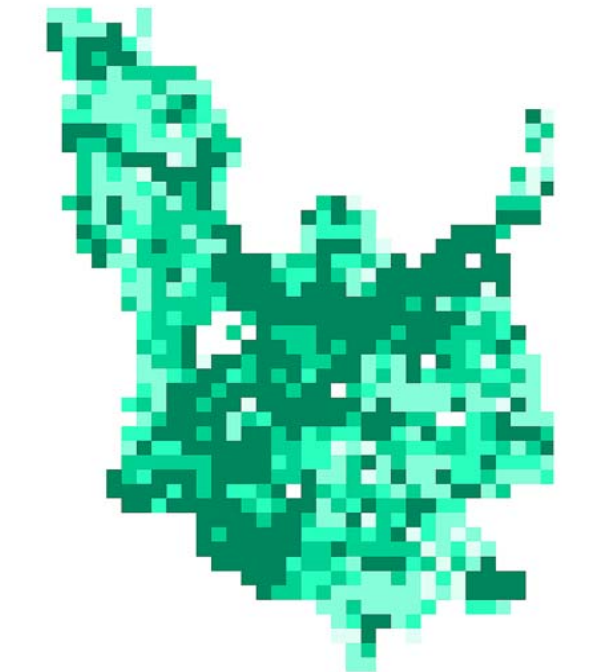
21.07.94, mm d-1



NDVI versus sim. ETr (mm d⁻¹), 21.07.94, Ackerland

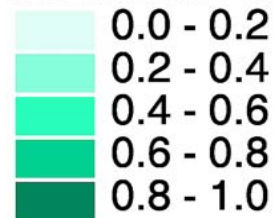


NDVI- und simulierte ETr-Raummuster, grids 500 x 500 m, 22.07.97

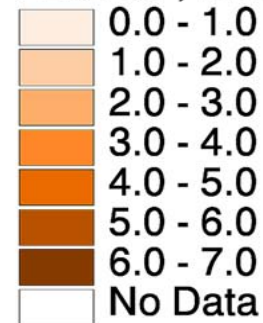


0 3 6 9 12 Kilometers

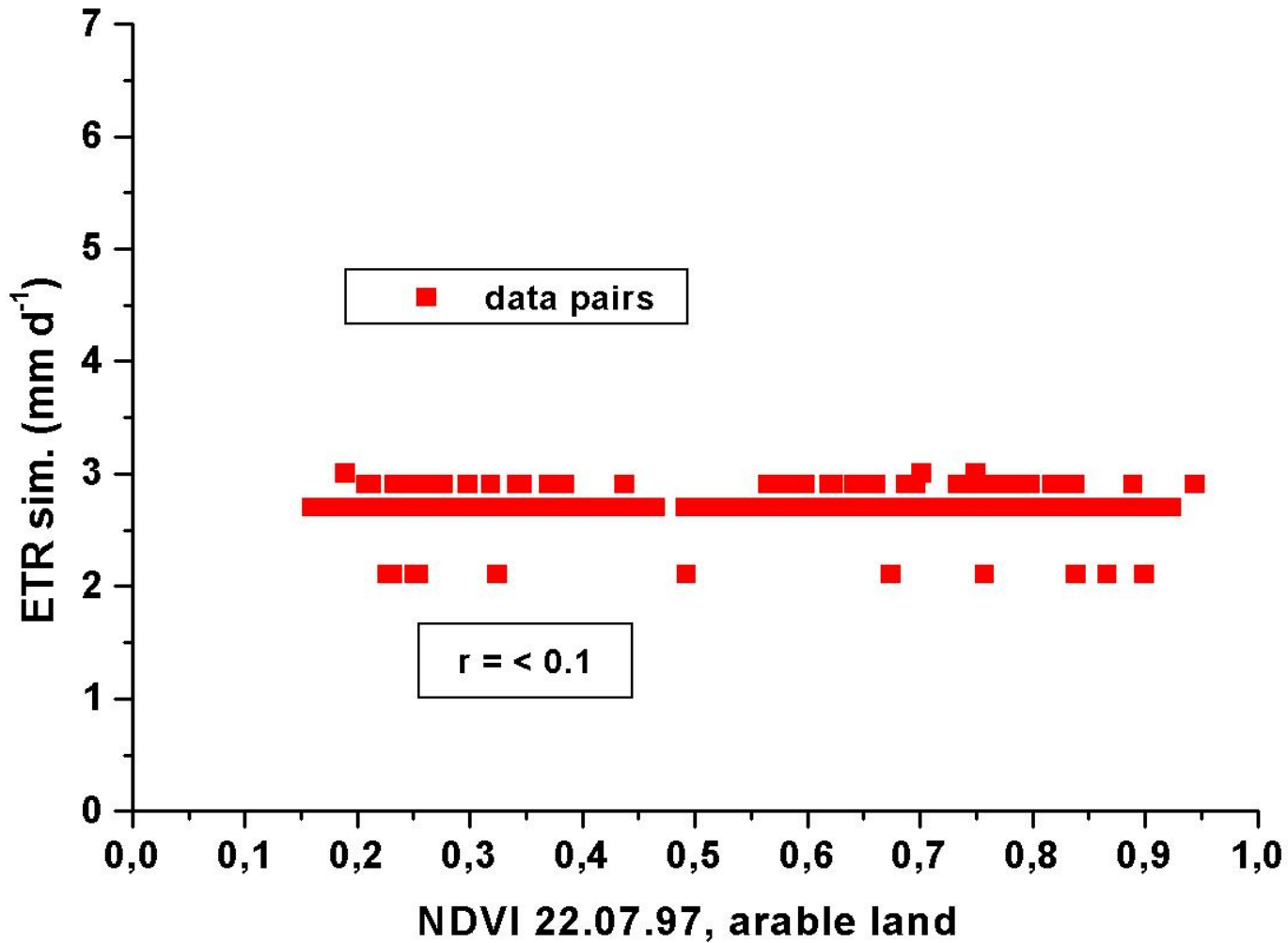
NDVI 22.07.97



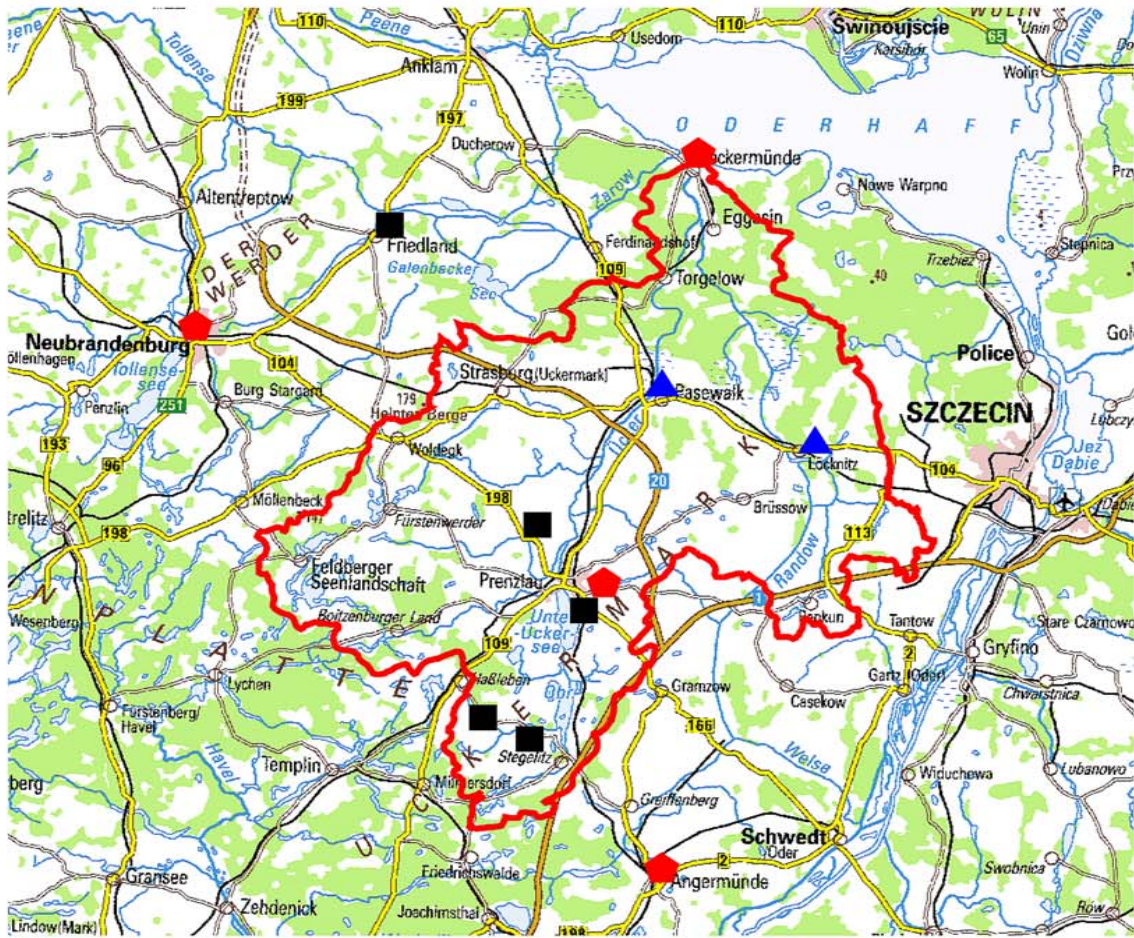
22.07.97, mm d-1



