

Schlussbericht Juni 2002

EWS - Anlage

Neubau CAS, Wattwil; Erdwärmesondenanlage

ausgearbeitet durch
R. Eichenberger, Dr. Ch. Kapp
NEK Umwelttechnik AG
Helvetiastrasse 41, 9000 St. Gallen



- BAUHERRSCHAFT:** CAS Clean Air Service AG, Industriestrasse 2,
9630 Wattwil
- PROJEKT:** Neubau eines Betriebsgebäudes
- LAGE:** Parzelle Nr. 2777, 9630 Wattwil/Wis
- KOORDINATEN:** ca. 725 280 / 239 360
- WÄRMETECHNIK:** NEK Umwelttechnik AG, Helvetiastrasse 41,
9000 St. Gallen
- AUFTRAG:** Ausführung eines Messprojektes zum Vergleich von
Regenschirmerdwärmesonden und konventionellen
Duplex-Erdwärmesonden gemäss Verfügung BFE
Projekt Nr. 28'823
- AUSGEFÜHRTE ARBEITEN:**
- Überwachung des Durchflusses, der Temperaturen und der Leistung von vier Erdwärmesonden
 - Überwachung der Betriebsfunktionen der WP-Anlage
 - Erarbeitung eines ersten Zwischenberichtes, eines provisorischen Schlussberichtes und des hier vorliegenden Schlussberichtes

PLANUNTERLAGEN:	-	Bohrplan der Firma Grundag AG	
	-	Messkonzept NEK Umwelttechnik AG	
BEILAGEN:	1	Ausschnitt Landeskarte 1 : 25'000	
	2	Abbildung Doppel-U-Erdwärmesonde	
	3	Abbildung Regenschirmerdwärmesonde	
	4	Prinzipschema der Messanlagen	
	5	Temperaturverlauf in EWS 2	
	5a	Vertikale Temperaturprofile in EWS 2	
	5b	Vertikale Temperaturprofile in EWS 2	
	6	Temperaturverlauf in EWS 4	
	6a	Vertikale Temperaturprofile in EWS 4	
	6b	Vertikale Temperaturprofile in EWS 4	
	7	Tagesverlauf 05.10.99 in EWS 2	
	8	Tagesverlauf 05.10.99 in EWS 4	
	9	Tagesverlauf 07.06.99 in EWS 2	
	10	Tagesverlauf 07.06.99 in EWS 4	
	11 – 16	Vergleich der spezifischen Leistungen (1. Zwischenbericht)	
	17 – 22	Vergleich der Durchflussmengen (1. Zwischenbericht)	
	23 – 28	Vergleich der Temperaturdifferenzen (1. Zwischenbericht)	
	29	Vergleich der spezifischen Leistungen (vorl. Schlussbericht)	
	30	Vergleich der Durchflussmengen (vorl. Schlussbericht)	
	31	Vergleich der Temperaturdifferenzen (vorl. Schlussbericht)	
	32	Vergleich der Durchflussmenge in EWS 2 und EWS 1	
	33	Vergleich der spezifischen Leistung in EWS 2 und EWS 1	
VERTEILER:		Bundesamt für Energie	3 Exemplare
		Hauser Rutishauser Suter AG	1 Exemplar
		NEK Umwelttechnik AG	2 Exemplare

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
0. ZUSAMMENFASSUNG / RÉSUMÉ / SUMMARY	5
1. EINLEITUNG	8
2. GRUNDLAGEN UND AUSGEFÜHRTE ARBEITEN	10
2.1 Grundlagen	10
2.2 Ausgeführte Arbeiten	13
3. AUSWERTUNG DER MESSUNGEN	15
3.1 Jahrestemperaturverlauf	15
3.2 Tagestemperaturverlauf	17
3.3 Statistische Auswertung der Volumenstrom-, Temperatur- und Leistungsdaten in dimensionslosen Korrelationsdiagrammen	19
3.3.1 Methodik	19
3.3.2 Datenanalyse	20
3.4 Einregelungsversuch vom 05. April 2002	23
3.5 Berechnung der Jahresarbeitszahl JAZ	25
4. INTERPRETATION DER MESSUNGEN	26
4.1 Temperaturverlauf	26
4.2 Statistische Auswertung der Temperatur-, Volumenstrom- und Leistungsdaten	27
4.3 Einregelungsversuch vom 05. April 2002	28
4.4 Jahresarbeitszahl	29
5. FAZIT	30

0. ZUSAMMENFASSUNG / RÉSUMÉ / SUMMARY***Zusammenfassung***

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, BFE, wurde eine neu erstellte Erdwärmesondenanlage mit Temperaturmessfühlern und Durchflussmessungen überwacht. Die Anlage vereint zwei verschiedene Erdwärmesondentypen, zum einen die herkömmliche Duplexsonde, zum anderen eine seinerzeit neu von der Firma NEK Umwelttechnik AG entwickelte, sogenannte Regenschirmerdwärmesonde. Der im Zeitraum vom 08. Oktober 1999 bis zum 23. Mai 2002 durchgeführte Versuch dient zum Vergleich der Leistungen der beiden Erdwärmesondentypen.

In verschiedenen Tiefen angebrachte Temperatursensoren zeichneten den Verlauf der Temperaturkurven in zwei der vier Erdwärmesonden auf (jeweils eine Normalsonde und eine Regenschirmsonde). Die Datensätze weisen auf eine leichte Auskühlung des Erdreiches hin, das Erreichen des thermischen Gleichgewichtszustandes konnte bislang noch nicht definitiv nachgewiesen werden.

Mittels Korrelationsdiagrammen wurden die beiden leistungsbestimmenden Faktoren der Sonden, Temperatur und Durchfluss, sowie die Leistungen der beiden Sondentypen selbst verglichen. Eine leichte Dominanz der Regenschirmerdwärmesonde konnte festgestellt werden. Der definitive Nachweis dieser Dominanz wurde jedoch aufgrund der verschiedenen Längen der Zuleitungen der Erdwärmesonden und den dadurch bedingt unterschiedlichen Durchflussmengen im Rahmen dieses Feldversuchs nicht endgültig erbracht.

Die Erfassung der Jahresarbeitszahl JAZ zeigte Werte zwischen 3.31 und 3.81 auf. Die Messreihe wurde durch einen totalen Loggerausfall bedingt in zwei Perioden (10 und 3 Monate) unterteilt.

Résumé

Sur ordre de l'office fédéral de l'énergie, OFE, une installation de sondes de géothermie à nouveau fourni avec des capteurs de température et des mesures du débit a été surveillé. L'installation unit deux types de sondes de géothermie différents, d'une part la sonde de duplex traditionnelle, de l'autre part la sonde de géothermie de parapluie, un développement neuf de l'entreprise NEK Umwelttechnik AG. L'expérience mise en oeuvre au cours de la période du 08 octobre 1999 au 23 mai 2002 sert à la comparaison de la performance des deux types de sondes de géothermie.

Des capteurs de température, insérés dans différentes profondeurs ont noté le cours des courbes de température dans les deux des quatre sondes de géothermie. Les séries de données montrent refroidir faible du sol. Un état d'équilibre thermique entre la sonde et le sol ne pouvait jusqu'ici pas encore être prouvé.

Dans les diagrammes de corrélation, la température, l'écoulement et la performance des deux types de sondes ont été comparés. Seulement une dominance faible de la sonde de géothermie de parapluie pouvait être constatée. La preuve définitive de cette dominance n'a pas été fournie cependant. Cela est lié avec que les sondes attachées dans différentes conduites n'ont pas eu l'écoulement exactement même.

La saisie numéro tu travail annuel des COP a précisé des valeurs entre 3.31 et 3.81. La série de mesures a été subdivisée par une perte totale du logger en deux périodes de 10 et 3 mois.

Summary

On behalf of the Federal Office of Energy, BFE, a new created heat probe facility with temperature sensors and flow measurements was monitored by NEK Umwelttechnik AG. The system unites two different geothermal heat probe types, on the one hand the conventional duplex probe, on the other hand the umbrella type terrestrial heat probe developed by the company NEK Umwelttechnik AG. In the experimental period executed from 08 October 1999 until 23 May 2002, the performance of the two terrestrial heat probe types was observed for comparison.

In different depths attached temperature sensors recorded temperature curves in two of the four geothermal heat probes. The data records refer to a slight cooling of the soil, a thermal equilibrium of soil and probes could so far not yet definitely be proven.

By means of scatter diagrams the two performance-determining factors temperature and flow, as well as the performances of the two probe types themselves were compared. A slight dominance of the umbrella type geothermal heat probe could be determined. The definite proof of this dominance could not be shown definitively in the context of this field test due to the different lengths of the inlets of the terrestrial heat probes and the different flow rates related to those difference in the pipe lengths.

The entry of the coefficient of performance, COP pointed values out between 3.31 and 3.81. The series of measurements was partitioned into two periods (10 and 3 months) by a total logger breakdown.

1. EINLEITUNG

Anlage und Projektvorgaben

Beim Neubau des CAS-Gebäudes in Wattwil, Kanton St. Gallen, wurden vier Erdwärmeh Bohrungen à 250 m (EWS 1, 2, 4) und eine Erdwärmehbohrung à 230 m (EWS 3) abgeteuft. Dabei wurden in den beiden Bohrungen EWS 1 und 2 zwei herkömmliche Doppel-U-Sonden (Duplex-Sonden) und in den Bohrungen EWS 3 und 4 zwei neuartige, von der Firma NEK Umwelttechnik AG entwickelte Regenschirmerd-wärmesonden eingebaut.

Gemäss der Verfügung im Projekt Nr. 28'823 des Bundesamtes für Energie wurden folgende Projektziele definiert:

- Leistungsmessungen an einer neuartigen Erdwärmehsonde
- Effizienzvergleich zwischen tiefen, konventionellen Erdwärmehsonden (Doppel-U, Ø 40 mm) und der neuartigen Regenschirmerdwärmehsonde
- Optimierung des Energieentzuges durch Durchflussmengenvariation
- Einfluss des Thermogradienten auf die Entzugsleistungen

Resultate des ersten Zwischenberichtes

In Zeitreihengrafiken der Temperaturen der beiden Bohrungen EWS 4 und EWS 2 konnte nachgewiesen werden, dass, auch lokal, bis zum Vorliegen des ersten Zwischenberichtes keine thermische Übernutzung des Untergrundes vorlag.

Die Auswertung der Temperatur-, Druck- und spezifischen Leistungsdaten ergab insbesondere, dass die Leistung der Sonden mit den bis zu jenem Zeitpunkt gefahrenen Einstellungen massgeblich von der Durchflussmengenvariation des Wärmeträgermediums abhängig war. Eine eindeutige Überlegenheit eines der beiden Sondentypen konnte nicht schlüssig nachgewiesen werden.

Resultate des vorläufigen Schlussberichtes

Aus der allgemein beobachteten Absenkung der Temperaturen in allen Bohrlöchern wurde gefolgert, dass die Anlage nunmehr an der thermischen Kapazitätsgrenze der Erdwärmebohrungen lief.

Beim Leistungsvergleich bei gleicher Durchflussmenge dominierte die Regenschirm-erdwärmesonde knapp über die konventionelle Duplexsonde, jedoch konnte nicht von einem klaren Resultat gesprochen werden.

Die im vorläufigen Schlussbericht erstmals ermittelte Jahresarbeitszahl lag bei 3.31.

2. GRUNDLAGEN UND AUSGEFÜHRTE ARBEITEN

2.1 Grundlagen

Aufbau einer herkömmlichen Erdwärmesonde (Doppel – U – Erdwärmesonde)

Die heute standardmässig eingebauten Erdwärmesonden Beilage 2 bestehen aus einem doppelt geführten U-Rohr aus PE 100, das mit einem Gewicht beschwert in das Bohrloch eingebracht und durch Ausinjizierung des verbleibenden Hohlraumes zwischen Bohrlochwand und Sonde in seiner Lage stabilisiert wird. Die Vor- und Rückläufe sind streckenweise ungeführt und können deswegen vor allem in engen Bohrlöchern direkt aneinander zu liegen kommen, wodurch eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit eines thermischen Kurzschlusses besteht. Der Effekt ist in der Literatur belegt (Hurtig et al. 2000) und führt vor allem im tiefen Bereich der Sonde zu einer dramatischen Abnahme der Leistung des Systems.

Aufbau einer Regenschirmerdwärmesonde

Die Regenschirmerdwärmesonde Beilage 3 besteht aus einem zentralen Rücklaufrohr aus MDPE Durchmesser \varnothing 50.0 x 5.0 mm, welches am tiefsten Punkt einen speziellen Fuss aufweist. Von diesem Spezialfuss gehen 8 MDPE-Rohre mit Durchmessern von \varnothing 20.0 x 2.0 mm ab, die endlos bis zum Sammler an der Geländeoberfläche geführt werden. Diese 8 Vorlaufrohre sind radial um das Zentralrohr angeordnet, wobei zwischen den Vor- und Rückläufen ein kreisringförmiger Sack aus Polyethylen eingelegt ist. Bei der Verfüllung des Bohrloches wird eine Bentonitmasse in den Sack eingebracht, welche durch die Quellfähigkeit des Bentonits bedingt, die dünnen Vorlaufrohre an die Bohrlochaussenwand anpresst und diese so optimal vom zentral verlaufenden Rücklaufrohr trennt. Die thermische Trennung von Vor- und Rücklauf ist so bestmöglichst gewährleistet und die Rückläufe sind durch ihre Nähe zur Bohrlochwand an das wärmespendende Erdreich angekoppelt. Auf Grund des Bauprinzips mit mehreren Rücklaufrohren wird erwartet, dass die Regenschirmerdwärmesonde einen geringeren Druckabfall zwischen Vor- und Rücklauf aufweist als herkömmliche Erdwärmesonden.

Geologische, hydrogeologische und geothermische Grundlagen

Wie aus unserem Bericht Nr. 20337 „Geologische Begleitung“ hervorgeht, liegen die vier Erdwärmesondenbohrungen im Bereich spät- bis nacheiszeitlicher Seeablagerungen, welche von geringmächtigen Thurschottern überlagert werden. Unterhalb dieser Abfolge liegt Grundmoräne, welche ihrerseits dem Molassefels aufliegt. Gesamthaft zeigt sich der folgende geologische Schichtaufbau:

A	Aufschüttung
B	Thurschotter
C	Seebodenlehm
D	Grundmoräne
E	Molassefels

Eine detaillierte Abklärung der Wärmeleitwerte und des hydrogeologischen Regimes in den Bohrungen konnte, bedingt durch das gewählte Bohrverfahren (Imlochhammerverfahren), nicht durchgeführt werden. Anhand der für die durchfahrenen Schichten üblichen Richtwerte kann jedoch ein Anhaltspunkt gegeben werden:

Die **Aufschüttung A** spielt mit ihrer geringen Mächtigkeit von nur gerade ~ 2 m eine untergeordnete Rolle und kann vernachlässigt werden. Die darunter folgenden **Thurschotter** (~ 2 bis 5 m u. T.) weisen eine gute Wasserwegsamkeit auf, die dazu führt, dass der Wärmehaushalt in diesem Bereich wesentlich durch die Temperatur des Grundwassers bestimmt wird. Die Wärmezu- und -abfuhr erfolgt somit in engem Zusammenhang mit dem Grundwassertransport; konduktiver Wärmetransport spielt nur eine untergeordnete Rolle.

Der unter den Thurschottern liegende **Seebodenlehm** (~ 5 bis 41 m u. T.) besitzt eine sehr geringe Durchlässigkeit und wirkt deswegen als Grundwasserstauer. Fliessendes Grundwasser ist in dieser Schicht auszuschliessen, es dominiert der konduktive Wärmetransport.

Die den Seebodenlehm unterlagernde **Grundmoräne** (~ 41 bis 50 m u. T.) wird aus tonig-sandigen Silten und siltigen Sanden mit Kies, Steinen und einzelnen Blöcken aufgebaut. Bedingt durch die Wechselhaftigkeit des Grundmoränenmaterials sind stark unterschiedliche Wasserwegsamkeiten zu erwarten. Es herrscht ein Milieu vor, in dem der Wärmetransport abschnittsweise wechselnd über das Grundwasser und durch die Konduktion erfolgt.

Unterhalb des Seebodenlehms verlaufen die Bohrlöcher bis zu ihrer Sohle im **Molassefels** (~ 50 bis 250 m u. T.). Dieser überträgt die Wärme - mit Ausnahme der wasser-durchlässigen, sporadisch eingelagert auftretenden Nagelfluhschichten - konduktiv.

Ausgeführte Messanordnung

Zur Ermittlung der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Sonden wurden computergepaarte Thermistoren (PT 100) eingebaut (Beilage 4). Zusammen mit den vier in den Sondenvorläufen eingebrachten Flügelradzählern, die mit Impulsgebern gekoppelt den Durchfluss durch die 4 Sonden überwachen, ermöglichen sie die individuelle Berechnung von Energie und Leistung für jede einzelne Sonde. Die Leistung der Wärmepumpe wird nach dem gleichen Prinzip mit je einem Durchflussmesser und einem Temperaturfühler im Verdampfer- und im Kondensatorkreislauf der Wärmepumpe erfasst. Zur Berechnung der Leistungsziffer der Anlage JAZ (Jahresarbeitszahl) wird die Stromzufuhr zur Umwälzpumpe und zur Wärmepumpe gemessen.

Jeweils eine Erdwärmesonde der beiden eingebauten Typen wurde mit Temperaturfühlern zur Messung des Temperaturverlaufes in der Tiefe des Bohrloches bestückt. Diese befinden sich bei der Regenschirmerdwärmesonde EWS 4 in 250, 197, 117, 100 und 50 m Tiefe, bei der Duplex-Erdwärmesonde EWS 2 in Tiefen von 192, 117, 100 und 50 m u. T.

2.2 Ausgeführte Arbeiten

Die letzte, vom 2. November 2002 bis zum 23. Mai 2002 dauernde Messperiode, wurde von einem totalen Loggerausfall, welcher im Zeitraum um Weihnachten 2001 erfolgte, überschattet. Durch eine noch unbekannte Ursache gelangte Flüssigkeit in das Loggergehäuse, was den totalen Ausfall des Messsystems zur Folge hatte. Nachdem Anfangs Februar 2002 ein dem ursprünglich eingesetzten Logger baugleiches Gerät erworben werden konnte, wurde die Messkampagne am 13. Februar 2002 wieder aufgenommen.

Die Auswertung der vorangegangenen Berichterstattungsperioden hatte gezeigt, dass insbesondere der proportionale Durchfluss durch die Erdwärmesonden über die Vergleichbarkeit der Sondenleistungen bestimmt. Aus diesem Grunde wurde am 25. Januar 2001 eine erste Einregelung der Durchflussmengen vorgenommen, welche die annähernde Abgleichung des Durchflusses in den Sonden EWS 1 und 3 zur Folge hatte. Mit einer nochmaligen Einregelung der Anlage am 05. April 2002 sollte gewährleistet werden, dass auch die Sonden EWS 2 und EWS 4 den gleichen Durchfluss erhalten würden, wie die bereits eingeregelter Sonden EWS 3 und 1. Wegen des aus der zweiten Einregelung erfolgenden unstabilen Betriebszustandes des Gesamtsystems musste der Versuch aber nach kurzer Zeit abgebrochen und die Durchflussmengen auf den Betriebszustand vom 25. Januar 2001 zurückgestellt werden.

