

LITFASS-2003: BODENNAHE ENERGIE- UND WASSERDAMPFFLÜSSE AUF VERSCHIEDENEN SKALEN

J.-P. LEPS¹, J. BANGE², C. BERNHOFER³, F. BEYRICH¹, T. FOKEN⁴,
S. HUNEKE⁵, H. LOHSE⁵, M. MAUDER⁴,
W. MEIJNINGER⁶, R. QUECK³, U. WEISENSEE¹

¹ Meteorologisches Observatorium Lindenberg, Deutscher Wetterdienst (DWD), Deutschland

² Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme, Technische Universität Braunschweig, Deutschland

³ Institut für Meteorologie und Hydrologie, Technische Universität Dresden, Deutschland

⁴ Abteilung Mikrometeorologie, Universität Bayreuth, Deutschland

⁵ Institut für Küstenforschung - GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Deutschland

⁶ Wageningen Universität, Fachgruppe Meteorologie und Luftqualität, Wageningen, Niederlande

1 EINLEITUNG

Das Experiment LITFASS-2003 (Lindenberg Inhomogeneous Terrain – Fluxes between Atmosphere and Surface: a longterm Study) fand im Zeitraum vom 19.05. bis 17.06.2003 am Meteorologischen Observatorium Lindenberg (MOL) und in dessen Umgebung statt. Es wurde geplant und konzipiert als experimenteller Schwerpunkt des Verbundprojektes EVA-GRIPS (EVAporation at the GRId and Pixel Scale) mit dem Ziel der Ermittlung der flächengemittelten Verdunstung über einer heterogenen Unterlage auf der Skala eines NWV-Modellgitterelements bzw. eines Satellitenbildpixels (vergleich BEYRICH et al., diese CD).

2 IN-SITU-MESSUNGEN BODENNAHER FLÜSSE

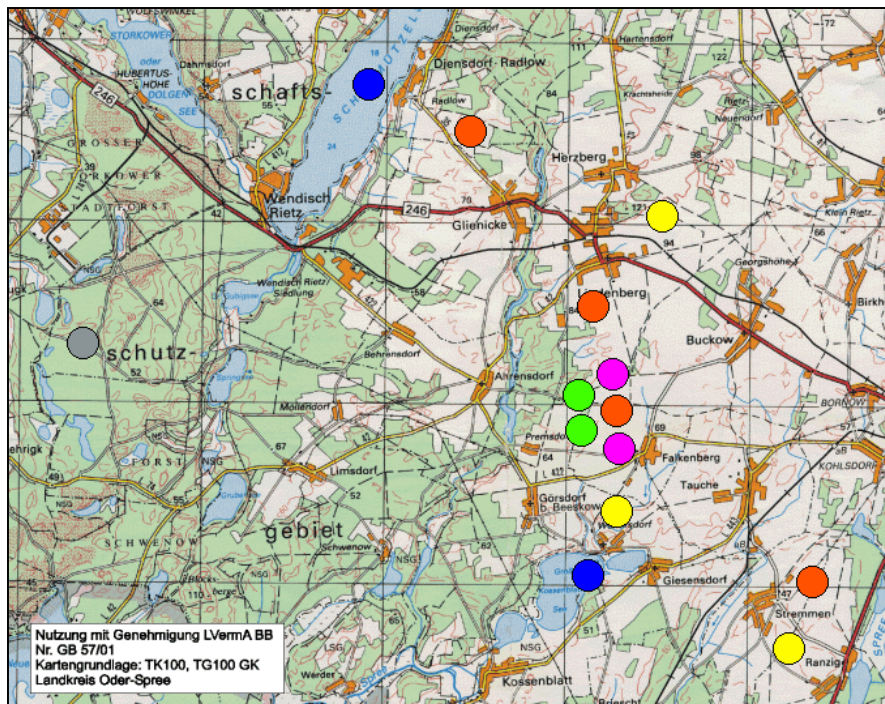


Abb. 1: Standorte der 14 Messkomplexe im LITFASS-Gebiet

Bodennahe turbulente Flussmessungen wurden bei LITFASS-2003 nach der Eddy - Kovarianz - Methode durchgeführt. Insgesamt kamen vierzehn Tubulenzmesskomplexe, jeweils bestehend aus einem Ultraschall - Anemometer – Thermometer und einem optischen Hygrometer zum Einsatz. Die Verteilung der Messstellen im Experimentgebiet ist in Abb. 1 dargestellt. Gemessen wurde über den Unterlagen Wiese (grüne Punkte - 2x), Getreide (rote Punkte - 4x), Mais (lila Punkte - 2x), Raps (gelbe Punkte - 3x), Wasser (blaue Punkte - 2x) und Kiefernwald (grauer Punkt - 1x).