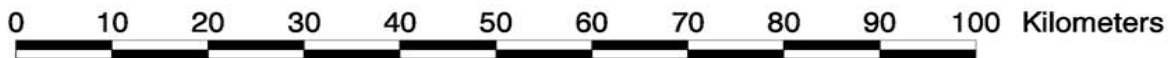
NDVI versus sim. ETr (mm d⁻¹), 22.07.97, Ackerland



Station network Uecker catchment

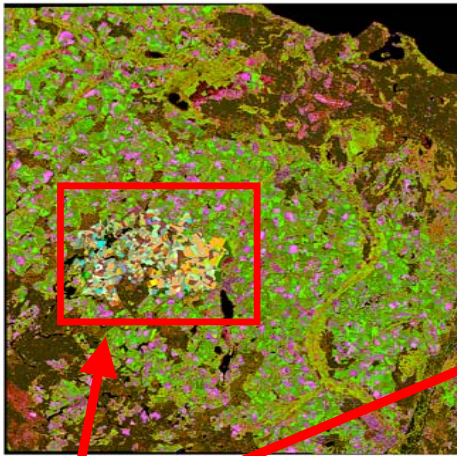


- ▲ Discharge gauges (STAUN-MV)
- ◆ Meteorological stations (DWD)
- Precipitation stations (DWD, ZALF)



Landnutzung 1999 für das Uckergebiet aus multitemporaler überwachter Klassifikation von Landsat-TM5-Daten mit Ground-Truth-Kartierung 1999