Die seit dem 09. Januar 2001 laufenden Messungen der Stromzufuhr zur Wärmepumpe wurden weitergeführt und erlauben die Ermittlung der Jahresarbeitszahl JAZ.

Die dem hier vorliegenden Schlussbericht zu Grunde liegende Datenbasis lässt sich in drei Perioden unterteilen:

1. Periode: 17.10.2000 bis 25.01.2001
(ungeregelte Durchflüsse, keine Messungen durch E-Zähler)

2. Periode: 26.01.2001 bis 02.11.2001

(geregelte Durchflüsse, Messungen durch E-Zähler vorhanden)

3. Periode:

13.02.02 bis 23.05.02

(geregelte Durchflüsse, Messungen durch E-Zähler vorhanden)

Die Sampling-Rate lag in allen drei Perioden bei jeweils einer Messung je Grösse und 45 Minuten.

3. AUSWERTUNG DER MESSUNGEN

3.1 Jahrestemperaturverlauf

Mit Ausnahme des in der zweiten Periode ausgefallenen Thermistors der Sonde EWS 4 in 117 m Tiefe und des nunmehr nach Weihnachten 2001 ausgefallenen Temperatur-sensors der EWS 2 in 192 m Tiefe, arbeiteten alle Sensoren einwandfrei. Der im vorigen Abschnitt geschilderte Ausfall des Loggers führte aber zu einer Datenlücke vom 02. November 2001 bis am 13. Februar 2002.

Die Glättung der Rohdaten erfolgte mit dem gleitenden Durchschnitt. Die errechneten Kurven sind in den Beilagen 1 und 2 dokumentiert und umfassen, mit Unterbrüchen, alle drei Perioden.

Durch den vorhandenen Datensatz der verbliebenen Thermistoren wurde der Einfluss des Wärmeentzuges der 4 Erdwärmesonden im Winter 2000 und im Winter 2001 auf den Untergrund, wenn auch nicht lückenlos, so doch eindrücklich demonstriert. Der Beginn der Heizperioden 2000 und 2001 widerspiegelt sich jeweils in einer deutlichen Absenkung der Temperaturen in allen Tiefenbereichen, was vor allem in EWS 4 deutlich zum Vorschein kommt. Im Verlaufe des Frühlings erholen sich die Temperaturen des Untergrundes. Der Temperaturanstieg erfolgt im Frühling 2001 eher sprunghaft, spät im April und im Jahr 2002 kontinuierlich und linear.

Im Hochwinter (Januar) des Jahres 2001 ist gegenüber dem Jahreshöchst im August / September 2000 in beiden Bohrungen jeweils eine Temperatursenkung von durchschnittlich annähernd 5°C zu verzeichnen. Im Hochwinter des Jahres 2002 ist die Temperaturabsenkung etwas sanfter und weist in den beiden untersuchten Bohrungen EWS 2 und EWS 4 gegenüber dem Jahreshöchst 2001 lediglich eine Temperaturdifferenz von durchschnittlich 3,5°C auf.

Nach der ersten Erholungsphase im April 2001, in der in den beiden Bohrungen EWS 2 und EWS 4 gegenüber dem Jahrestiefst 2001 ein allgemeiner Temperaturanstieg im

Bereiche von rund 3°C, im Falle des Messfühlers EWS 4, 250 m sogar von rund 4,5°C zu verzeichnen ist, fällt die Temperatur in allen Tiefen nochmals in einem Zwischetief ab und erreicht im August / September 2001 die Höchstwerte des Jahres 2001. Die Höchstwerte des Jahres 2002 sind nicht mehr dokumentiert und werden wohl wiederum im Verlaufe der Monate August/September dieses Jahres erreicht werden.

Insgesamt liegen die Jahreshöchsttemperaturen im August/September 2001 in beiden Bohrungen etwas tiefer als diejenigen im August/September 2000. Die in dieser Zeitspanne registrierte Temperaturdifferenz beträgt in EWS 2 durchschnittlich rund -0,5°C und in EWS 4 durchschnittlich rund -1°C.

Vergleicht man die Temperaturdifferenzen zwischen den Jahreshöchstwerten 2000 und 2001 in den beiden Messniveaux 100 und 50 m u.T., welche als einzige in beiden Bohrlöchern die gleiche Tiefe aufweisen, so stellt man fest, dass die Jahreshöchsttemperatur 2001 (August/September) in EWS 2 gegenüber dem Vorjahr (August/September) 2000 um durchschnittlich rund -0,25°C und in EWS 4 um durchschnittlich rund -1,25°C abgenommen hat.

Die stärkste Temperaturabsenkung zwischen den Jahreshöchstwerten 2000 und 2001 war in EWS 2 in 192 m Tiefe (und in EWS 4 in 100 m Tiefe mit jeweils rund -1,8°C) zu verzeichnen. Die Temperatur in EWS 4, 250 m erholte sich trotz des grossen Temperaturabfalles in der Periode von August 2000 bis Januar 2001 (rund -6,5°C) und schloss im August 2001 bei einer Differenz von lediglich rund -1°C im Vergleich zum Vorjahr ab.

Vergleicht man die Temperaturen des Februartiefs (in den beiden Jahren 2000 und 2001 erfasstes Temperaturtief), so stellt man fest, dass in diesem lokalen Tief in beiden Jahren praktisch dieselben Temperaturen registriert wurden. Abweichungen finden sich in EWS 4, wo in 117 m Tiefe ein Temperaturanstieg von 0,3°C und in 192 m Tiefe eine Differenz von 0,9°C nachgewiesen wurden.

In beiden vermessenen Bohrlöchern wird im Verlaufe der Heizsaison 2000 eine geringfügige Verschiebung in der Abfolge der Temperaturkurven beobachtet. In EWS 2 schiebt sich die 50 m Kurve im Frühling 2001 zeitweilig über diejenige der 100 m Kur-

ve. Der Verschiebungsvorgang verhält sich aber nach der Heizsaison 2001 reversibel, der dem geothermischen Gradienten entsprechende Ausgangszustand stellt sich ein und bleibt auch im folgenden Frühling 2002 erhalten.

In EWS 4 schiebt sich die 50 m Kurve im Winter 2001, unter Annäherung an die 100 m Kurve gar über die 197 m Kurve. Im Winter/Frühling 2002 verlagert sich zudem die 100 m Kurve ebenfalls gegen oben und liegt zu Ende der Heizsaison im März 2002 gar über der 250 m Kurve.

Betrachtet man die Entwicklung der Geothermalen Gradienten (Beilagen 5a, 5b, 6a, 6b), so fällt auf, dass es im Verlaufe der Messperiode in beiden vermessenen Bohrlöchern (EWS 2 und EWS 4) zu einer deutlichen Auskühlung des Niveaux zwischen 192 und 197 m kommt.

Betrachtet man die Standardabweichungen der ungeglätteten Daten, fällt auf, dass die Kurven des Sensors 192 m in EWS 2 und des Sensors 250 m in EWS 4 am stärksten variieren und deutlich grössere Amplituden in den überlagerten Schwingungen aufweisen als die restlichen Kurven:

EWS 2, 192 m (18.09.99 bis 02.11.02, danach Ausfall):	$\sigma = 1.40$
EWS 4, 250 m (28.09.99 bis 23.05.02) :	$\sigma = 2.25$
Durchschnitt restliche Kurven (28.09.99 bis 23.05.02):	$\sigma = 1.31$

Der Durchschnitt der Standardabweichungen der restlichen Kurven ist im Verlaufe der Messkampagne gestiegen. Während er am 02.11.2001 noch 0,99 betrug, liegt er nun bei 1,31.

3.2 Tagestemperaturverlauf

Typische Tagesverläufe von Temperaturen der verschiedenen Tiefenlagen wurden miteinander verglichen und der jeweils umgewälzten Wärmetauscherflüssigkeit gegenüber gestellt (Beilagen 7 und 8 Herbst/Winterbetrieb, Beilagen 9 und 10 Sommerbetrieb). Dabei fällt vor allem der inverse Verlauf der beiden Messgrössen auf. Wird die Pumpe eingeschaltet und steigt dadurch bedingt der Durchfluss, sinkt die Temperatur.

Eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Bewegungen ist praktisch nicht vorhanden, die Reaktion der Temperatur erfolgt sofort.

Die Auslenkungen der Temperaturverläufe in den unterschiedlichen Tiefenbereichen unterscheiden sich zum Teil stark – ein Phänomen, das auch durch die im oberen Abschnitt erwähnten unterschiedlichen Standardabweichungen belegt werden kann. Es sind die Messfühler EWS 4, 250 m und EWS 2, 192 m, welche die grössten Temperaturschwankungen aufweisen.

Der Tagesverlauf des Sommerbetriebes unterscheidet sich bedingt durch die Anzahl Aus- und Einschaltungen der Erdwärmesondenpumpe vom Tagesverlauf im Herbst- / Winterbetrieb: Im beobachteten Abschnitt des Winterbetriebes erfolgten rund doppelt so viele Einschaltungen (9) wie im Sommerbetrieb (4). Durch die grössere Häufigkeit der Einschaltungen im Winterbetrieb resultiert eine geringere Wellenlänge bei den Temperaturverläufen dieser Periode. Zudem sind die Amplituden der Temperaturschwankungen im Winterbetrieb im allgemeinen grösser als im Sommerbetrieb. Eine Ausnahme besteht lediglich in den Temperaturwerten von EWS 2, 192 m, die im Sommer stärker schwankten als im Winter. Die umgewälzte Menge pro Pumpeneinsatz erreichte im Winterbetrieb geringere Werte (ca. 37 Hektoliter/h) als im Sommer (ca. 50 Hektoliter/h) und schwankte weniger als im Sommer – ein Phänomen, das auf die höhere Medienviskosität der Wärmetauscherflüssigkeit bei tieferen Temperaturen im Winter zurückzuführen ist.

Der hauptsächliche Unterschied zwischen den Kurven in EWS 2 und EWS 4 besteht in der relativen Lage zueinander. Die Kurven von EWS 4 liegen im allgemeinen in einem breiteren „Temperaturband“ (Sommer und Winter ca. 5 °) als die Hauptschar der Kurven in EWS 2 (Sommer und Winter ca. 3°). Eine Ausnahme in dieser Betrachtung ist der Wintertagesgang der Kurve EWS 2, 192 m, der in einem breiteren „Temperaturband“ verläuft.

3.3 Statistische Auswertung der Volumenstrom-, Temperatur- und Leistungsdaten in dimensionslosen Korrelationsdiagrammen

3.3.1 Methodik

Eine einfache Methode zur Auswertung umfangreicher Datensätze ist die Gegenüberstellung von Messdaten in dimensionslosen Korrelationsdiagrammen. Diese stellen die Messwerte zweier Messreihen oder die daraus abgeleiteten Berechnungen auf der X- und Y-Achse des Karthesischen Koordinatensystems gegenüber und erlauben es, generelle Abhängigkeiten der dargestellten Faktoren zu erkennen. Im Falle linearer Abhängigkeit ergibt sich so eine Punktwolke entlang einer Geraden, die eine mehr oder minder grosse Streuung aufweist. Durch das Einlegen der Regressionsgeraden, berechnet mit der Methode der kleinsten Quadrate, lässt sich die Punktwolke mit der Geradengleichung approximieren und deren Steigung ermitteln. Als Verhältniszahl gibt die Steigung Auskunft über die Dominanz von X- oder Y-Achse. Eine Gerade mit Steigung 1 deutet hierbei auf zwei gleich dominante Faktoren hin, wohingegen eine Gerade mit Steigung > 1 auf die Dominanz des Faktors auf der Y-Achse und Geraden mit Steigungen < 1 auf die Dominanz des Faktors auf der X-Achse hinweisen.

Die mit dieser Methode zu untersuchenden Faktoren werden anhand der Gleichung zur Berechnung der Leistung einer Erdwärmesonde bestimmt:

$$\text{Gl. 1} \quad Q' = \Delta T \times V' \times c_p \times \rho$$

Wobei	Q'	=	Leistung der Erdwärmesonde
	ΔT	=	Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Erdwärmesonde
	V'	=	umgewälztes Volumen im System
	c_p	=	Spezifische Wärmekapazität
	ρ	=	Dichte der Wärmetauscherflüssigkeit

3.3.2 Datenanalyse

Da die Leistung des Systems - wie aus der Gleichung 1 hervorgeht - im wesentlichen von den zwei Faktoren Temperaturdifferenz und Umwälzmenge beeinflusst wird, stellen diese beiden Grössen, zusammen mit den Leistungswerten selbst, die zu untersuchenden Grössen dar. Die beiden Grössen c_p und ρ werden bei dieser Betrachtung als konstant angenommen.

Während im ersten Zwischenbericht im Rahmen eines Screenings alle verfügbaren Sondendaten verglichen wurden, hielt man sich im provisorischen Schlussbericht wegen der beinahe äquivalenten Durchflussmengen an die beiden Bohrungen EWS 1 und 3. Dies brachte zwar, durch die unterschiedliche Längen der Sonden bedingt, mit sich, dass die Werte auf die Länge normiert verglichen werden mussten, jedoch konnte man so zwei Sonden vergleichen, die einen nahezu gleichen Durchfluss aufweisen. Die so erfolgte Konstantsetzung des Faktors Durchflussmenge erlaubte eine vertiefte Untersuchung der Temperaturdifferenzen.

Im Rahmen eines Gesamtüberblickes sollen hier nochmals die wichtigsten Untersuchungsergebnisse der Berichterstattungsperioden 1 und 2 zusammenfassend gegenübergestellt werden.

Durchflussmengen

Im Gegensatz zum ersten Zwischenbericht Beilagen 17 bis 22 in welchem die Durchflussmenge der kurzen Erdwärmesonde EWS 3 auf die Länge der restlichen, 250 m langen Erdwärmesonden projiziert wurden, verzichtete man im provisorischen Schlussbericht Beilage 29 auf dieses Vorgehen.

Die beiden folgenden Tabellen geben einen Überblick über die Versuchsergebnisse der beiden Berichterstattungsperioden:

Erdwärmesonden	Typ	Steigung	Dominant ist
EWS 4 / EWS 2	Regenschirm - Duplex	0.66	Duplex (EWS 2)
EWS 4 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	0.45	Duplex (EWS 1)
EWS 2 / EWS 1	Duplex - Duplex	0.69	Duplex (EWS 1)
EWS 3 / EWS 2	Regenschirm - Duplex	1.85	Regenschirm (EWS 3)
EWS 3 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	1.27	Regenschirm (EWS 3)
EWS 3 / EWS 4	Regenschirm-Regenschirm	2.81	Regenschirm (EWS 3)

Tab. 1: Vergleich der Durchflussmengen, Ergebnisse des ersten Zwischenberichtes.

Messperiode	Erdwärmesonden	Typ	Steigung	Dominant ist
2. Messperiode	EWS 3 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	1.05	Regenschirm (EWS 3)

Tab. 2: Vergleich der Durchflussmengen, Ergebnisse des provisorischen Schlussberichtes .

Sowohl der Vergleich der projizierten Werte als auch der unprojizierten Werte deuten durch ihre Steigungen nahe 1 darauf hin, dass der Durchfluss der Erdwärmesonden EWS 1 und EWS 3 am besten korreliert. Die Berichterstattungsperiode des provisorischen Schlussberichtes umfasst den Zeitraum nach der Einregelung der Ventile, was die bessere Korrelation erklärt (Beilage 29).

Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Sonden

Sowohl im ersten Zwischenbericht Beilagen 23 bis 28, als auch im provisorischen Schlussbericht Beilage 31 wurde festgestellt, dass die Korrelation der Temperaturdifferenzen im Gegensatz zu den Korrelationen der Sondenleistung und der Durchflussmengen nur geringe Abweichungen von 1 aufweisen. Die nachfolgenden Tabellen illustrieren dies:

Erdwärmesonden	Typ	Steigung	Dominant ist
EWS 4 / EWS 2	Regenschirm - Duplex	1.30	Regenschirm (EWS 4)
EWS 4 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	0.94	Duplex (EWS 1)
EWS 2 / EWS 1	Duplex - Duplex	1.31	Duplex (EWS 2)
EWS 3 / EWS 2	Regenschirm - Duplex	1.32	Regenschirm (EWS 3)
EWS 3 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	0.93	Duplex (EWS 1)
EWS 3 / EWS 4	Regenschirm-Regenschirm	0.86	Regenschirm (EWS 4)

Tab. 3: Vergleich der Temperaturdifferenzen zwischen den Vor- und Rückläufen der überwachten Erdwärmesonden im ersten Zwischenbericht.

Messperiode	Erdwärmesonden	Typ	Steigung	Dominant ist
2. Messperiode	EWS 3 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	0,93	Regenschirm (EWS 3)

Tab. 4: Vergleich der Temperaturdifferenzen zwischen den Vor- und Rückläufen der überwachten Erdwärmesonden im provisorischen Schlussbericht.

Spezifische Leistung

Um eine möglichst allgemeine Aussage machen zu können, wurde die Leistung der einzelnen Bohrlöcher sowohl im ersten Zwischenbericht Beilagen 11 bis 16, als auch im provisorischen Schlussbericht Beilage 29 auf die Länge der Bohrlöcher normiert (vgl. Gl. 2).

Gl. 2	$q' = Q'/l$
Wobei	Q' = Leistung der Erdwärmesonde q' = Spezifische Leistung der Erdwärmesonde l = Länge der Erdwärmesonde

Die folgenden Tabellen geben einen zusammenfassenden Überblick über die Korrelationen der spezifischen Leistungen:

Erdwärmesonden	Typ	Steigung	Dominant ist
EWS 4 / EWS 2	Regenschirm - Duplex	1.18	Regenschirm (EWS 4)
EWS 4 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	0.57	Duplex (EWS 1)
EWS 2 / EWS 1	Duplex - Duplex	0.46	Duplex (EWS 1)
EWS 3 / EWS 2	Regenschirm - Duplex	2.35	Regenschirm (EWS 3)
EWS 3 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	1.11	Regenschirm (EWS 3)
EWS 3 / EWS 4	Regenschirm-Regenschirm	1.89	Regenschirm (EWS 3)

Tab. 5: Vergleich der spezifischen Leistungen der überwachten Erdwärmesonden.

Messperiode	Erdwärmesonden	Typ	Steigung	Dominant ist
2. Messperiode	EWS 3 / EWS 1	Regenschirm - Duplex	1.24	Regenschirm (EWS 3)

Tab. 6: Vergleich der spezifischen Leistungen der Erdwärmesonden EWS 3 und EWS 1.

Die in Tabelle 5 dargestellten Messergebnisse des ersten Zwischenberichtes zeigen beträchtliche Unterschiede in den Sondenleistungen innerhalb des gleichen Sonden-typs, aber auch eine leichte Dominanz der Regenschirmerdwärmesonde. Der Vergleich der Leistungen der beiden Erdwärmesonden EWS 3 (Regenschirm) und EWS 1 (Duplex) im Zeitraum nach der Einregelung der Durchflüsse bestätigt diese subtile Dominanz (Beilage 29).