Um die Vergleichbarkeit der Flussmessungen an den einzelnen Messstationen zu sichern, wurde im Mai und Juni des Vorjahres (2002) ein Vorexperiment durchgeführt, bei dem Prototypen aller Messkomplexe (insgesamt 7) an einem Ort nebeneinander betrieben wurden und in dessen Ergebnis ein einheitlicher Datenbearbeitungs-Algorithmus entwickelt wurde, mit dem dann die Turbulenzmessdaten aller Messkomplexe von LITFASS-2003 analysiert und bewertet wurden (vgl. Mauder et al., diese CD).

In Abb. 2 ist der Tagesgang des latenten Wärmeflusses am 25.05.2003, also zu Beginn des Experimentes, dargestellt. Während die Zeitreihen über den Unterlagen Raps, Mais und Wiese jeweils eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Standorten zeigen, differieren die Einzelmessungen über Getreide um etwa achtzig Prozent. Ursache hierfür waren neben einer relativ großen räumlichen Separation der Getreide-Standorte (vgl. Abb. 1) und damit verbundenen möglichen Unterschieden in den Standortbedingungen insbesondere offenbar Unterschiede zwischen den z.T. unterschiedlichen Getreidearten im Pflanzenwachstum / Reifestadium.

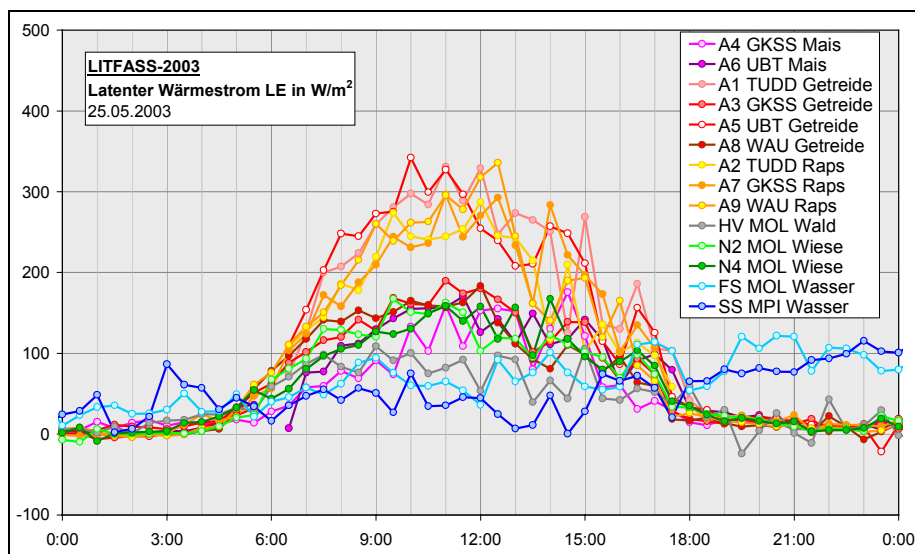


Abb. 2:
Tagesgang des latenten Wärmestromes am 25.05.2003 an den 14 mikrometeorologischen Messstellen