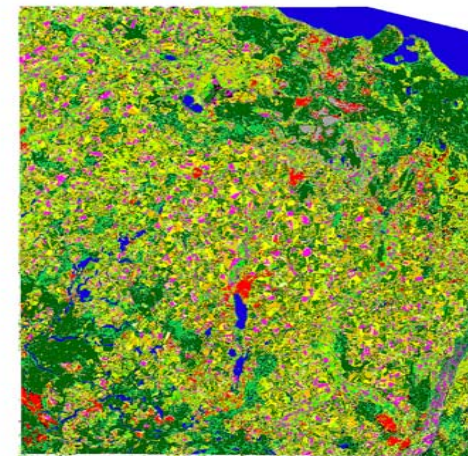
TM 30.4.1999



TM 19.7.1999



TM-classification 1999



Kartierung Quillow 1999

- Aufforstung allgemein
- Faserlein
- Futtererbse, Korn
- Futtergraeser
- Gruenland allgemein
- Hafer
- Hanf
- Industrieraps
- Klee gras
- Luzerne
- Luzerne-Klee gras-Untersaat
- Maehweide allgemein
- Oellein
- Silomais
- Sommergerste
- Sommer raps
- Sommerroggen
- Sommerweizen
- Sonderkulturen allgemein
- Stilllegung/Rotationsbrache allg.
- Triticale
- unbestelltes Ackerland
- Wegflaeche
- Weide mittlerer Intensitaet
- Wiese allgemein
- Wintergerste
- Winter raps
- Winterroggen
- Winterweizen
- Zuckerrueben allgemein

0 10 20 30 40 50 Kilometers

TM-classification 1999

- unclassified
- Settlements
- Water bodies
- Deciduous Forests
- Pine Forests
- Mixed Forests
- Fallow
- Pasture
- Sugar beet
- Winter rape
- Maize
- Triticale
- Winterbarley
- Summer barley
- Winter rye
- Winter wheat
- green area 1
- green area 2
- Buildings 1
- Buildings 2
- poor vegetation
- Swamp



Landsat-TM data (Color composit Bands 5,4,3) Uecker catchment after geometric and atmospheric correction