3.4 Einregelungsversuch vom 5. April 2002

Aus der Erkenntnis, dass die Durchflussmenge einer Erdwärmesonde massgeblich deren Leistung mitbestimmt, wurde in der vergangenen Berichterstattungsperiode gefolgert, dass mit einem nochmaligen Einregelungsversuch zumindest alle diejenigen Erdwärmesonden in ihren Durchflüssen angeglichen werden sollten, welche die gleichen Tiefen aufweisen. Bislang wurden nur die Erdwärmesonden EWS 1 und 3 mit vergleichbaren Durchflussmengen beschickt.

Der online mit Hilfe eines Portable Computers durchgeführte Versuch ergab folgende Messergebnisse:

ERDWÄRMESONDE	EWS 1	EWS 2	EWS 3	EWS 4
Typ	Duplex	Duplex	Regenschirm	Regenschirm
Tiefe	250 m	250 m	230 m	250 m
Einstellung (4 = max.)	1,3	1,4	1,55	4,0
Durchflussimpuls/min.	3	3	5	3
Durchflussmenge/min.	31,4 l/min.	31,4 l/min.	52 l/min.	31,4 l/min.

Tab. 7: Betriebszustand der Anlage bei abgeglichenen Durchflussmengen.

Dazu im Vergleich die normalen Betriebseinstellung:

ERDWÄRMESONDE	EWS 1	EWS 2	EWS 3	EWS 4
Typ	Duplex	Duplex	Regenschirm	Regenschirm
Tiefe	250 m	250 m	230 m	250 m
Einstellung (4 = max.)	1,3	1,4	1,55	4,0
Durchflussimpuls/min.	5,7	5,4	4,6	2,7
Durchflussmenge/min.	59,28 l/min.	56,16 l/min.	47,84 l/min.	28,08 l/min.

Tab. 8: Betriebszustand der Anlage bei normalen Durchflussmengen.

Im eingeregelteten Betriebszustand trat insbesondere bei EWS 1 ein starkes Rauschen auf, was auf den geringen Durchfluss in diesem Anlageteil hindeutete. Während die Anlage im normalen Betriebszustand von 191,36 l Sole pro Minute durchströmt wird, wurden bei dem eingeregelteten und reduzierten Betriebszustand lediglich 146,2l pro Minute umgewälzt, was 76% der normalen Durchflussmenge entspricht. Um eindeutige Resultate erzielen zu können, hätte man die Anlage mindestens einen Monat in diesem Betriebszustand belassen müssen, da dafür die Einstellung eines thermischen Gleichgewichtszustandes in der Umgebung der Bohrungen erreicht werden muss. Angesichts der Befürchtung, dass die Versuchseinstellung den Betrieb der Wärmepumpe gefährden könnte, dass die Wärmeausbeute der Anlage mittelfristig eingeschränkt würde und durch die Reduktion der umgewälzten Betriebsmittelmenge nichtrelevante Versuchsaussagen hervorgehen würden, entschied man sich den Versuch ab-zubrechen.

3.5 Berechnung der Jahresarbeitszahl JAZ

Masszahl für den Wirkungsgrad einer Wärmepumpe ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie berechnet sich aus dem Verhältnis der effektiv genutzten Warmwasserenergie zur eingesetzten elektrischen Energie nach den folgenden Formeln:

Gl. 3

$$JAZ = Q_{WP} / W_{EL}$$

wobei

Q_{WP} = abgegebene Heizenergie (J)

E_{EL} = Antriebsenergie elektrisch (J)

Gl. 4

$$Q'_{WP} = V' \times \Delta T \times c_p \times \rho$$

wobei

V' = Durchsatzvolumen (m³)

ΔT = Differenz Vor-/Rücklauf Kondensator (K)

c_p = Wärmekapazität des Mediums (J/kgxK)

ρ = Dichte des Mediums (kg/m³)

Die Erfassung der Jahresarbeitszahl begann mit der Reparatur des Elektrozählers am 09. Februar 2001 und wurde durch den Totalausfall des Datenloggers zum Jahresende 2001 unterbrochen. Die Messreihe lässt sich somit in zwei Perioden unterteilen:

Periode 1: 09. Februar 2001 bis 02. November 2001

Periode 2: 13. Februar 2002 bis 23. Mai 2002

Die Jahresarbeitszahl betrug in der ersten Periode (10 Monate) 3,31 und erhöhte sich in der zweiten Periode (3 Monate) auf 3,81.

4. INTERPRETATION DER MESSUNGEN

4.1 Temperaturverlauf

Die im provisorischen Schlussreport vemerkte Verschiebung der gemittelten Temperaturkurven in EWS 4 (Beilage 6) hat sich seit Februar 2002 in verstärkter Form fortgesetzt und zeigt eine Erwärmung der höhergelegenen, respektive eine Auskühlung der tiefergelegenen Schichten dieser Bohrung an. Der Effekt ist in den Temperaturkurven der EWS 2 (Beilage 5) in schwächerer Form ebenfalls zu erkennen. Das Phänomen wird auf den Wärmetransport aus der Tiefe zurückgeführt. Dieser führt dazu, dass tiefergelegene Schichten auskühlen und höhere Schichten durch die Abwärme der Bohrung erwärmt werden.

In beiden vermessenen Bohrungen, EWS 4 und EWS 2 (Beilage 5 und 6), wurde eine jeweilige Temperaturdifferenz zwischen den beiden durchschnittlichen Jahreshöchstwerten August /September 2000 und August/September 2001 festgestellt, welche im Falle der EWS 4 durchschnittlich rund -1°C und im Falle der EWS 2 durchschnittlich rund $-0,5^{\circ}\text{C}$ betrug und auf eine leichte Absenkung der Umgebungstemperatur der Bohrungen in diesem Zeitraum hindeutet. Die stärkere Auskühlung in EWS 4 ist umso erstaunlicher, als man festgestellt hat, dass der Durchfluss in EWS 4 von allen Bohrlöchern in der Regel der kleinste ist. Das Phänomen kann mit einem schlechteren Wärmefluss aus der Umgebung oder aber mit einem besseren Wärmeabtransport durch die dortige Regenschirmerdwärmesonde erklärt werden.

Die jeweils um den 20. Februar in den Jahren 2001 und 2002 auftauchenden lokalen Tiefs (Beilage 5 und 6), welche im Report Februartiefs genannt werden, weisen in kaum einem Tiefenbereich grössere Temperaturdifferenzen auf und deuten darauf hin, dass nach der bisherigen leichten Auskühlung des Bodens nunmehr ein Stabilitätszustand bevorstehen könnte. Wann sich dieser thermische Stabilitätszustand definitiv einstellen wird ist derzeit aber noch nicht definitiv absehbar.

Die Betrachtung der Temperaturgradienten im Verlaufe der gesamte Messperiode (Beilagen 5a, 5b, 6a, 6b) zeigt eine Auskühlung der tiefergelegenen Schichten, speziell der Schichten zwischen 192 und 197 m Tiefe an. Das Phänomen wird primär auf den Wärmeentzug durch die Sonden zurückgeführt. Die stärkere Auskühlung des Tiefenniveaus um 190 m kann unter Umständen durch einen schwachen Wärmezufluss, bedingt durch eine gehemmte Grundwasserzirkulation in verfestigten Lagen des Molassefelsens hervorgerufen worden sein.

Im Tagestemperaturverlauf ist eine unmittelbare Reaktion Temperatur der nahen Umgebung des Bohrloches zu beobachten. Absenkungen und Temperaturanstiege erfolgen praktisch gleichzeitig mit dem Einschalten der Pumpe.

4.2 Statistische Auswertung der Temperatur-, Volumenstrom- und Leistungsdaten

Beruhend auf der Beobachtung des ähnlichen Verhaltens der Temperatur- und Leistungsdaten folgte der erste Zwischenbericht, dass vor allem der Durchfluss die Sondenleistungen in dieser Periode beeinflussten. Aufgrund der Zweischarigkeit in einer Leistungs- und einer Durchflusskurve, welche durch eine Neueinregelung der Anlage im Oktober 1999 hervorgerufen wurde Beilagen 32 und 33, konnte die Wichtigkeit dieses Zusammenhanges für die Leistung der Sonde klar dokumentiert werden. Die im Abschnitt 3.2, Spezifische Leistungen, Tabelle 5 dokumentierten Unterschiede zwischen den Leistungen von Sonden gleichen Typs sind mit grosser Sicherheit auf die unterschiedlichen Durchflusswerte in der ersten und zweiten Periode zurückzuführen.

Die Korrelation der spezifischen Leistung selbst fiel im provisorischen Schlussbericht mit 0,24 Abweichung von 1 zu Gunsten der Regenschirmerdwärmesonde EWS 3 aus und bestätigte damit das ebenso knappe Resultat zu Gunsten dieses Sondentyps im ersten Zwischenbericht.

Durch die am 25. Januar 2001 erfolgte Einregelung der Erdwärmesonden EWS 1 und 3 auf einen gleichmässigen Durchfluss, deren Erfolg durch den Korrelationswert von 1,05 belegt ist. So erreichte man die Fixierung des Parameters Durchfluss und konnte

eine bessere Aussagekraft über den Einfluss des Parameters Temperaturdifferenz auf die spezifische Leistung der Sonde erlangen. Der Parameter Temperaturdifferenz ist insbesondere deswegen von besonderer Wichtigkeit, weil das Konstruktionsprinzip der Regenschirmerdwärmesonde unter anderem darauf beruht, durch thermische Isolierung des Vor- und Rücklaufes der Sonde den thermischen Kurzschluss zu vermeiden.

Die Korrelation der Temperaturdifferenzen beider Sondentypen pendelte in beiden Berichterstattungsperioden stets um 1 und hat sich auch nach der Einregulierung der Durchläufe nicht gross geändert.

Die beobachtete Clusterwolke der Temperaturdifferenz wies sowohl in den beiden Berichterstattungsphasen des ersten Zwischenberichtes, als auch in der Periode des provisorischen Schlussberichtes eine grosse Streuung auf. Das Phänomen wurde als Ungenauigkeit in der Temperaturerfassung oder als Instabilität im System interpretiert.

4.3 Einregelungsversuch vom 5. April 2002

Der Versuch zur Einregelung der Durchflüsse aller gleich tiefen Erdwärmesonden diente dazu eine noch bessere Vergleichbarkeit der Sondenleistungen zu erzielen. Dies wäre insbesondere deswegen wünschenswert gewesen, weil damit die EWS 4, welche die gleiche Länge aufweist wie die Duplexsonden mit dem gleichen Durchfluss beschickt worden wäre und eine perfekte Vergleichbarkeit zwischen Duplex- (EWS 1 und EWS 2) und Regenschirmerdwärmesonden (EWS 4) erreicht worden wäre. Aus den im Kapitel 3 Messergebnisse geschilderten Gründen (zu geringer Gesamtdurchfluss in den Sonden, Gefährdung der Anlage und schlechte Messergebnisse, bedingt durch geringe Sondendurchflüsse) musste der Versuch abgebrochen werden.

4.3 Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl fiel in der Periode des provisorischen Zwischenberichtes mit mit 3,31 eher knapp aus. Als Gründe für das erzielte Resultat wurden die relativ hohen Vorlauftemperaturen des Kondesators, sowie die häufigen Ein- und Ausschaltungen der Anlage genannt. Die in der Periode nach dem 13. Februar 2002 bis zum 23. Mai 2002 registrierte Jahresarbeitszahl fällt mit 3,81 wesentlich besser aus. Das bessere Resultat dürfte vor allem die Folge längerer Einschaltphasen in der erfassten Heizperiode sein.

5. FAZIT

- Die allgemeine Absenkung der Temperaturen in den Bohrlöchern weist darauf hin, dass die Erdwärmesondenanlage an ihrer thermischen Kapazitätsgrenze läuft. Die annähernd gleichen Temperaturen in den Februartiefs der Jahre 2001 und 2002 weisen möglicherweise auf einen bevorstehenden Gleichgewichtszustand hin.
- Die durchgeführte Versuchsreihe widerspiegelt klar einen Feldversuch, der von Nebenfaktoren beeinflusst wird. Da es nicht gelang vollständig vergleichbare Versuchsbedingungen in den beiden untersuchten Sondentypen herzustellen (insbesondere Durchflussmenge und Tiefe), kann die beobachtete schwache Dominanz der Regenschirmerdwärmesonde in der Leistung lediglich als qualitatives Indiz, nicht aber als Beweis für deren thermische Überlegenheit dienen. Um den definitiven Beweis einer allfälligen Überlegenheit des einen oder anderen Sondentyps zu erbringen, müsste eine Versuchsanordnung geschaffen werden, in welcher die beiden Sondentypen in gleich tiefen Bohrlöchern, gleicher Geologie eine zentral platzierte Wärmepumpe versorgen, woraus gleiche Wegstrecken, gleiche Druckabfälle, gleiche Durchflussmengen und ein gleiches Temperaturmilieu resultieren würden. Die perfekte Erfüllung dieser Bedingungen ist nur im Laborversuch möglich.
- Der Erhöhung der Jahresarbeitszahl von 3,31 in der Periode 2 auf 3,81 in der Periode 3 ist möglicherweise auf die längeren Einschaltphasen im letzteren Zeitabschnitt zurückzuführen. Dieser wird grossteils von der Heizperiode bestimmt.

NEK UMWELTTECHNIK AG

R. Eichenberger

Dr. Ch. Kapp

St. Gallen, 14. Juni 2002 Eb/Kp/re

J:\20358 Neubau CAS, Wattwil, Schweiz\Berichte\PdF Dokument\20358 Schlussbericht (2).doc

20337: Neubau CAS, Wattwil

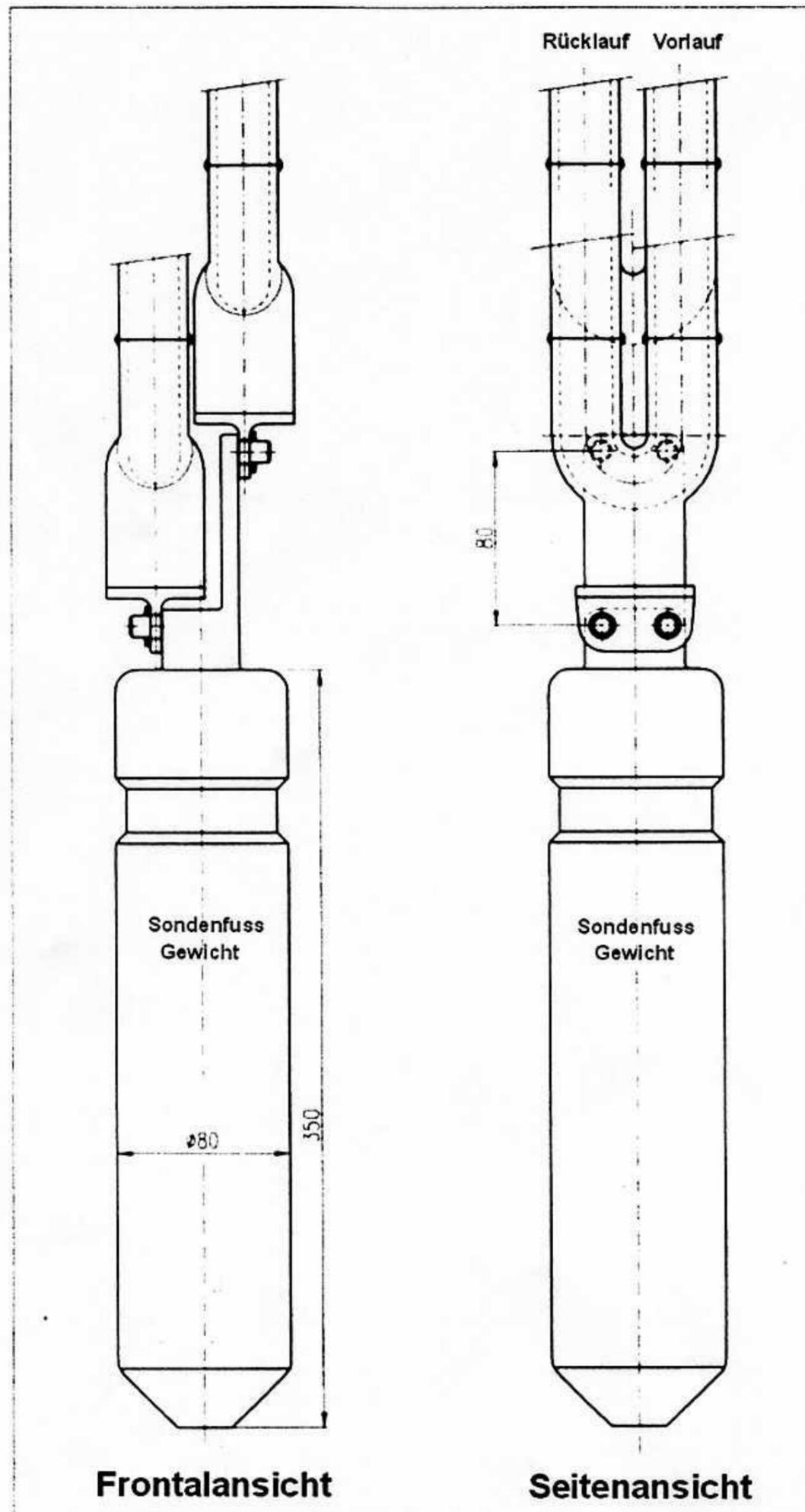
Beilage 1

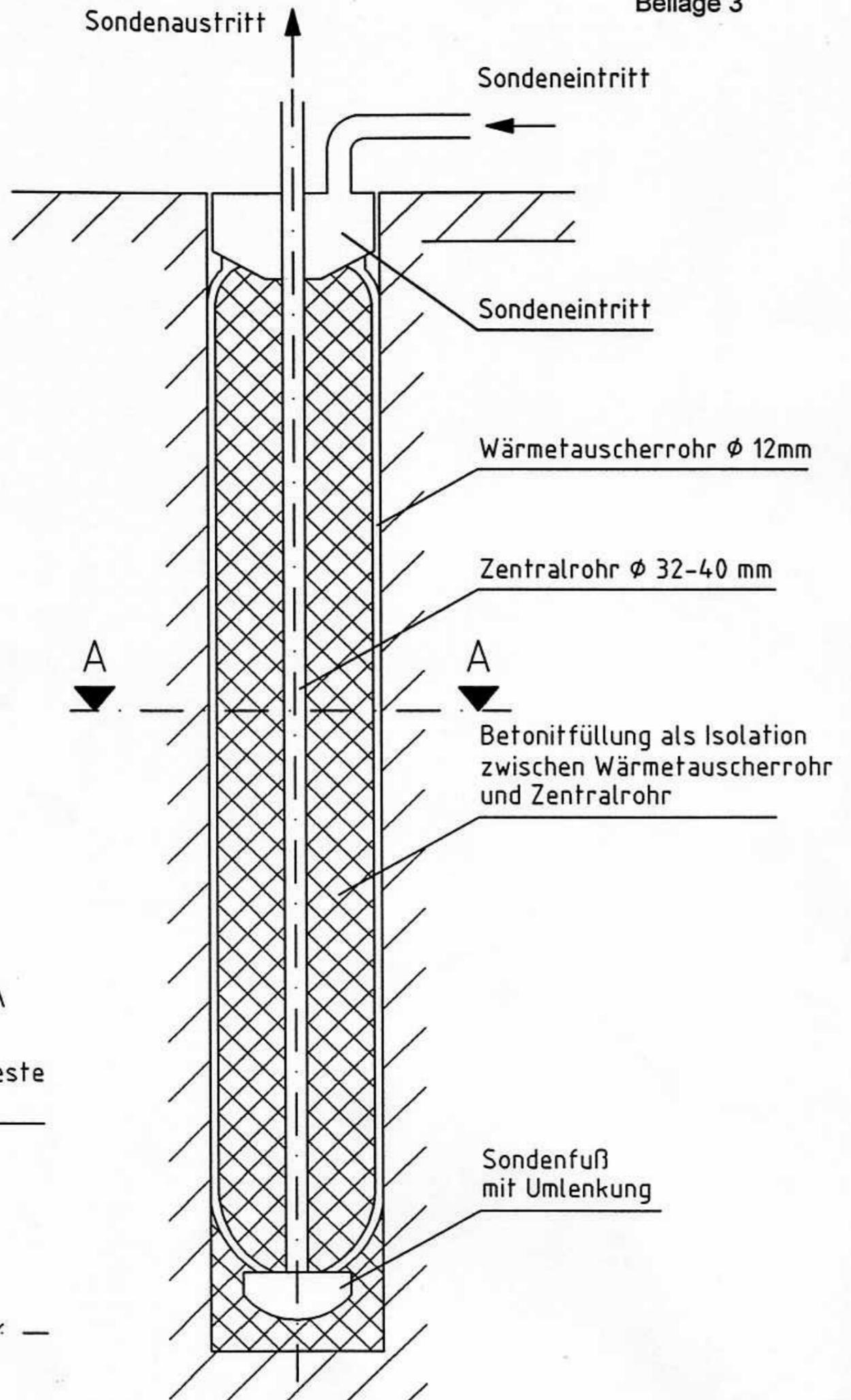
Ausschnitt topografische Landeskarte Mst. 1 : 25'000