Während zu Beginn des Experimentes (19.05.2003) noch eine flächendeckende Überregnung des Gesamtgebietes beobachtet wurde und am 23.05.2003 erneut geringfügige Niederschläge gemessen wurden, blieb es in den darauffolgenden nahezu zwei Wochen (bis zum 05.06.2003) weitgehend niederschlagsfrei. Abb. 2 stammt somit vom Beginn der Phase kontinuierlicher Austrocknung. Dieser Prozess der kontinuierlichen Abnahme des Wasserangebotes für die Verdunstung spiegelt sich sehr deutlich in den Zeitreihen des Bowen-Verhältnisses (Quotient aus fühlbarerem und latentem Wärmefluss) wieder, dies wird in Abb. 3 illustriert. Während das Bowen-Verhältnis in den Mittagsstunden zu Beginn des Experimentes an allen Einzelstationen < 1 war (außer Wald), steigt es bis zum 05.06.2003 auf Werte zwischen 2 und 4, im Wald noch darüber, an. Nach dem Niederschlagsereignis am 05./06.06.2003, bei dem die gefallene Niederschlagsmenge sehr inhomogen im Messgebiet verteilt war (vgl. Beyrich et al., diese CD), sinkt das Bowen-Verhältnis an allen Stationen in der Südhälfte des Gebietes (viel Niederschlag) wieder unter 1 ab, während es an den Stationen im Norden (wenig Niederschlag) bei 2 bis 3 verbleibt. Nach einem zweiten signifikanten Niederschlagsereignis (08./09.06.2003) mit flächendeckenden Niederschlagsmengen zwischen 7 und 15 mm wird überall ein Absinken auf Werte < 1 festgestellt (Ausnahme erneut Wald), nachfolgend beginnt der Quotient allgemein wieder anzusteigen.

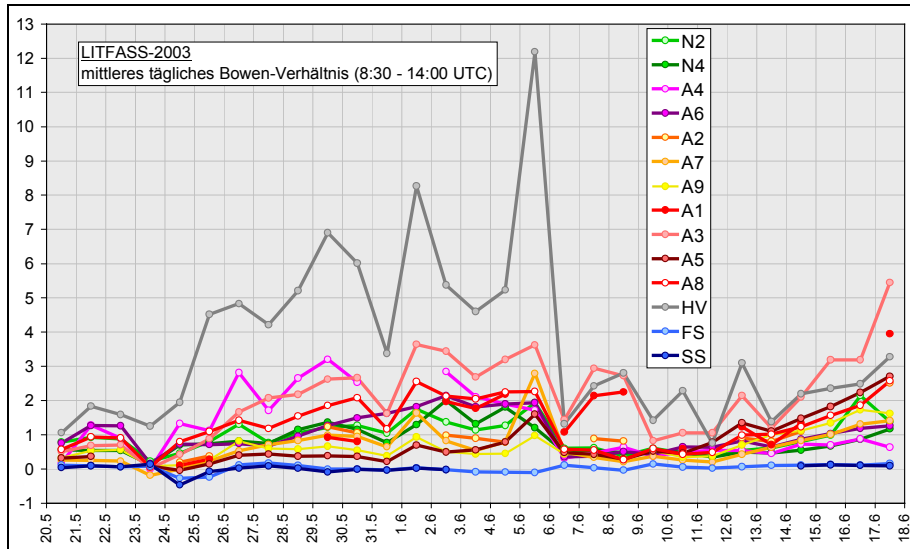


Abb. 3:
Mittleres Bowen-Verhältnis während der Mittagsstunden an den einzelnen Flussmessstationen im Zeitraum des LITFASS-2003 Experimentes

3 GEMITTELTE FLÜSSE EINER UNTERLAGE – GEBIETSMITTEL LITFASS-AREA

Zur Untersuchung und Bestimmung der flächengemittelten Flüsse für eine Landnutzungsform wurden die Quotienten aus Einzelmessung und arithmetischen Mittel aller Flüsse gleicher Unterlage betrachtet. Als Beispiel hierfür zeigt Abb. 4 diese Verhältnisse des latenten Wärmeflusses über Getreide.