2.5.00



19.6.00



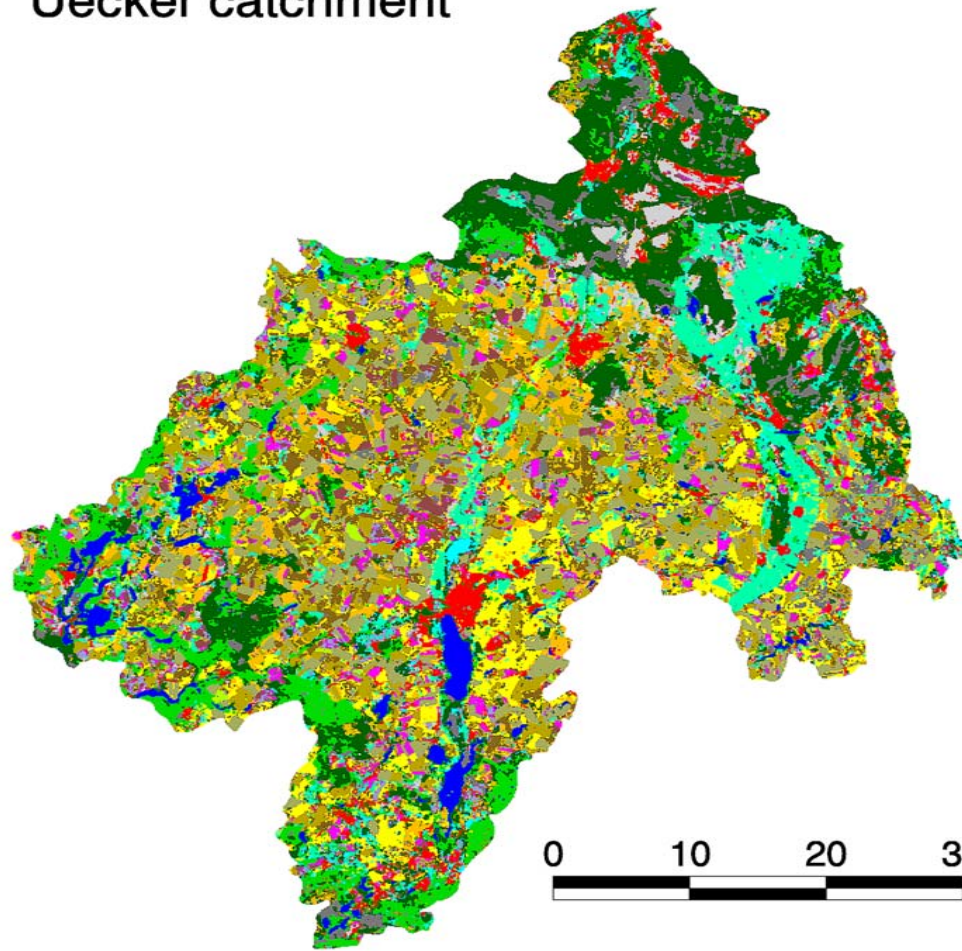
23.9.00



M. Wegehenkel, ZALF e.V.

Landnutzung 2000 für das Uckergebiet

Land cover data from supervised, multitemporal TM-classification, Uecker catchment



TM-land cover classes

- Settlements
- Water bodies
- Coniferous forest