Gebäudestandort (X)



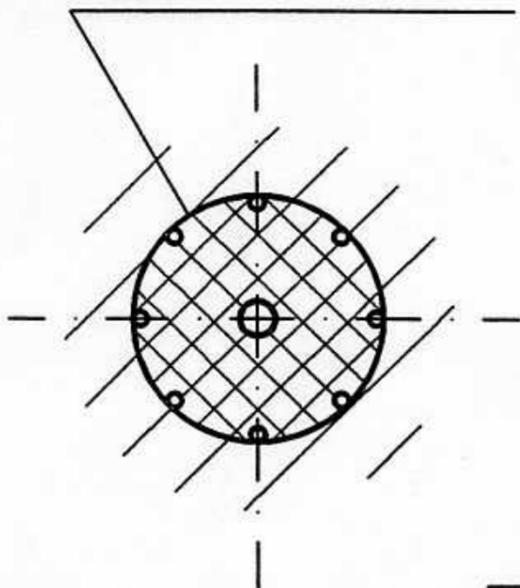
Doppel-U-Erdwärmesonde





SCHNITT A-A

wärmeleitende, reißfeste Kunststoffolie



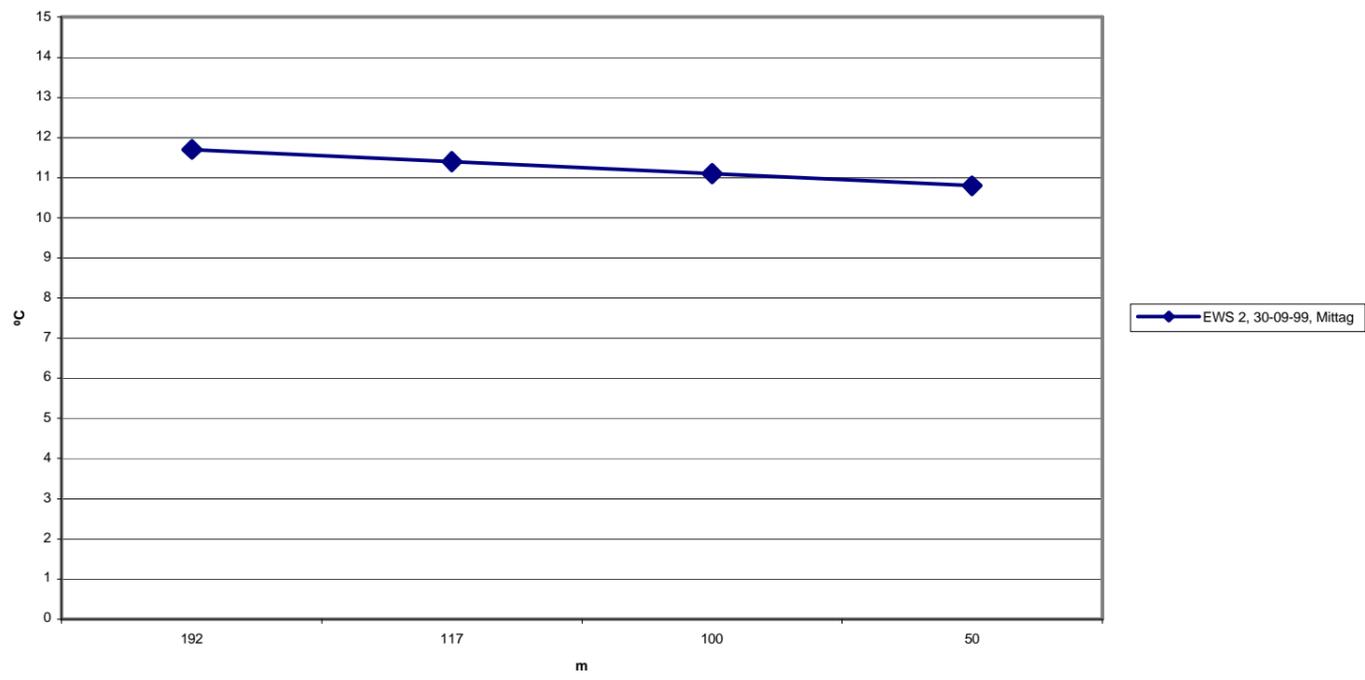
NEK
Umwelttechnik AG
Helvetiastrasse 41 TEL 071 244 07 44
A-9000 St. Gallen FAX 071 244 88 16

Bauvorhaben Auftr.-Nr.
CAS Building, Wattwil 20358

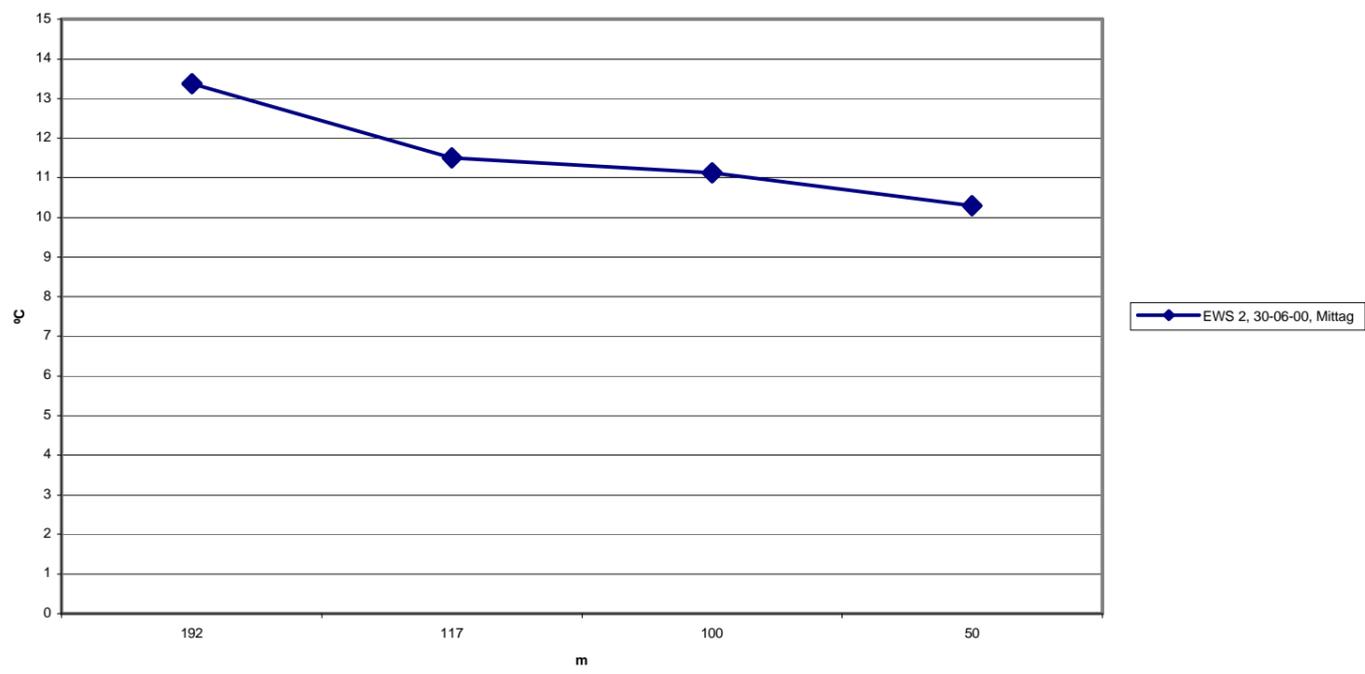
Regenschirmerdwärmesonde

Dat.	21.12.2000
Gez.	He
Mst.	%
Form.	DIN A4
Datei	wattwil.DWG
Rev.	