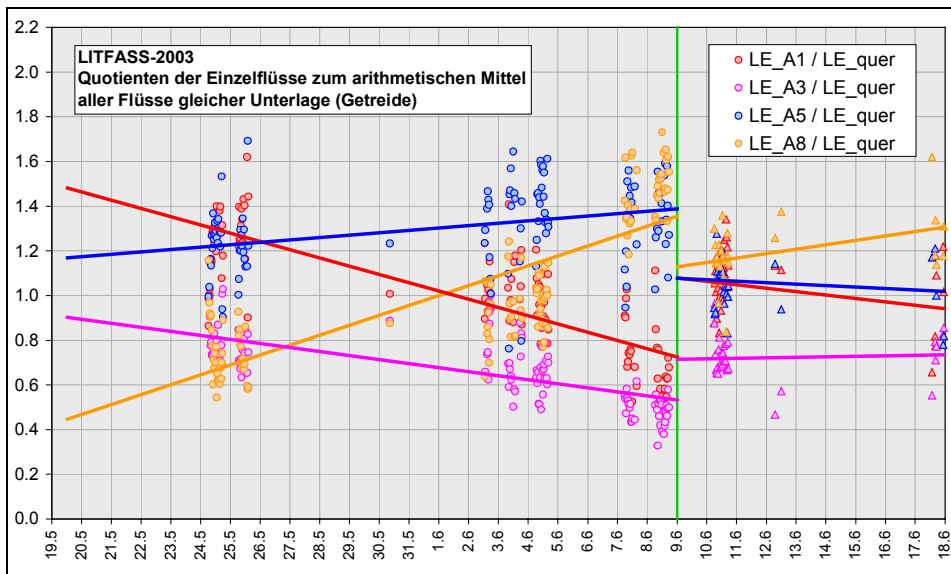


Abb. 4:
Messungen des latenten Wärmeflusses an den vier Getreidestandorten: Verhältnis der Messwerte an den Einzelstationen zum Landnutzungsklassenmittel "Getreide" für Zeiträume, in denen qualitätsgeprüfte Messwerte aller vier Stationen gleichzeitig vorlagen

Drei Aspekte sind auffällig:

- Niederschlagsereignisse, wie das in der Nacht vom 08. zum 09.06.2003, wirken sich signifikant auf den betrachteten Flussquotienten aus und machten eine gesonderte Untersuchung der Zeiträume davor und danach notwendig.
- Die Einzelflüsse weichen vom Landnutzungsklassenmittel um bis zu 50 % ab.
- Alle Einzelflüsse haben einen Trend bezüglich des für ihre Landnutzungs-kategorie gemittelten Flusses.

Zur Bestimmung des flächengemittelten Flusses über Getreide wurden diese Trends und Offsets der Quotienten (Einzelreihen zu gemeinsamen Mittel) vorher entfernt (nicht die Trends der Einzelreihen selbst). Damit war sichergestellt, dass der Ausfall einer oder mehrerer Stationen (z.B. infolge ungünstiger Anströmbedingungen) keinen Einfluss auf den resultierenden mittleren Fluss hat.

Nach gleichem Schema wurden auch der fühlbare Wärmefluss und die turbulenten Energieflüsse der anderen Landnutzungsformen bestimmt. Zusätzlich dazu wurden die flächenrepräsentativen Flüsse für Agrarland bestimmt, welche sich aus den entsprechend den Flächenanteilen gewichteten mittleren Flüssen über Wiese, Getreide, Mais und Raps zusammensetzen.

Abb. 5 zeigt die turbulenten Flüsse der drei dominierenden Unterlagen im LITFASS-Gebiet (Agrarland, Wald und Wasser) sowie die daraus wiederum entsprechend den Gebietsanteilen (45%, 48 % und 7 %) gemittelten Flüsse für das Gesamtgebiet.

Den größten fühlbaren Wärmefluss produziert der Kiefernwald, während über dem See, der zu Beginn des Experimentes mit ca. 18 Grad C noch recht kalt war, am Tage ein abwärts gerichteter Wärmefluss gemessen wurde. Über Ackerland war zunächst die Verdunstung am größten, gegen Ende des Experimentes, als sich der See bis auf 25 Grad C erwärmt hatte, verdunstete dieser dann deutlich mehr.