- Deciduous forest
- Fallow
- Pasture
- Winter rape
- Alfa alfa
- Winter wheat
- Winter rye
- Winter barley
- Triticale
- Maize
- Sparsely vegetated areas
- Peatbogs
- Sugar beet
- Surface mining

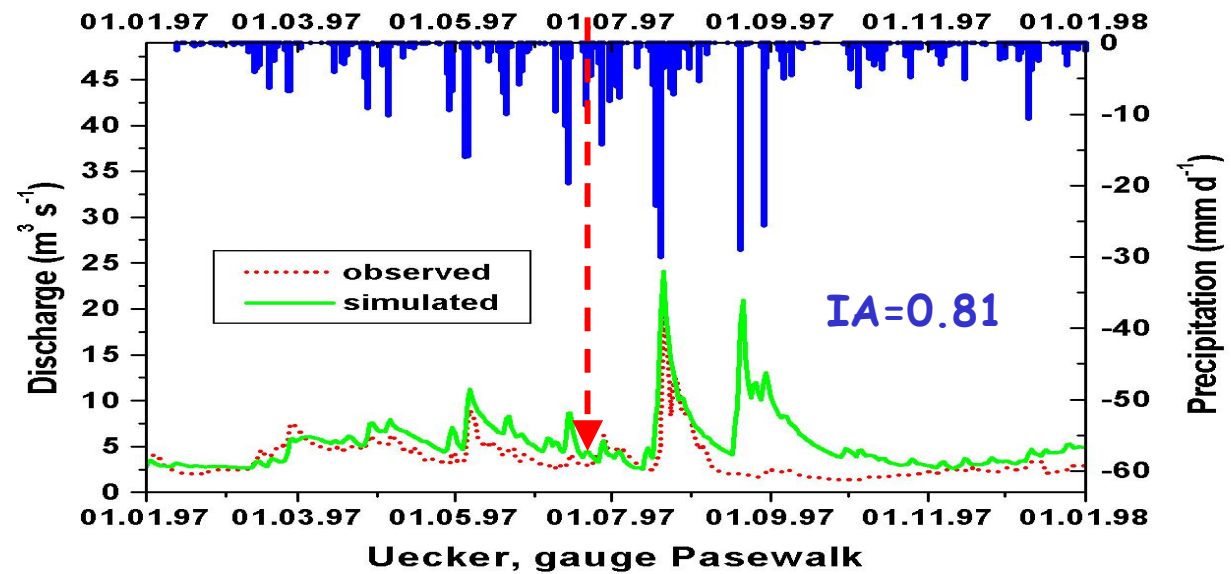
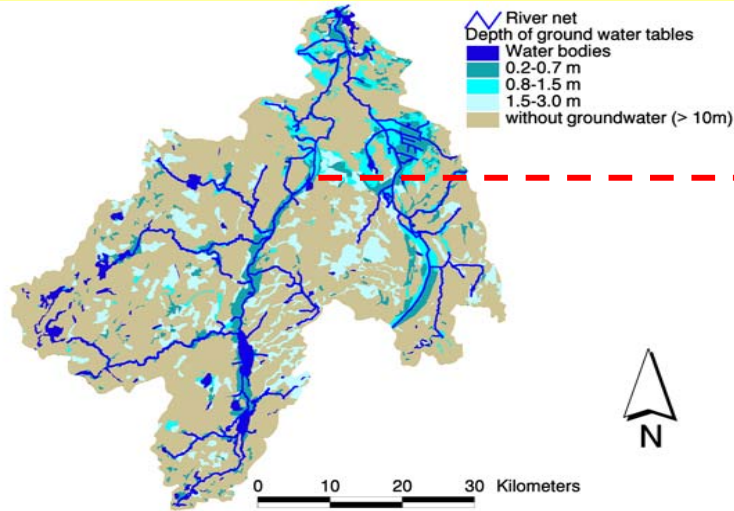
0 10 20 30 Kilometers