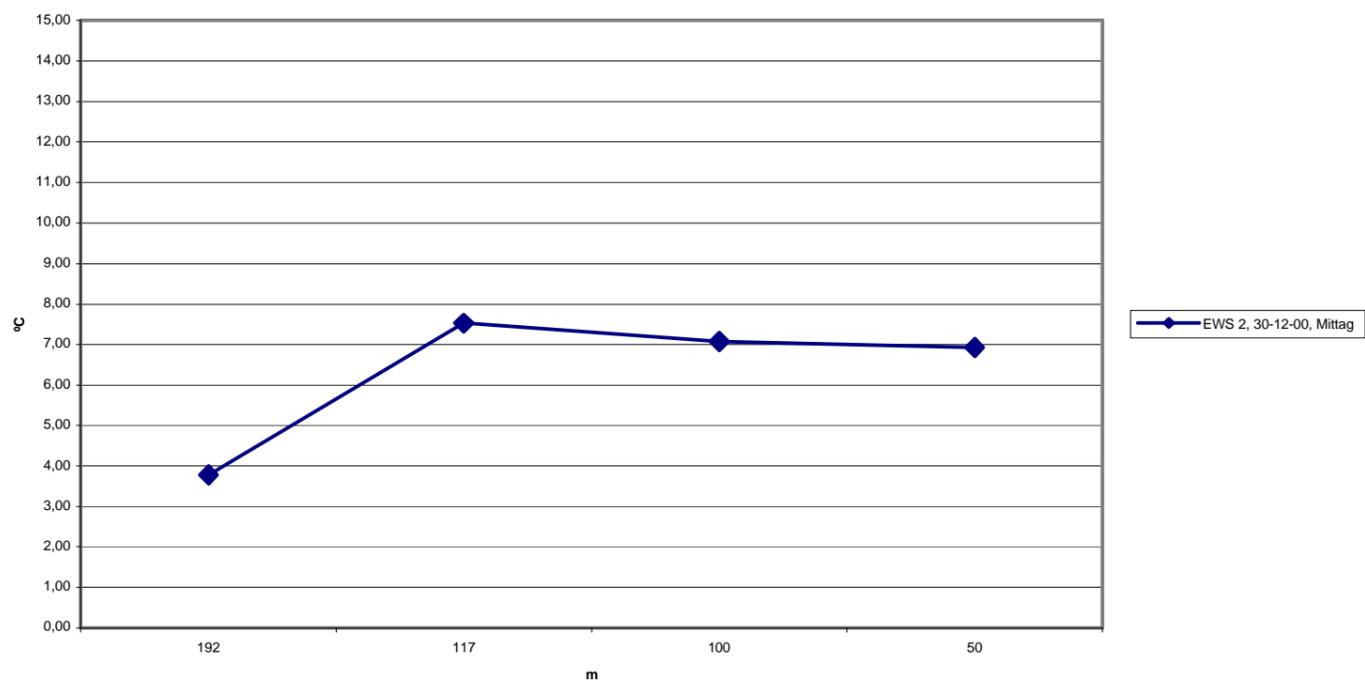
EWS 2, 30-09-99, Mittag



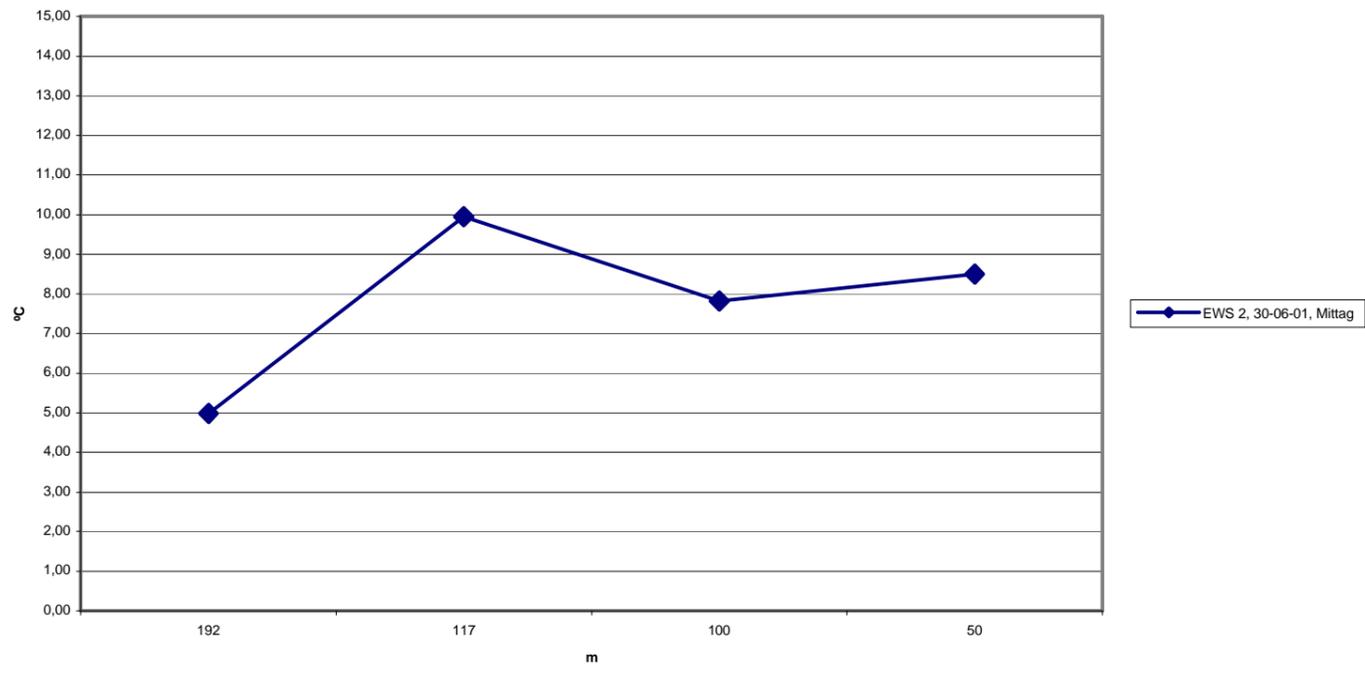
EWS 2, 30-06-00, Mittag



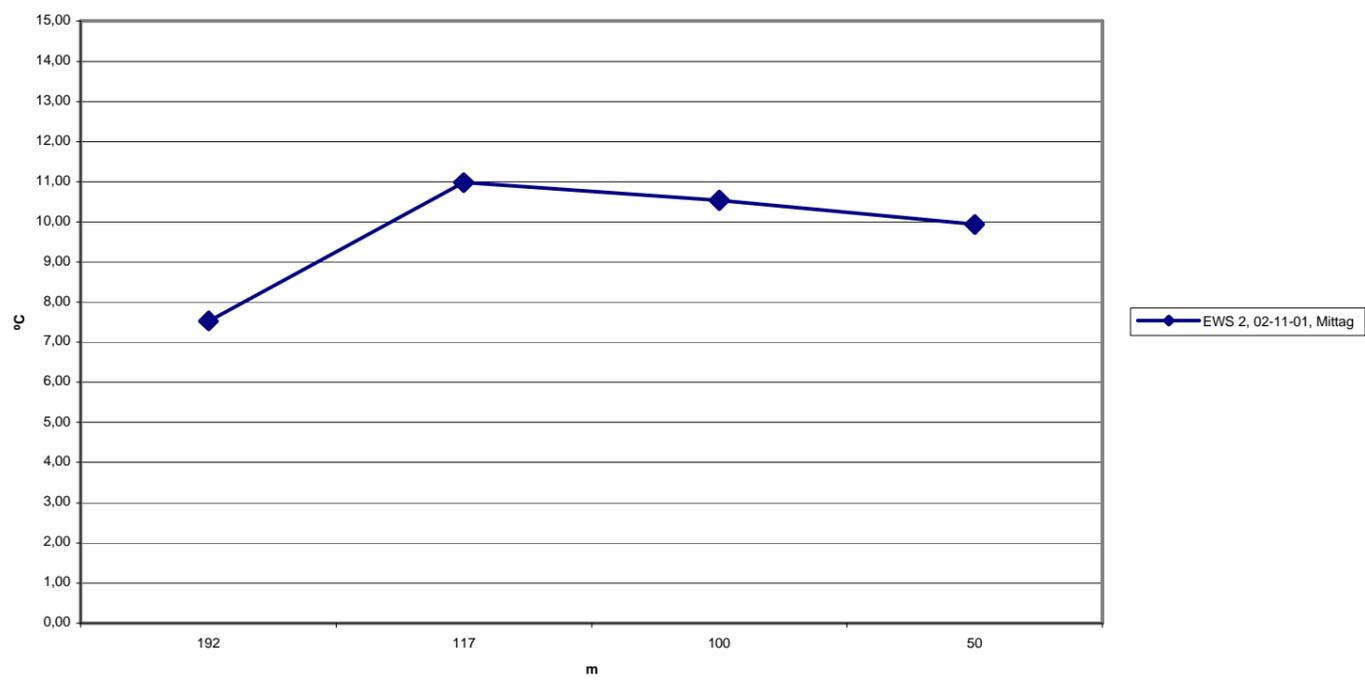
EWS 2, 30-12-00, Mittag



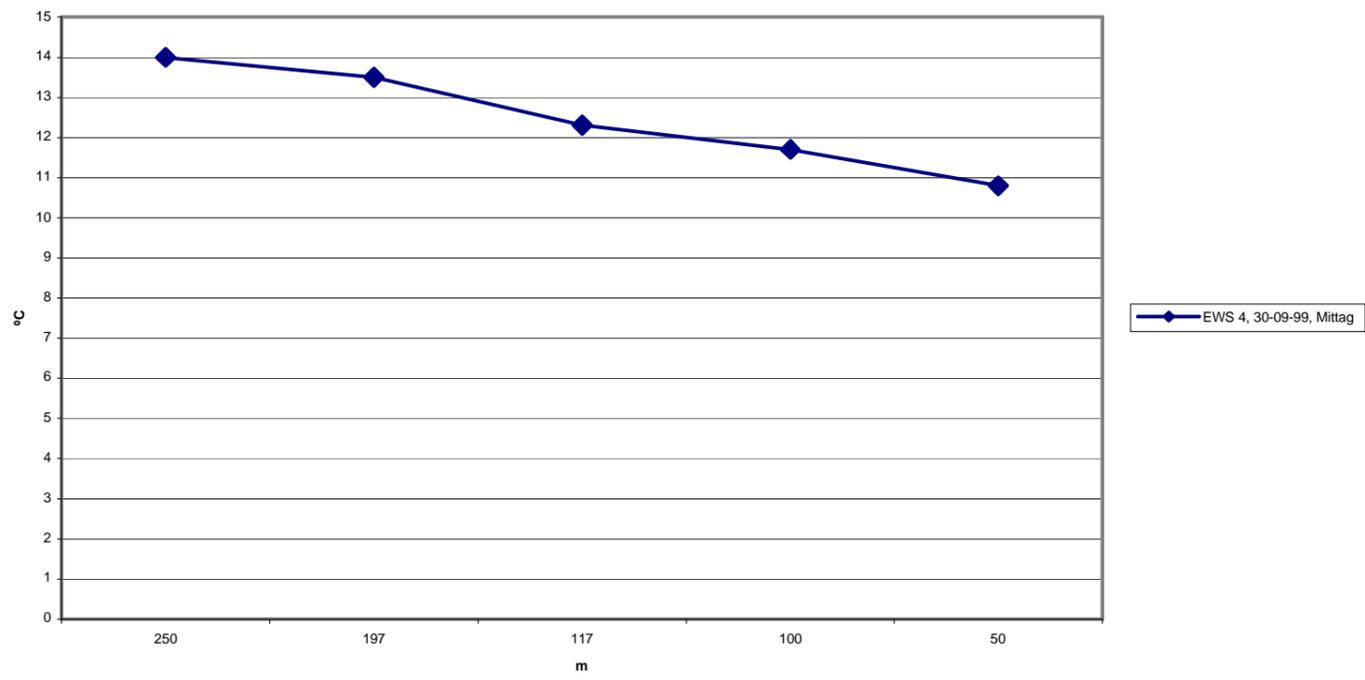
EWS 2, 30-06-01, Mittag



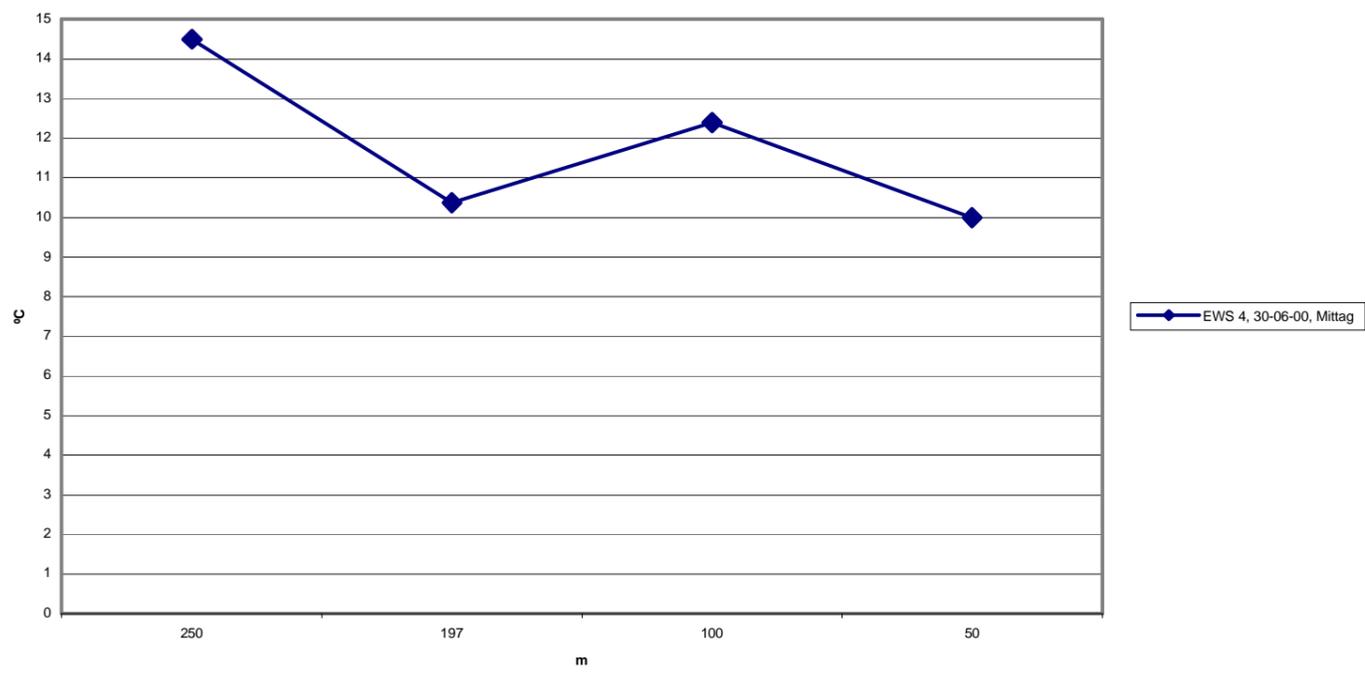
EWS 2, 02-11-01, Mittag



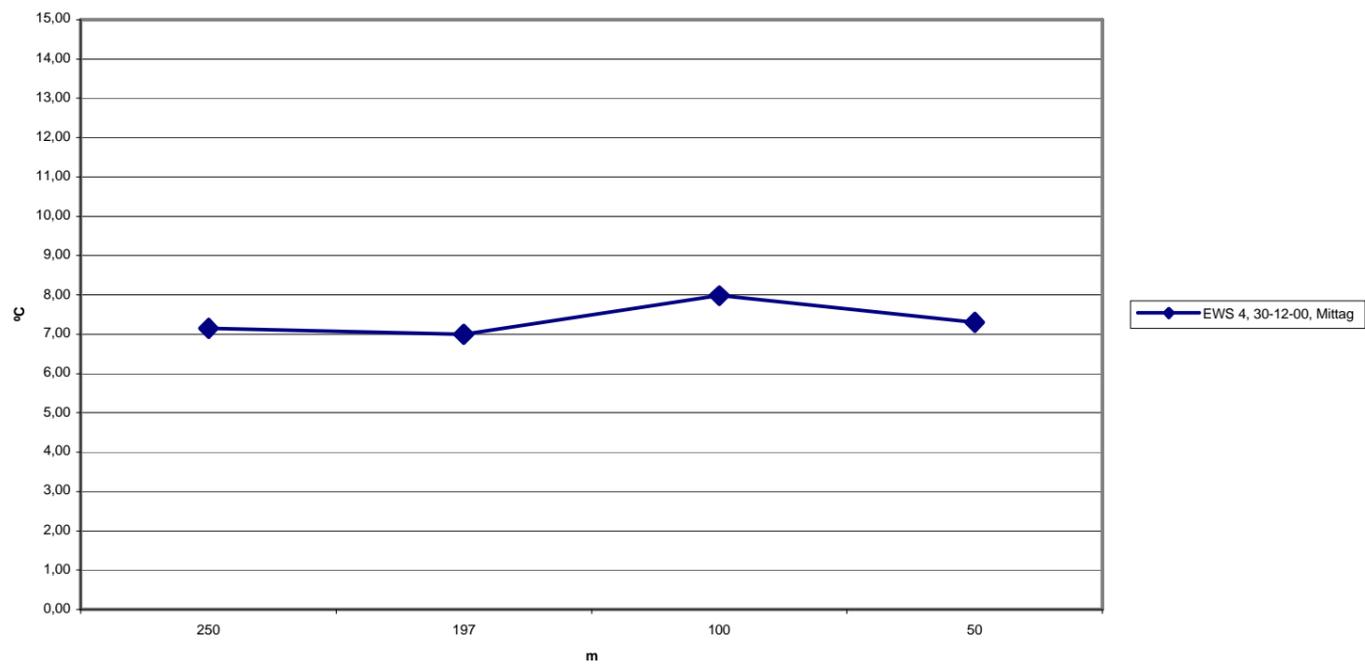
EWS 4, 30-09-99, Mittag



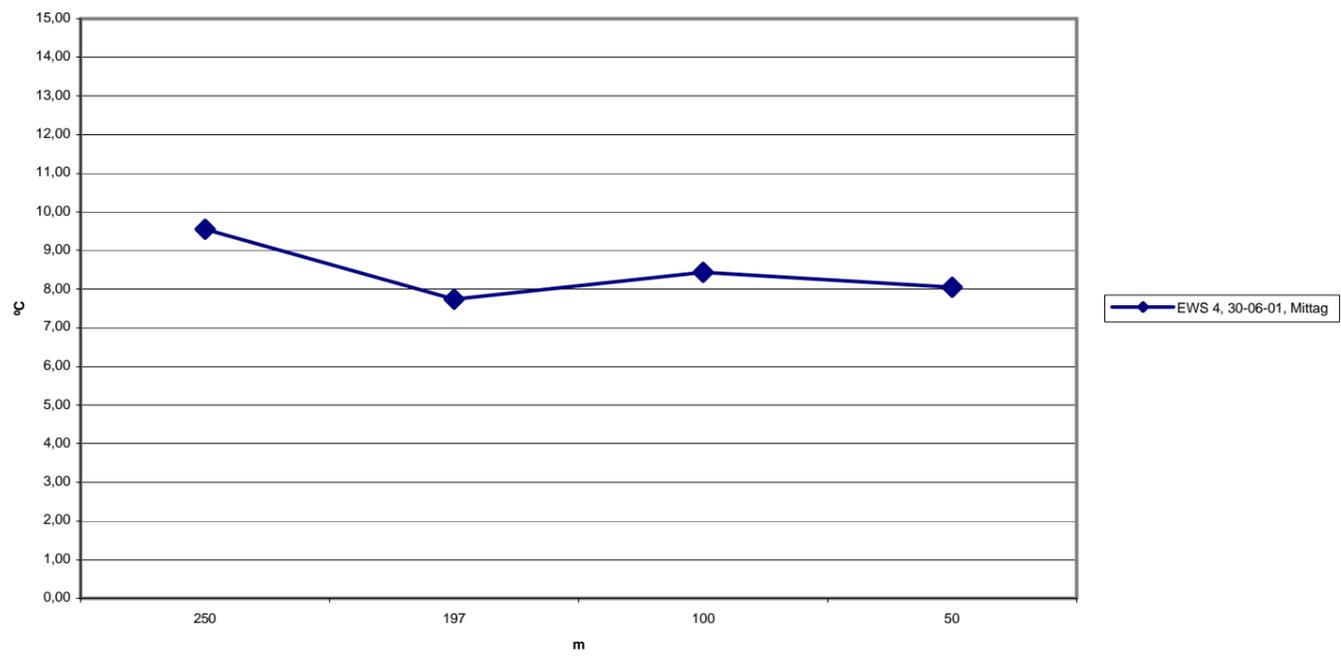
EWS 4, 30-06-00, Mittag



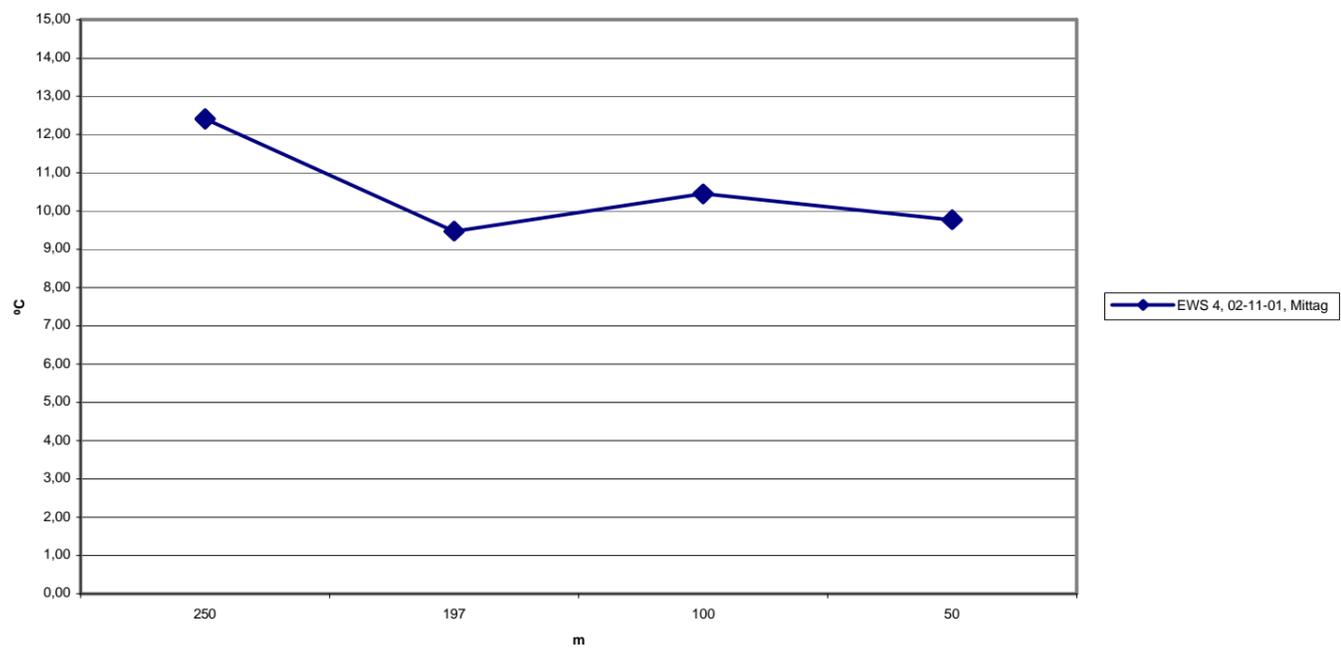
EWS 4, 30-12-00, Mittag