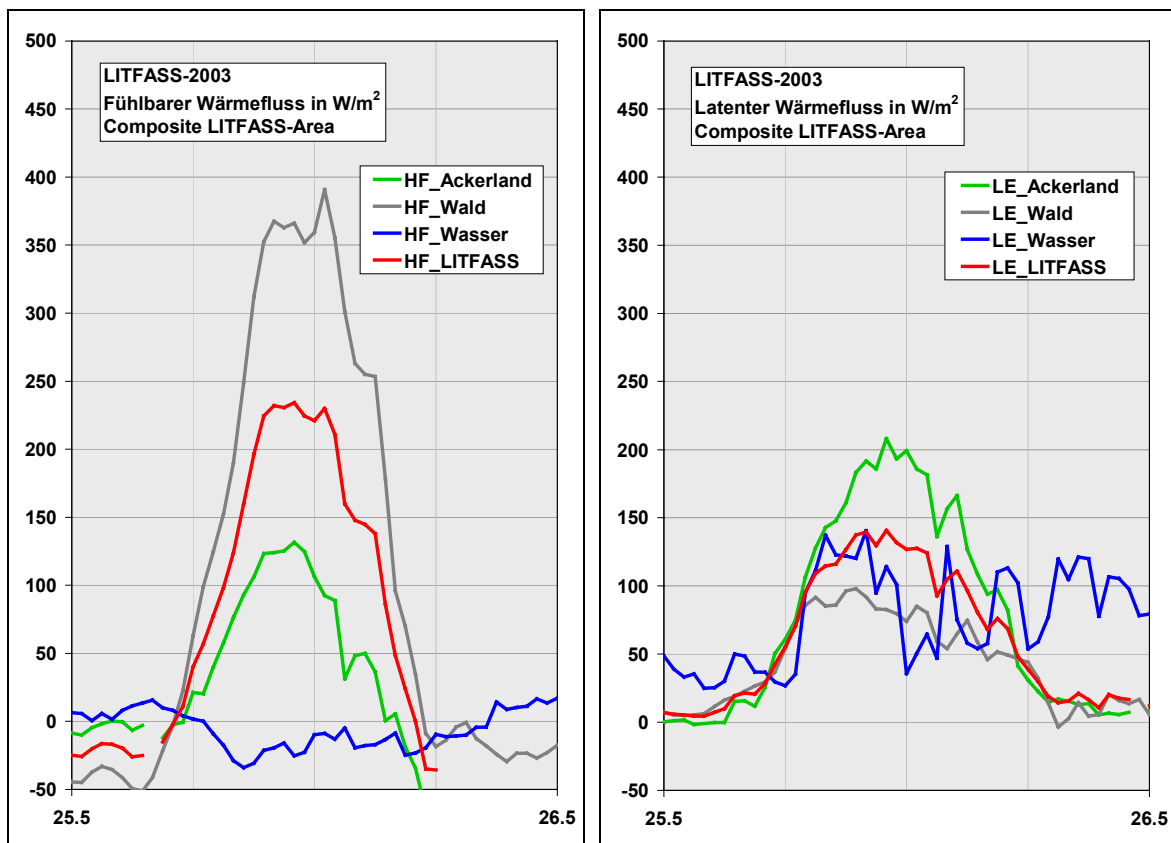


Abb. 5: Tagesgang der turbulenten Wärmeflüsse über Wald, Wasser, Agrarland sowie der gebietsgemittelten Flüsse am 25.05.2003

4 VERGLEICH MIT DEN RÄUMLICH INTEGRIERENDEN MESSUNGEN

Neben den lokalen Messungen der Turbulenzkomplexe waren während LITFASS-2003 verschiedene andere Messsysteme zur Bestimmung der turbulenten Energieflüsse im Einsatz, welche die direkte Bestimmung regional repräsentativer Flusswerte (auf der meso- γ Skala) gestatten:

- Hubschrauber-Schleppsonde Helipod (Länge einer Flugstrecke 10-15 km),
- Large-Aperture Scintillometer (LAS) mit Pfad-Längen von 3.0 km, 4.7 km, und 10 km.

Mit dem Helipod wurde an vier Tagen (30.5, 2.6., 13.6. und 14.6.) mehrfach das sogenannte Katalog-Flugmuster geflogen, das aus mehreren, jeweils 10-15 km langen Flugabschnitten über "homogenen" Teilgebieten (Agrarland, Wasser, Wald) in niedriger Höhe bestand. Die Abbildungen 6a, 6b und 6c zeigen Vergleiche der turbulenten Flüsse über den drei Hauptlandnutzungsformen für diese Messflüge.

Des Weiteren wurden die Messungen von zwei LAS-Systemen, deren Messpfad im wesentlichen über jeweils einer Unterlage verlief, in den Vergleich einbezogen:

- Wald: LAS zwischen Feuerwachturm „Grubenmühle“ und Waldstation HV (Länge 3.0 km)
- Ackerland: LAS zwischen MOL und dem Messfeld Falkenberg (Länge 4.7 km)

Die Vergleiche des fühlbaren Wärmestroms zeigen sehr gute Übereinstimmungen der drei unterschiedlichen Messsysteme, beim latenten Wärmestrom ist sie über Wasser und Wald recht gut, über Ackerland dagegen weniger. Grund dafür könnte sein, dass die Wichtung der einzelnen Ackerkulturen entlang des Scintillometer-Pfades bzw. der Flugstrecke nicht genau mit der Flächenwichtung des LITFASS-Gebietes übereinstimmt.