Konfusionsmatrix Landnutzungsklassifikation Ucker 2000

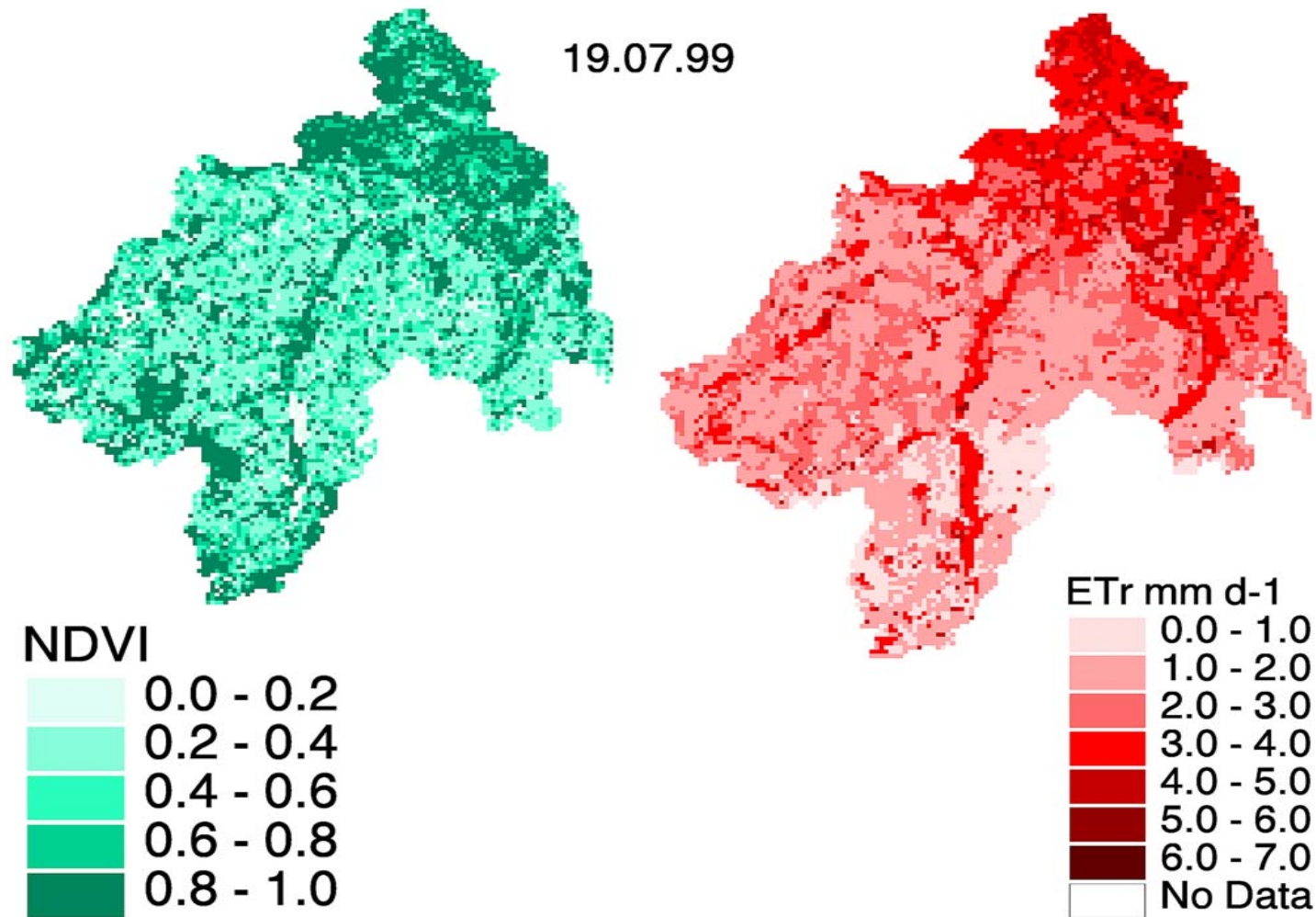
Code_number -Land cover classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Reference data											
1 - Settlements	72,9	0,4	2,4	0,0	0,4	2,4	0,4	0,1	2,5	9,1	9,1	0,3
2 - Water bodies	0,0	98,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
3 - Coniferous forests	0,0	0,9	93,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
4 - Deciduous forests	1,0	0,6	3,8	83,6	0,3	2,8	1,2	0,3	2,7	0,9	0,0	2,8
5 - Fallow	1,7	0,0	0,0	0,0	88,1	0,7	0,1	0,4	0,5	8,5	0,0	0,0
6 - Pasture	6,4	0,1	0,2	1,4	0,8	82,1	1,4	1,8	4,9	0,5	0,2	0,2
7 - Winterrape	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	93,4	0,1	0,9	3,5	0,0	1,5
8 - Alfa alfa	0,2	0,0	0,0	1,2	0,2	1,1	0,2	96,0	0,5	0,0	0,0	0,6
9 - Winter cereals	2,3	0,0	0,0	0,7	2,1	2,5	2,2	0,3	88,0	1,8	0,0	0,1
10 - Maize / Root crops	12,8	0,0	0,0	0,1	17,4	0,2	0,9	0,2	2,1	64,1	1,3	0,9
11 - Sparsely vegetated area	5,9	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	92,2	0,1
12 - Peatbogs	0,5	0,1	0,8	1,2	0,0	3,7	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	93,3