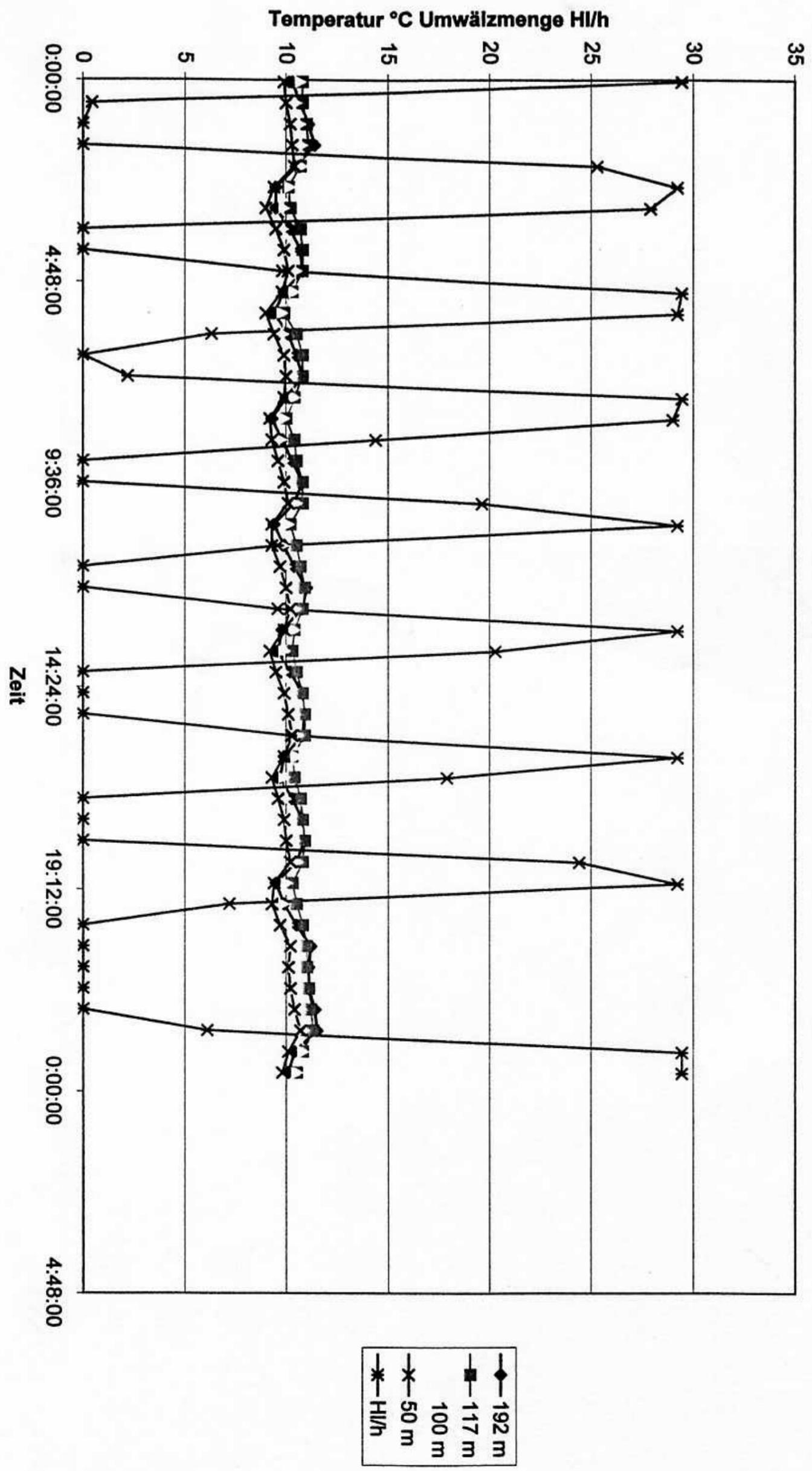
EWS 4, 30-06-01, Mittag



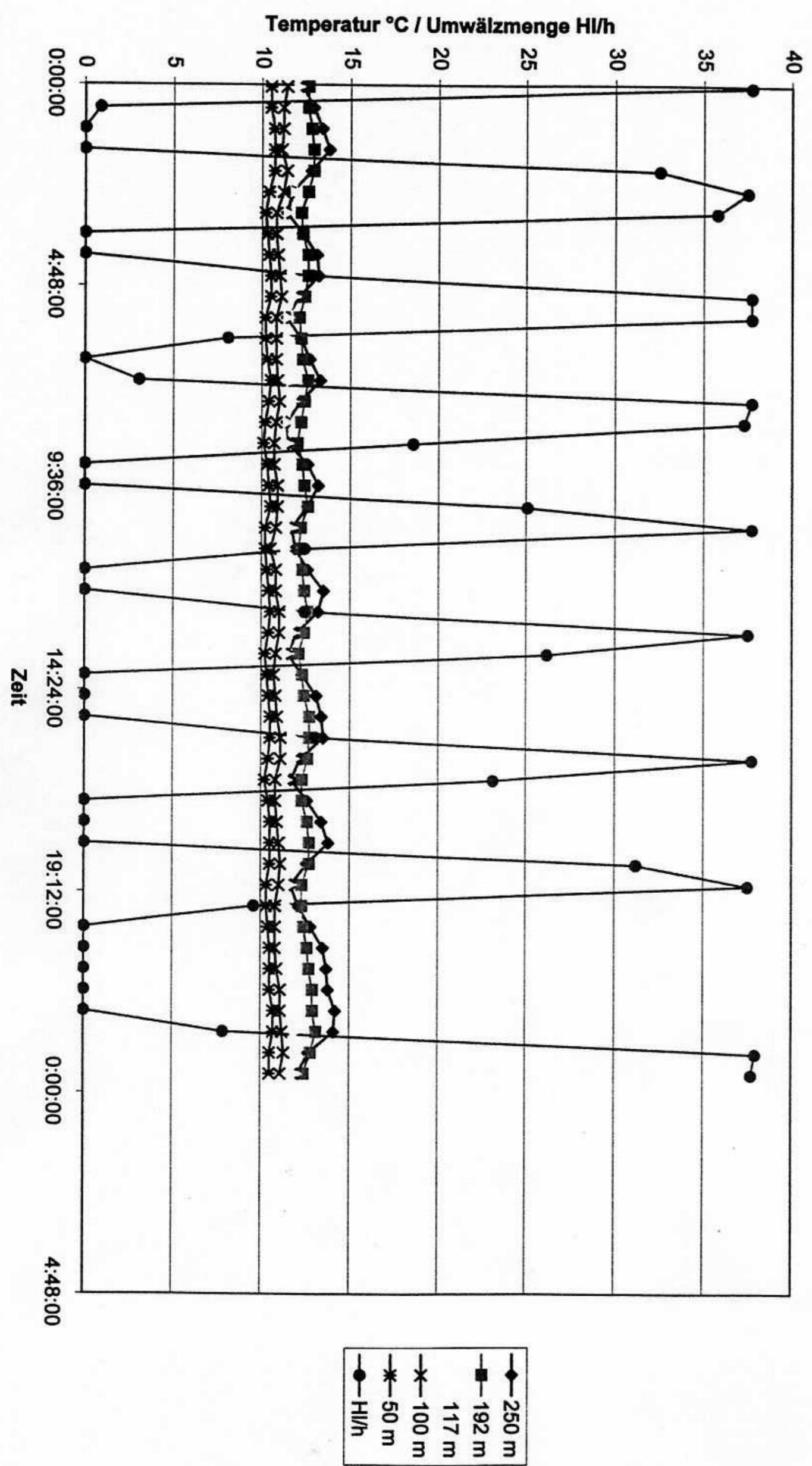
EWS 4, 02-11-01, Mittag



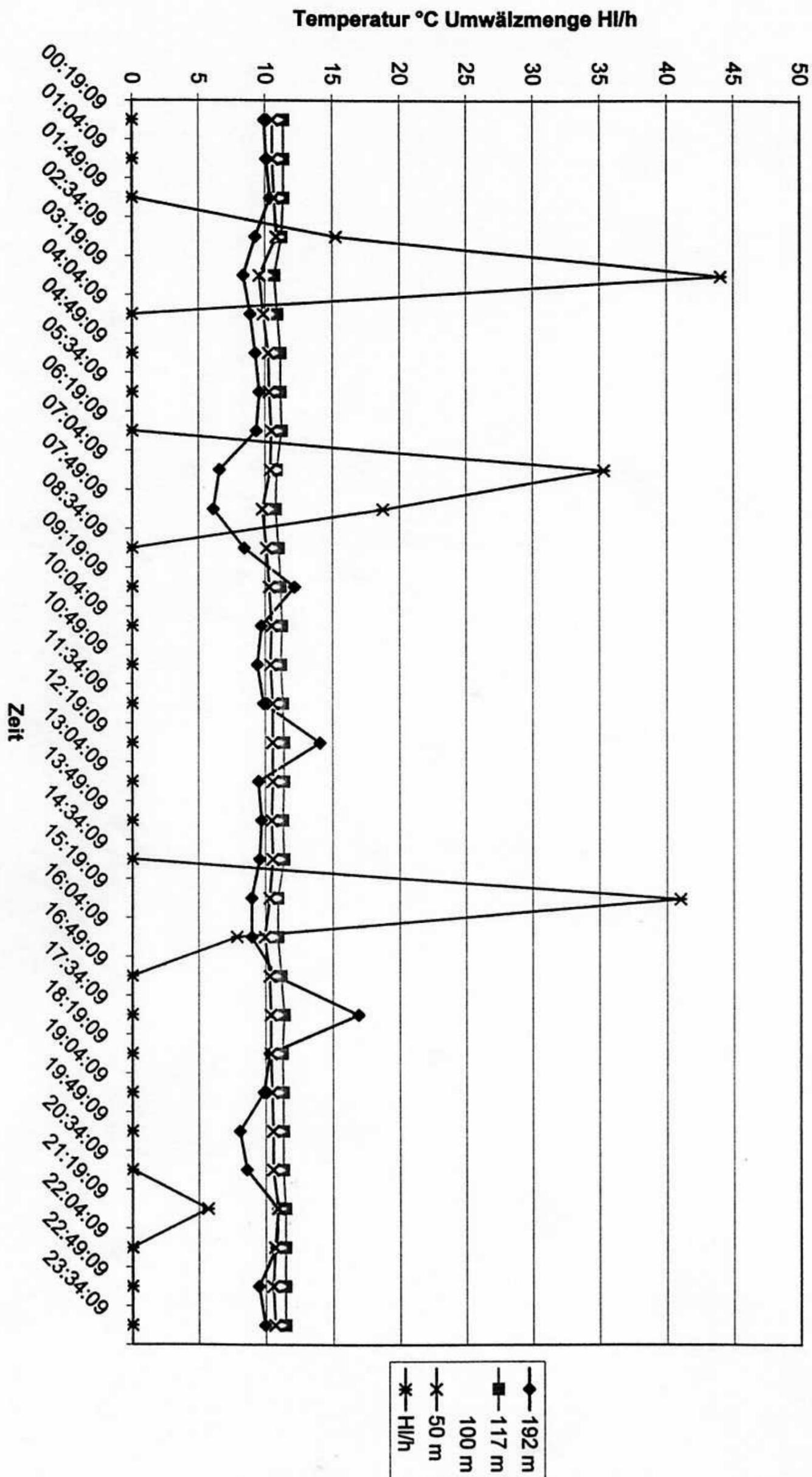
Temperaturverlauf am 05.10.99 in EWS 2



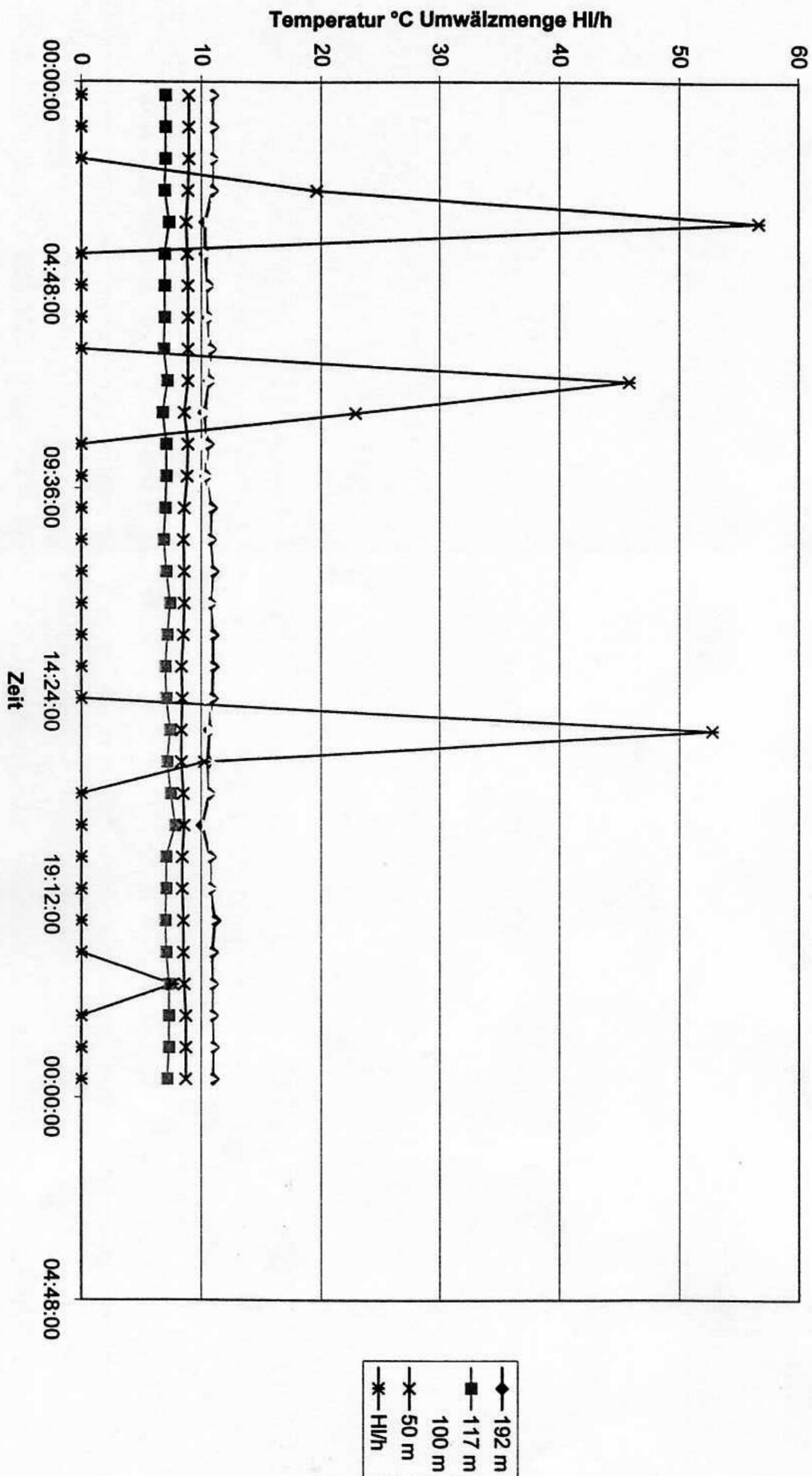
Temperaturverlauf am 05.10.99 in EWS 4



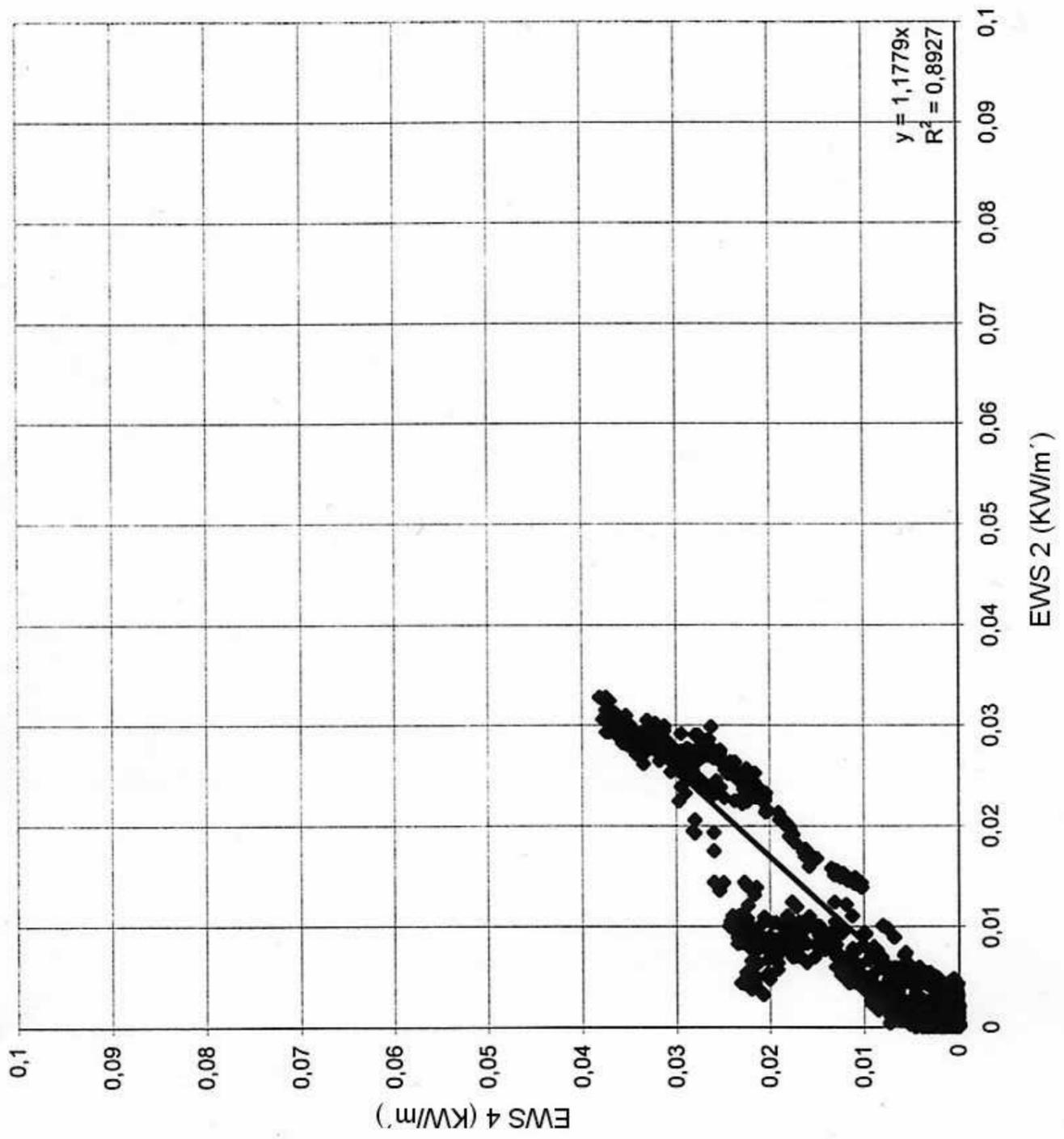
Temperaturverlauf am 07.06.00 in EWS 2



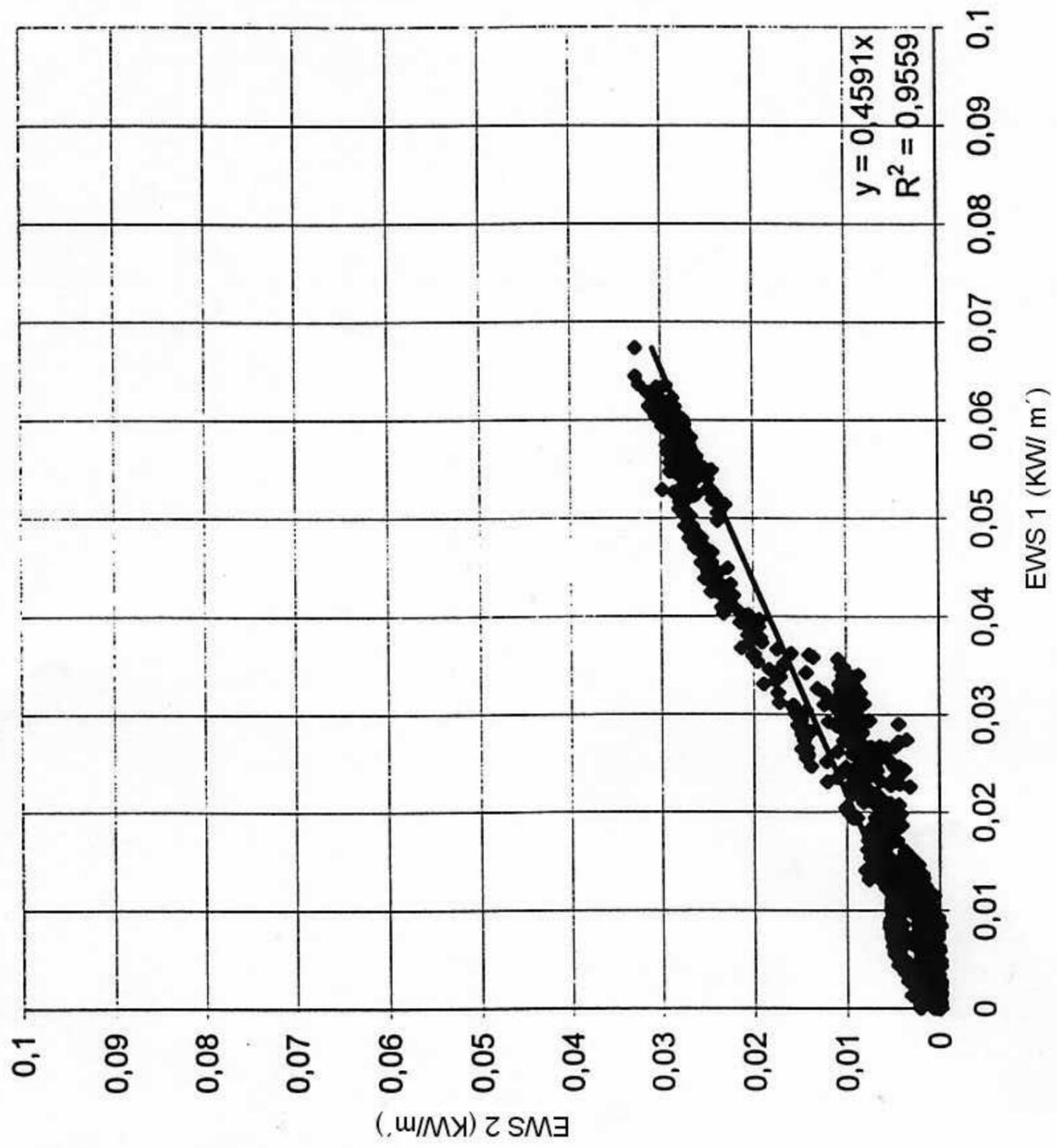
Temperaturverlauf am 07.06.00 in EWS 4



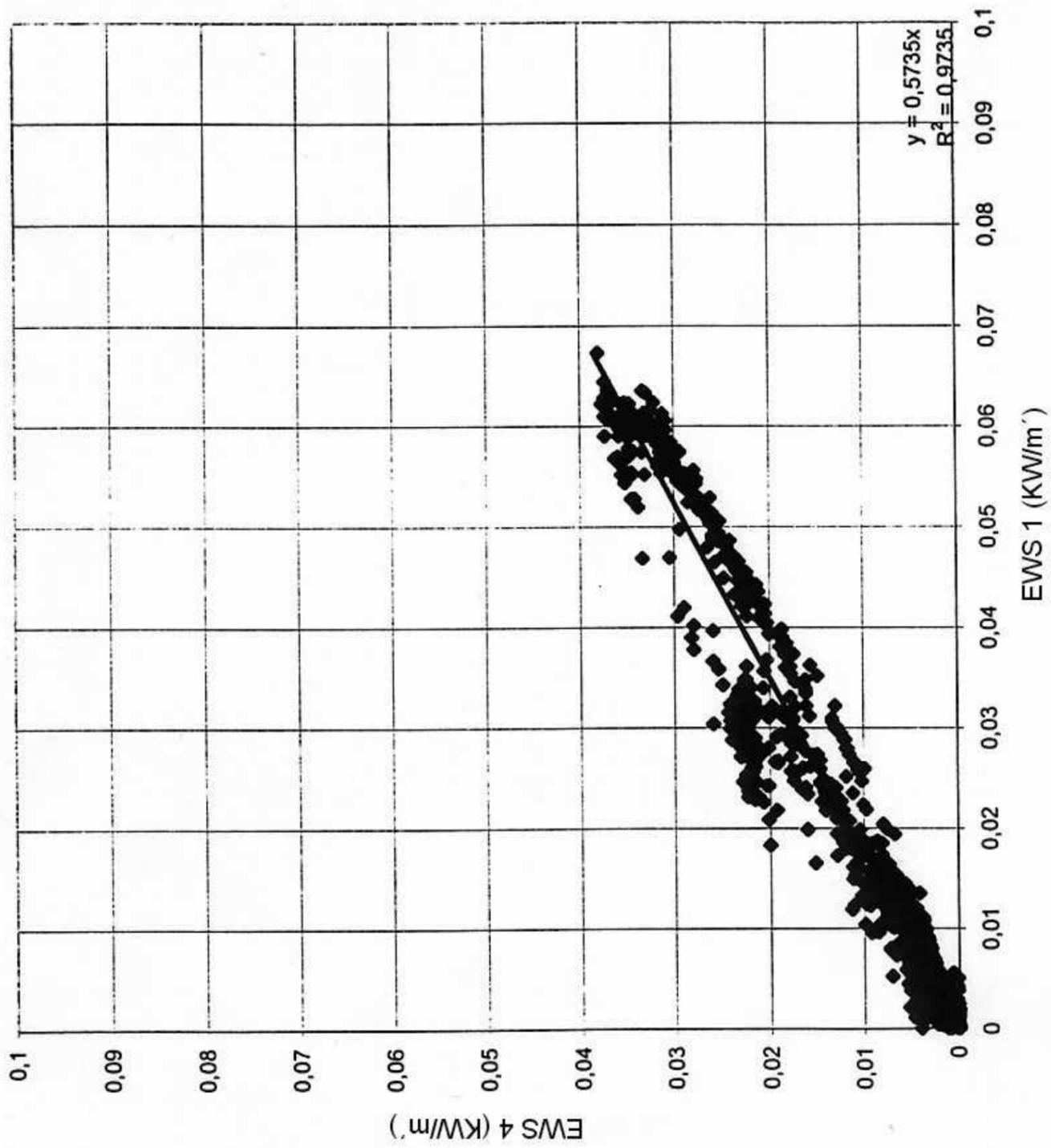