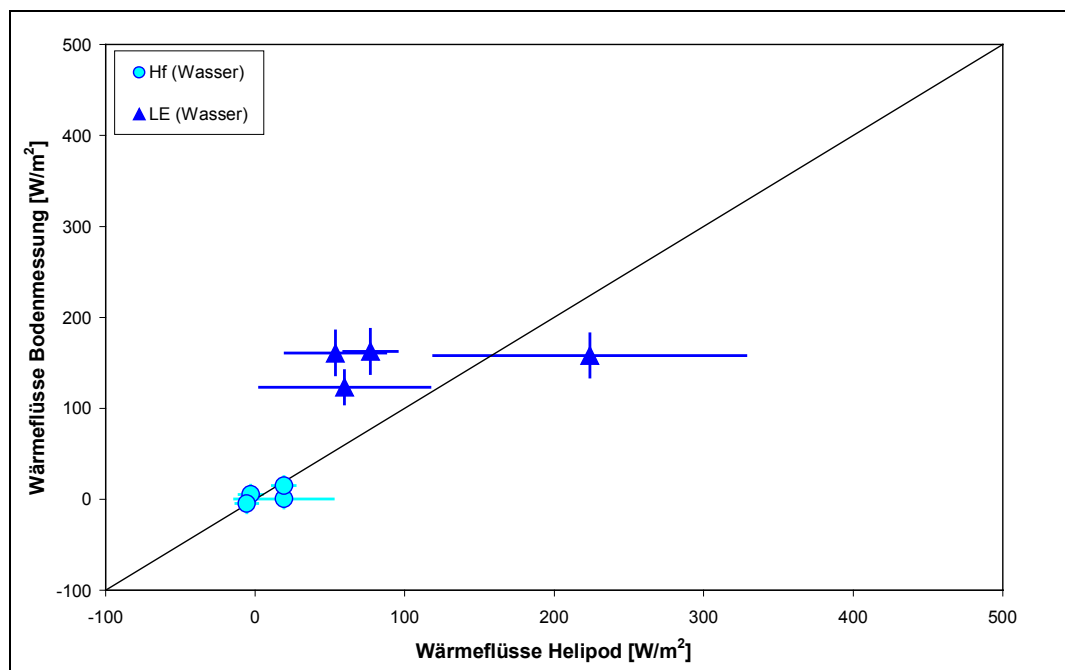


Abb. 6a:

Vergleich der lokalen Flussmessungen über Wasser mit Scintillometer- und Helipodmessungen für die Katalog-Messflüge während LITFASS-2003