Simulierte und gemessene Tageswerte des Abflusses Ucker, 1997



Mögliche räumliche Validierung des Modells: NDVI versus simulierte ETr, Grids 500 m x 500 m



Schlussfolgerungen:

- Auch etablierte Methoden zur Ableitung von ETr aus Fernerkundungsdaten müssen für die eigene Anwendung geprüft werden.
- Ein erster Vergleich der Raummuster der simulierten ETr mit dem NDVI zeigt eine deutlich höhere räumliche Variabilität des NDVI.
- Eine mögliche Ursache: zu geringe thematische und räumliche Auflösung der Landnutzungsdaten (virtuelle versus reale Fruchtfolgen - verschiedene Alterklassen in Misch-, Laub- und Nadelwald).
- Verbesserung des Modells im Bereich der Vegetationsmodellierung und Landnutzungsdatenbasis.
- Anwendung verbesserter Methoden zur Ableitung von ETr aus FE-daten (Kooperation mit Prof. Dr. M. Vohland, Abt. Fernerkundung der Uni Trier und DLR Neu-Strelitz).



Danksagung:

- Die Arbeiten wurden gefördert vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und vom Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUR) des Landes Brandenburg.
- Der Deutsche Wetterdienst stellte Daten von 6 meteorologischen Stationen zur Verfügung.
- Wir haben dem Staatlichen Amt für Umwelt und Natur Rostock sowie dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern für die Daten der Pegel Pasewalk und Randow zu danken.
- Das digitale Höhenmodell für das Ucker-Gebiet wurde vom Landesvermessungsamt Brandenburg und dem Landesvermessungsamt Mecklenburg-Vorpommern (LvermA BB and M-V, GB-A 03/1) zur Verfügung gestellt.



**Danke schön für Ihre
Aufmerksamkeit**

Luftbild: B. Zbell, 27.06.2003