Vergleich der spezifischen Leistungen in EWS 4 und EWS 2 11.04.00 - 17.10.00



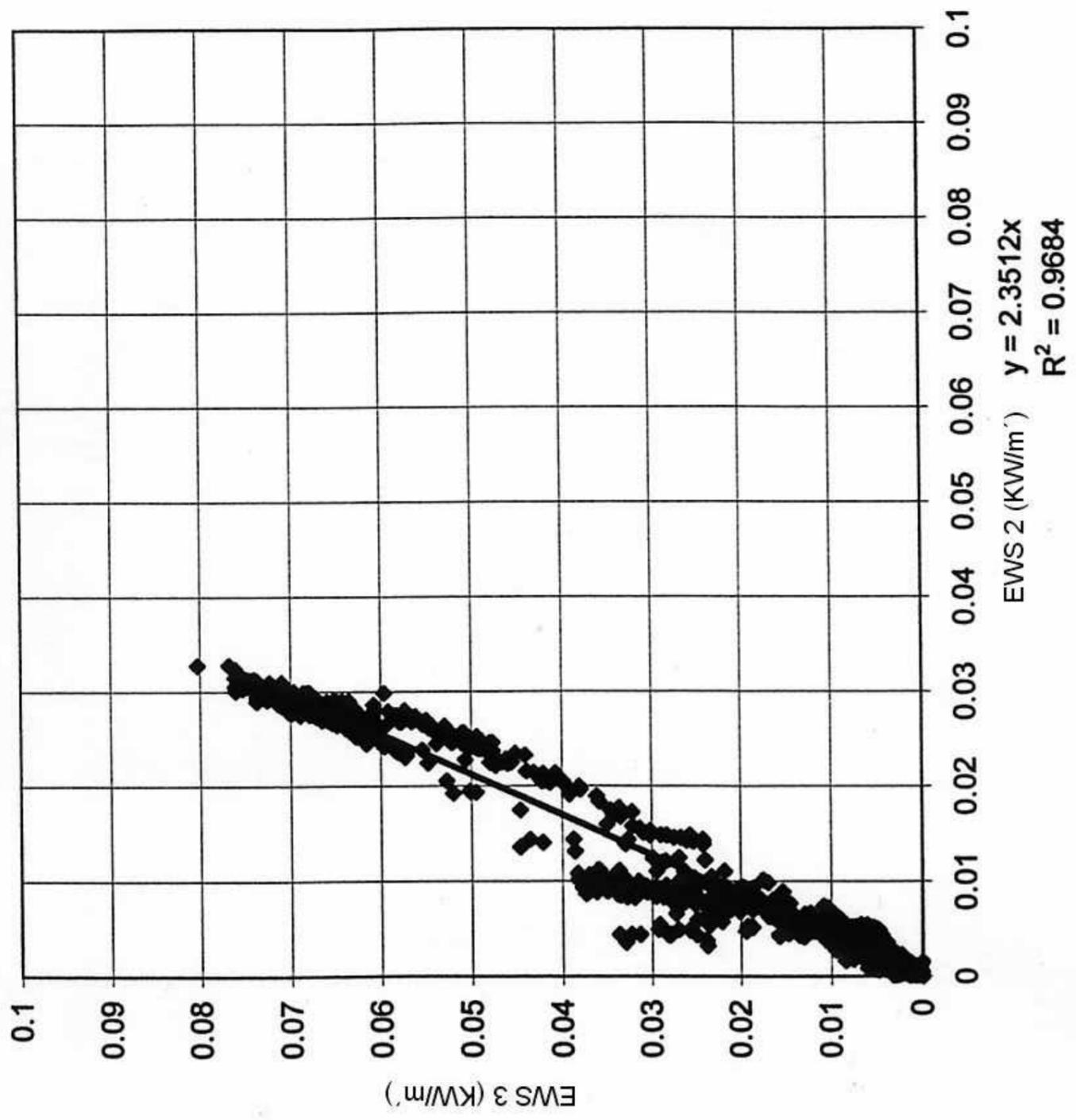
Vergleich der spezifischen Leistungen in EWS 2 und EWS 1 11.04.00 - 17.10.00



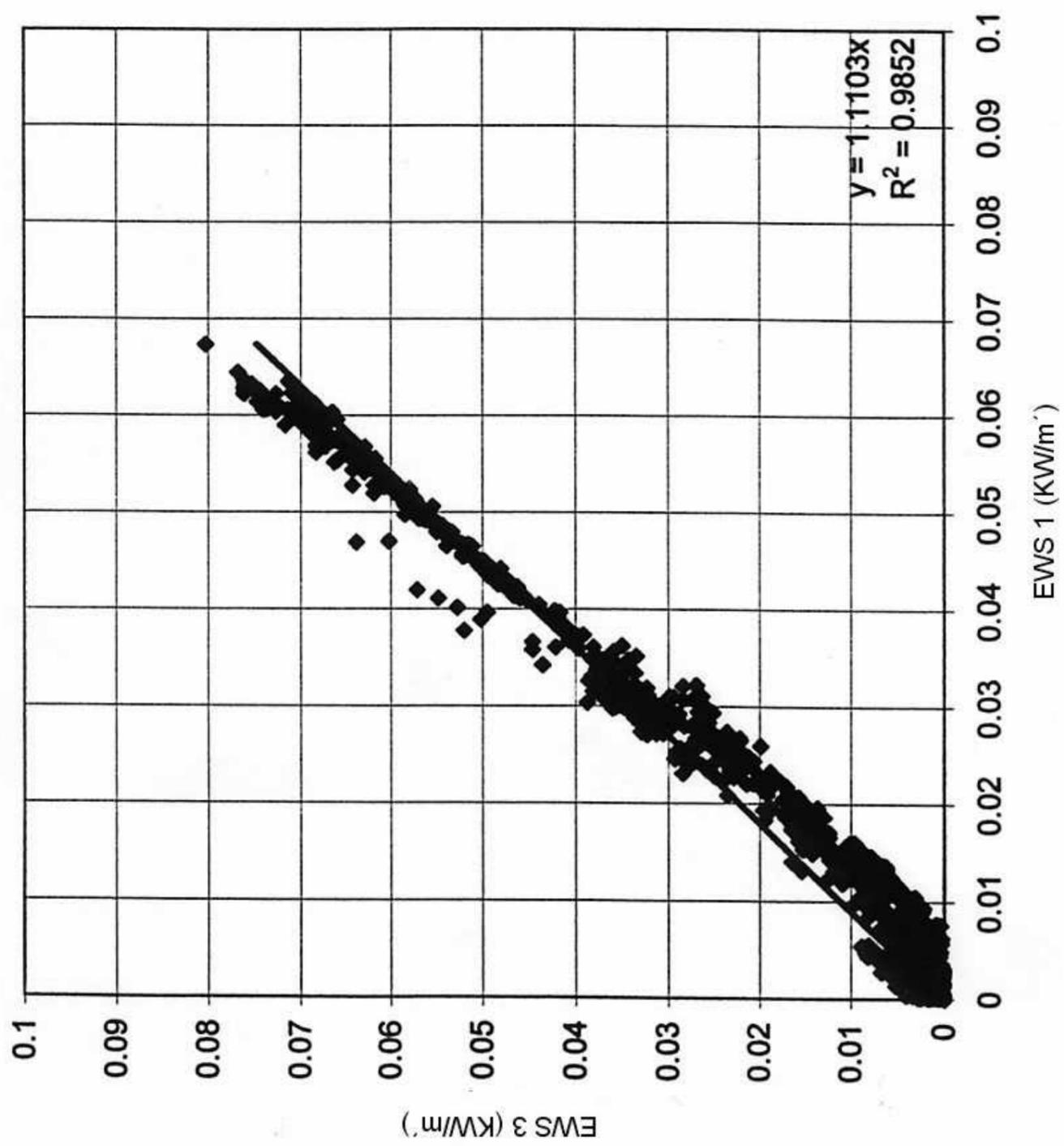
Vergleich der spezifischen Leistungen in EWS 4 und EWS 1 11.04.00 - 17.10.00



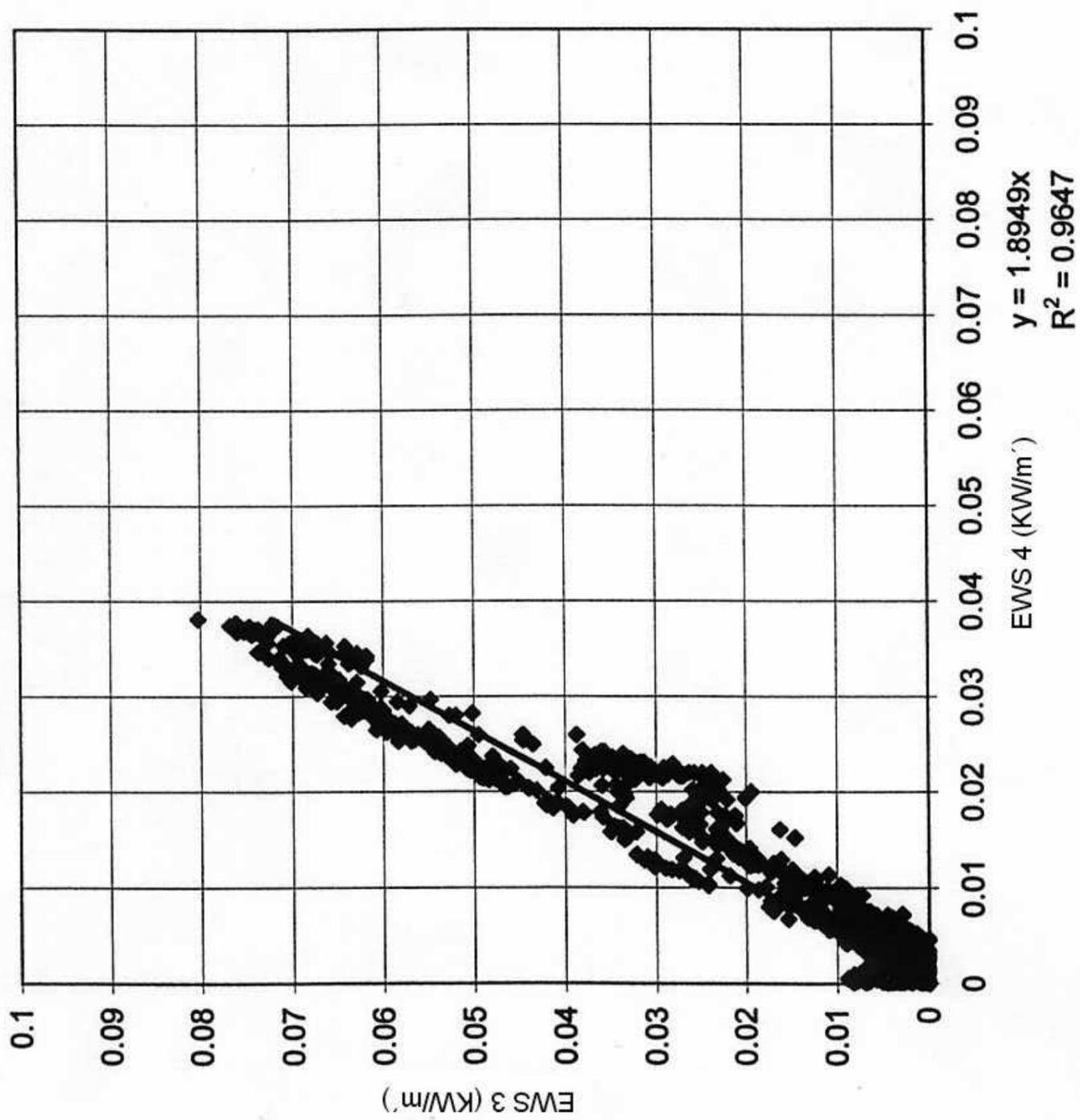
Vergleich der spezifischen Leistungen in EWS 3 und EWS 2 11.04.00 - 17.10.00



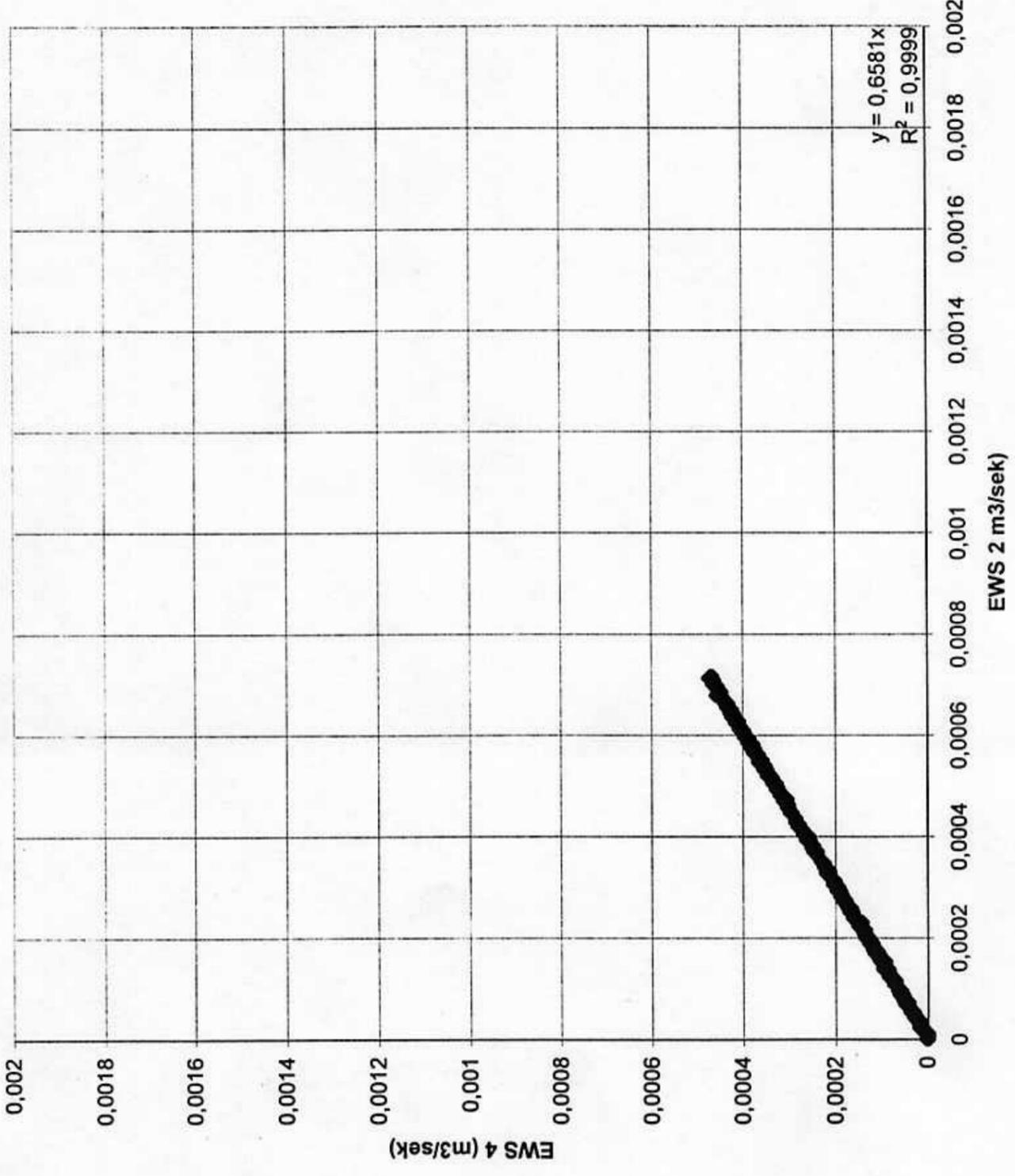
Vergleich der spezifischen Leistungen in EWS 3 und EWS 1 11.04.00 - 17.10.00