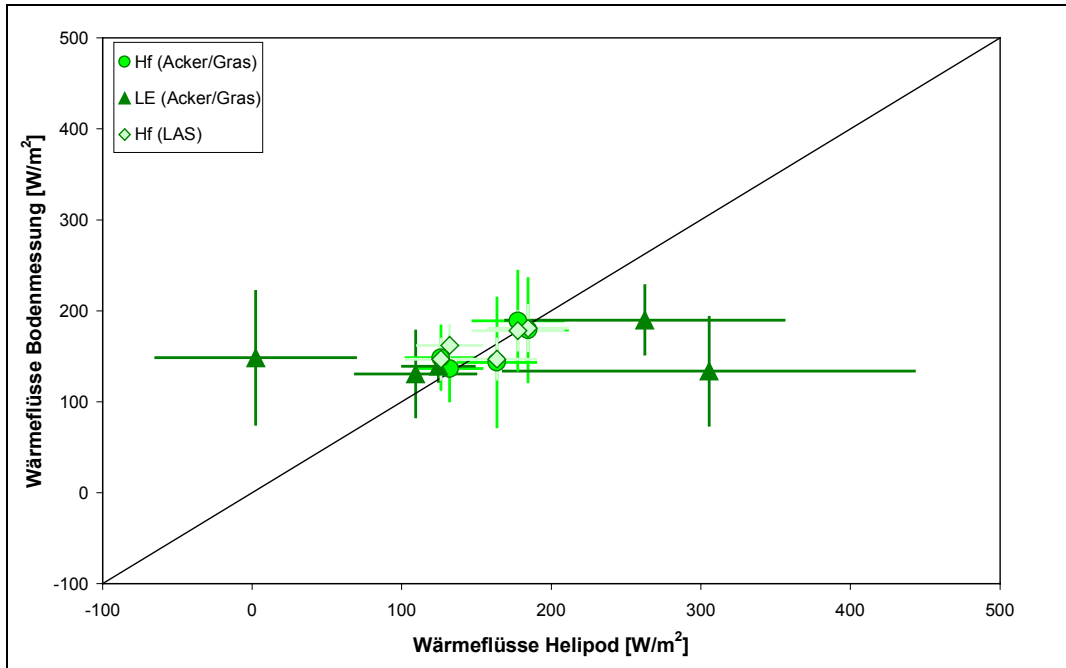


Abb. 6b:
 Vergleich der lokalen Flussmessungen über Ackerland mit Scintillometer- und Helipodmessungen für die Katalog-Messflüge während LITFASS-2003

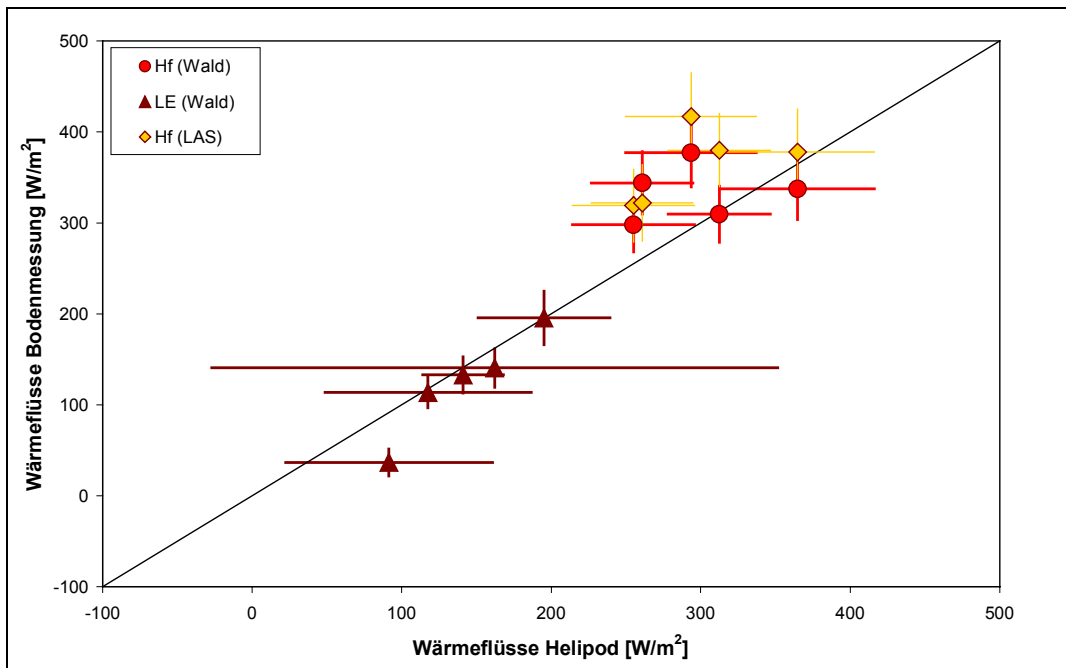


Abb. 6c:
 Vergleich der lokalen Flussmessungen über Wald mit Scintillometer- und Helipodmessungen für die Katalog-Messflüge während LITFASS-2003

5 ZUSAMMENFASSUNG

Während LITFASS-2003 wurden über vier Wochen die bodennahen Energie- und Wasserdampf Flüsse gemessen. Aus diesen wurden repräsentative Zeitreihen für die einzelnen Landnutzungsformen und für das Gesamtgebiet errechnet. Mit diesem Datensatz besteht die Möglichkeit, mesoskalige numerische Modelle auf der Gitterbox-Skala sowie Algorithmen zur Ableitung turbulenter Flüsse aus Satellitendaten zu validieren.

LITERATUR

F. Beyrich (Editor) (2004). *Verdunstung über einer heterogenen Landoberfläche Das LITFASS-2003 Experiment. Ein Bericht*. Deutscher Wetterdienst Forschung und Entwicklung, Arbeitsergebnisse Nr. 79, Offenbach, Deutschland.