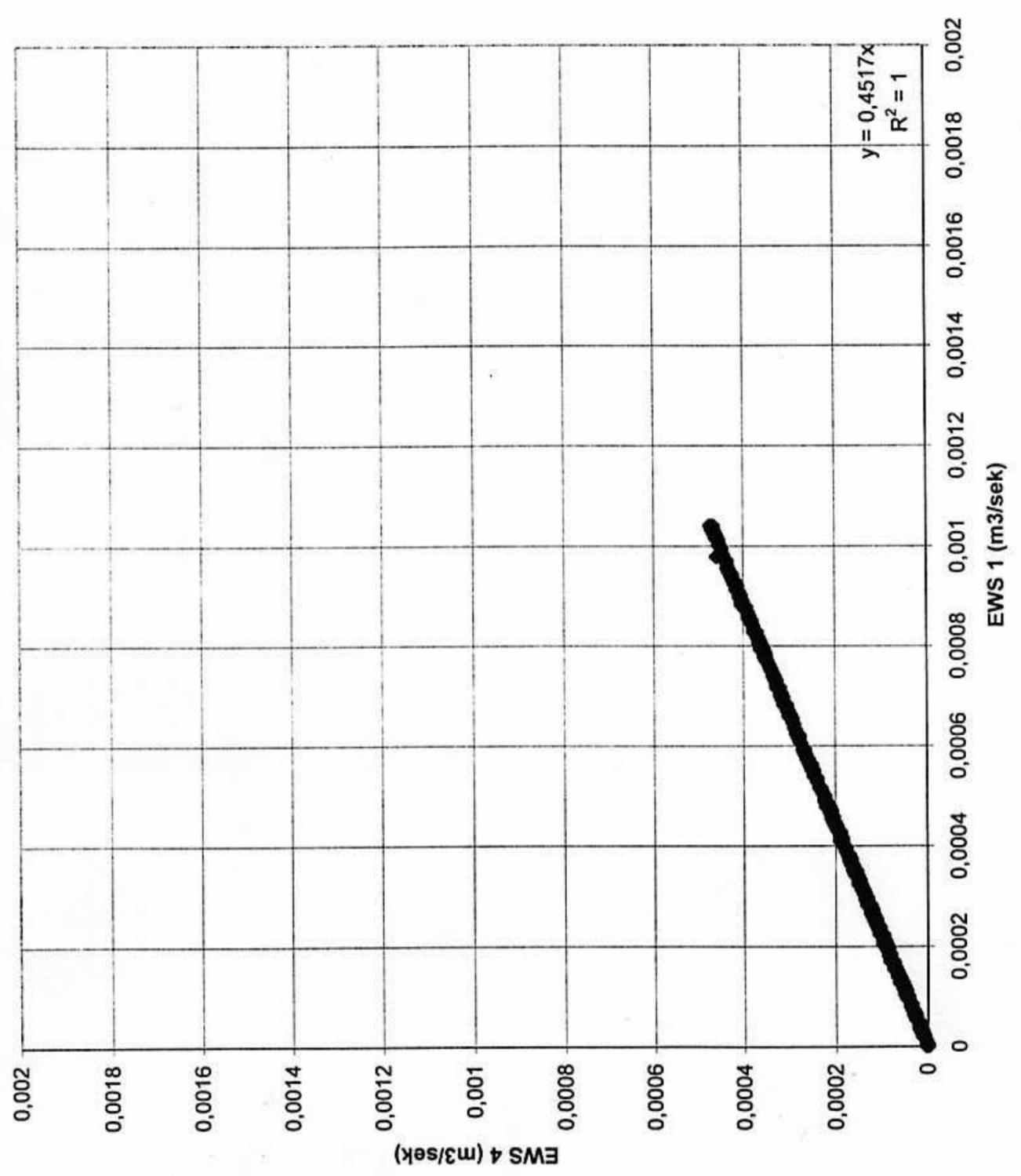
Vergleich der spezifischen Leistungen in EWS 3 und EWS 4 11.04.00 - 17.10.00



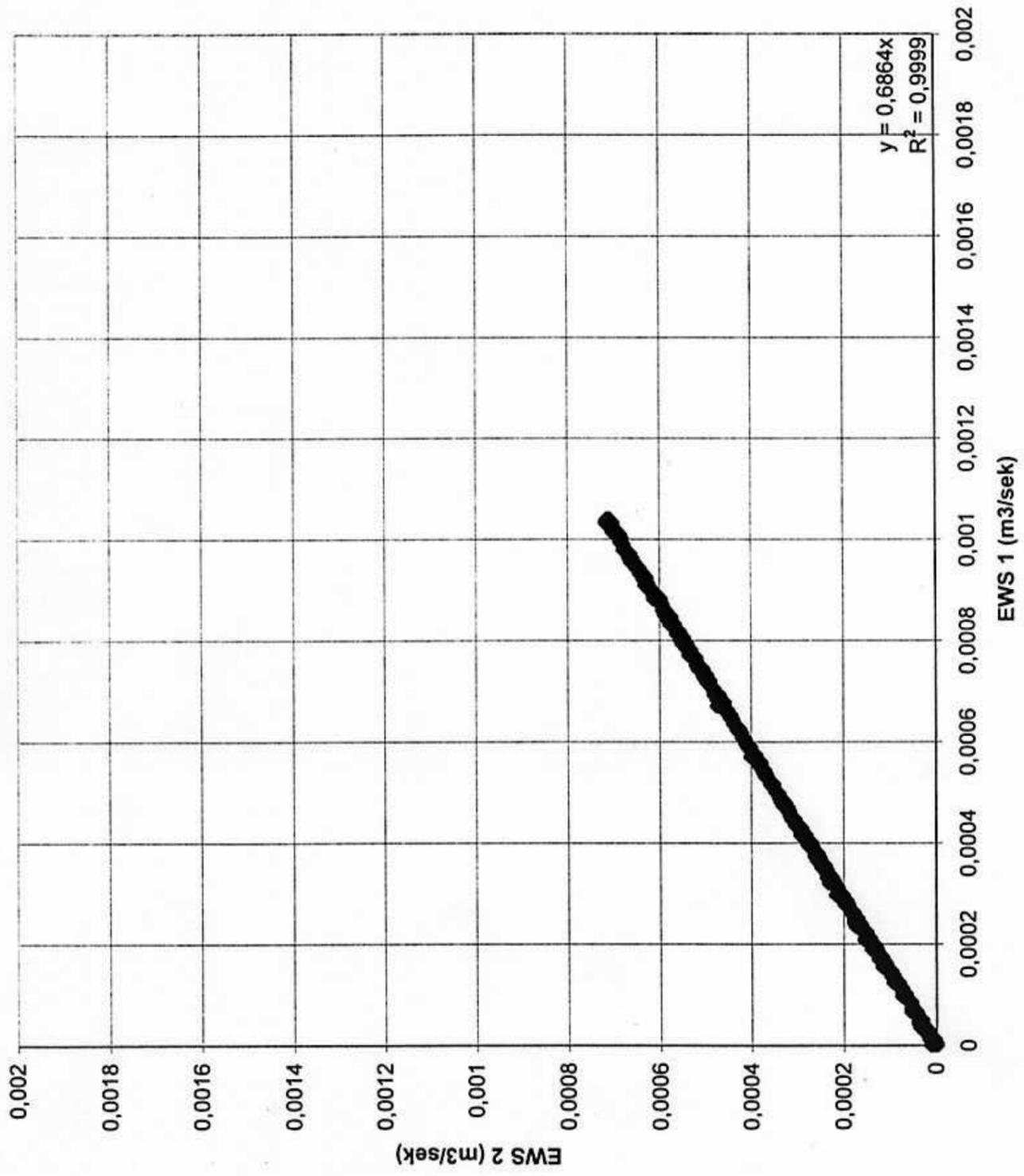
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 4 und EWS 2 10.04.00 - 17.10.00



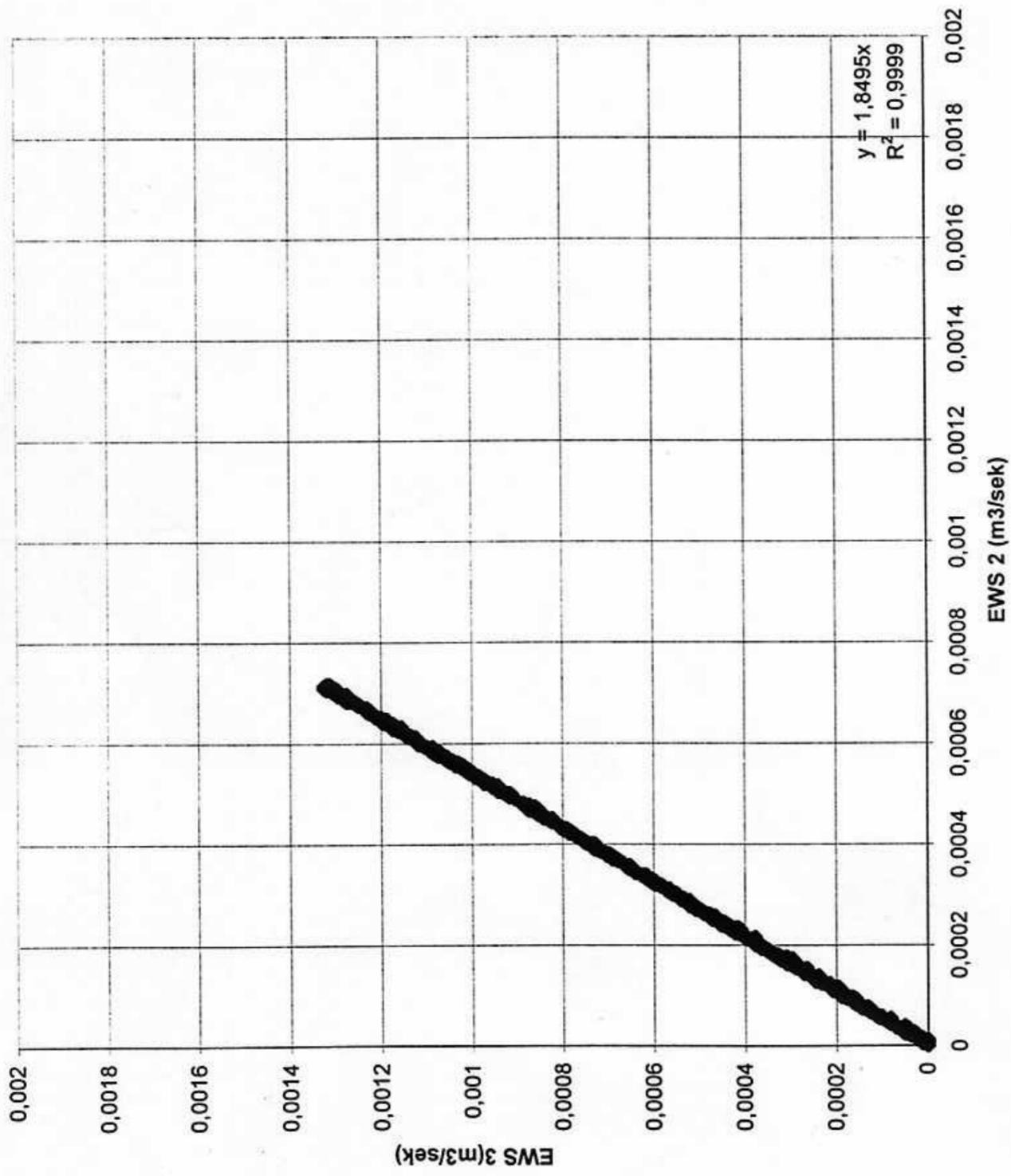
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 4 und EWS 1 10.04.00 - 17.10.00



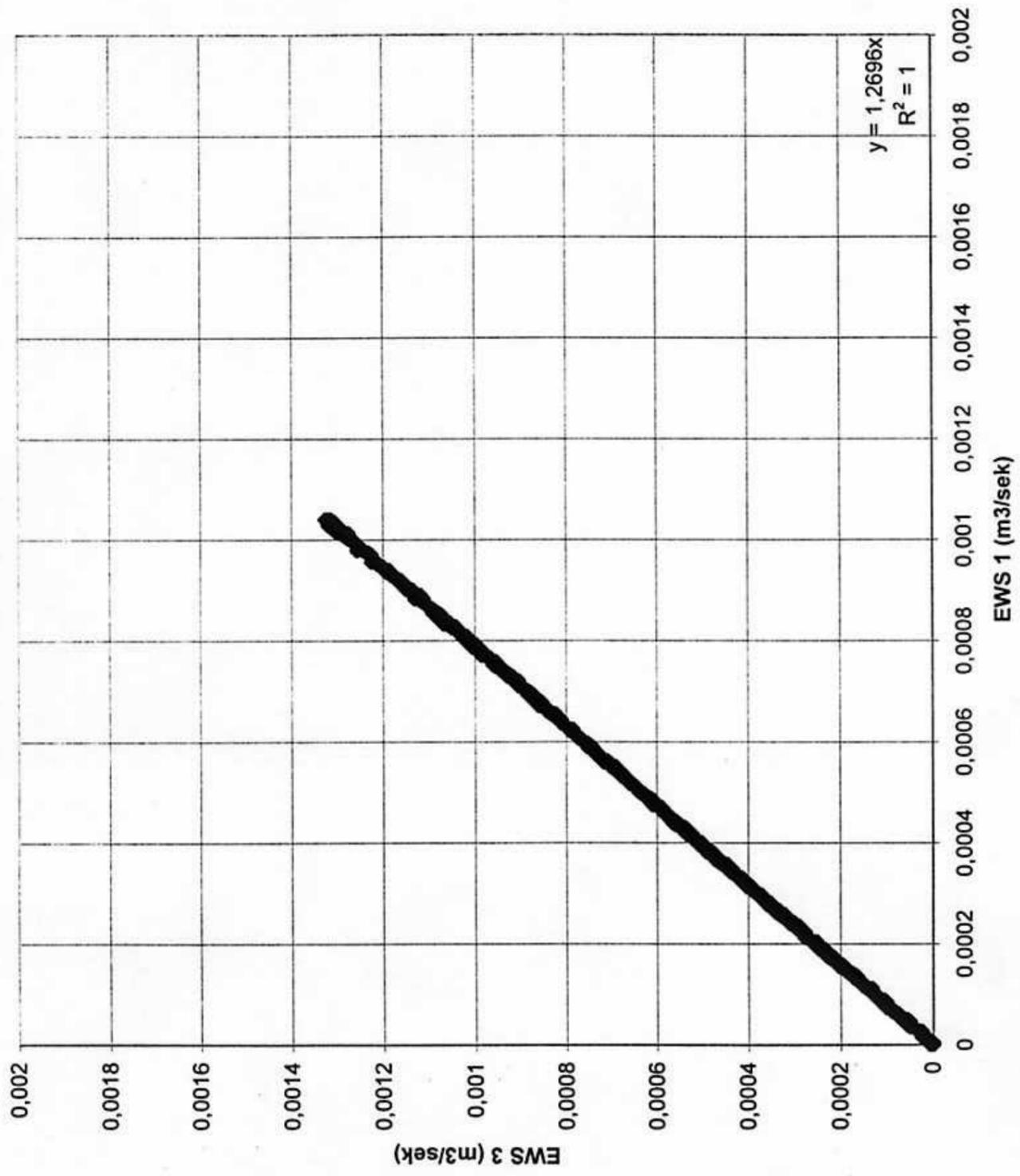
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 2 und EWS 1 10.04.00 - 17.10.00



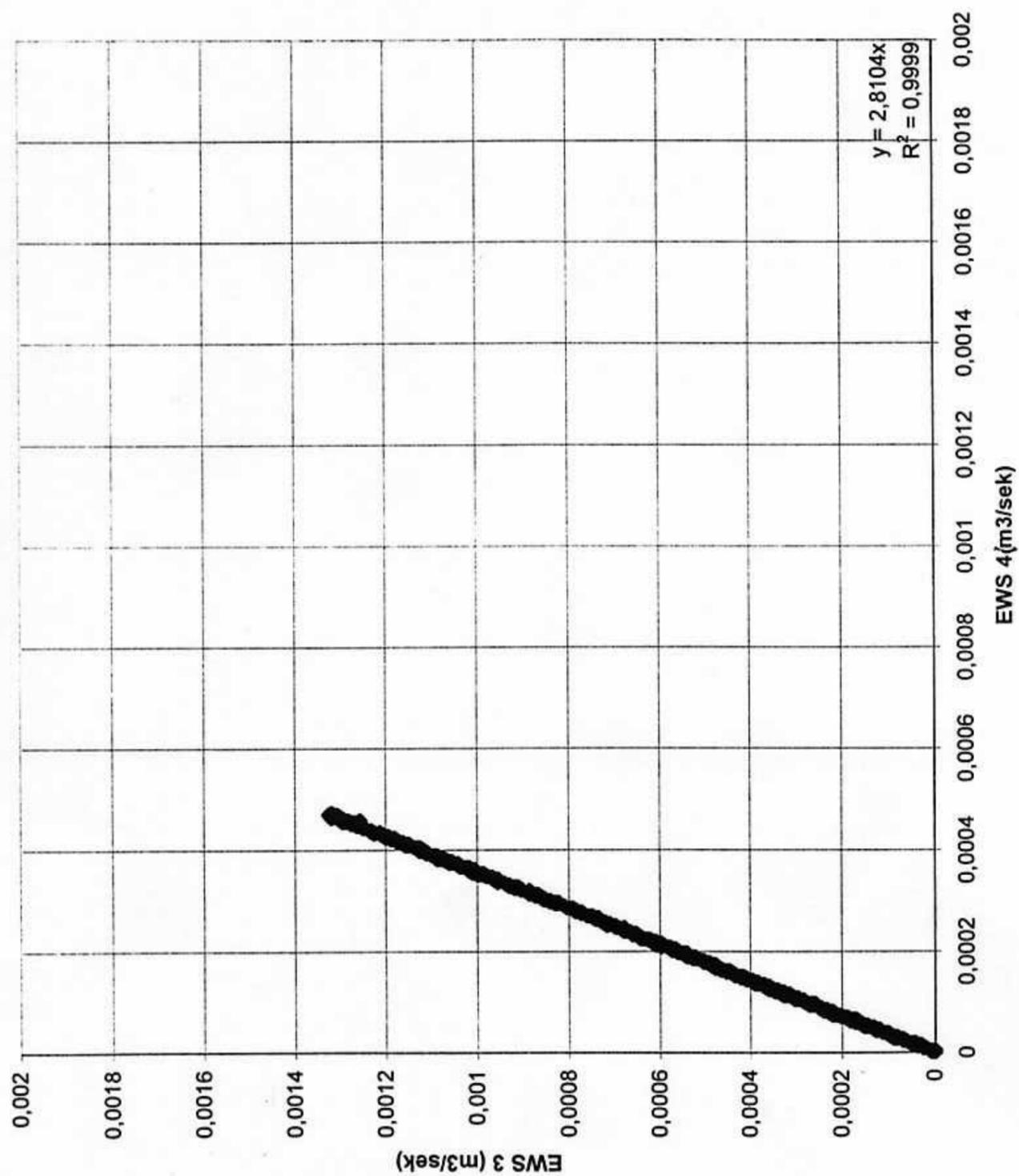
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 3 und EWS 2 10.04.00 - 17.10.00, auf 250 m projeziert



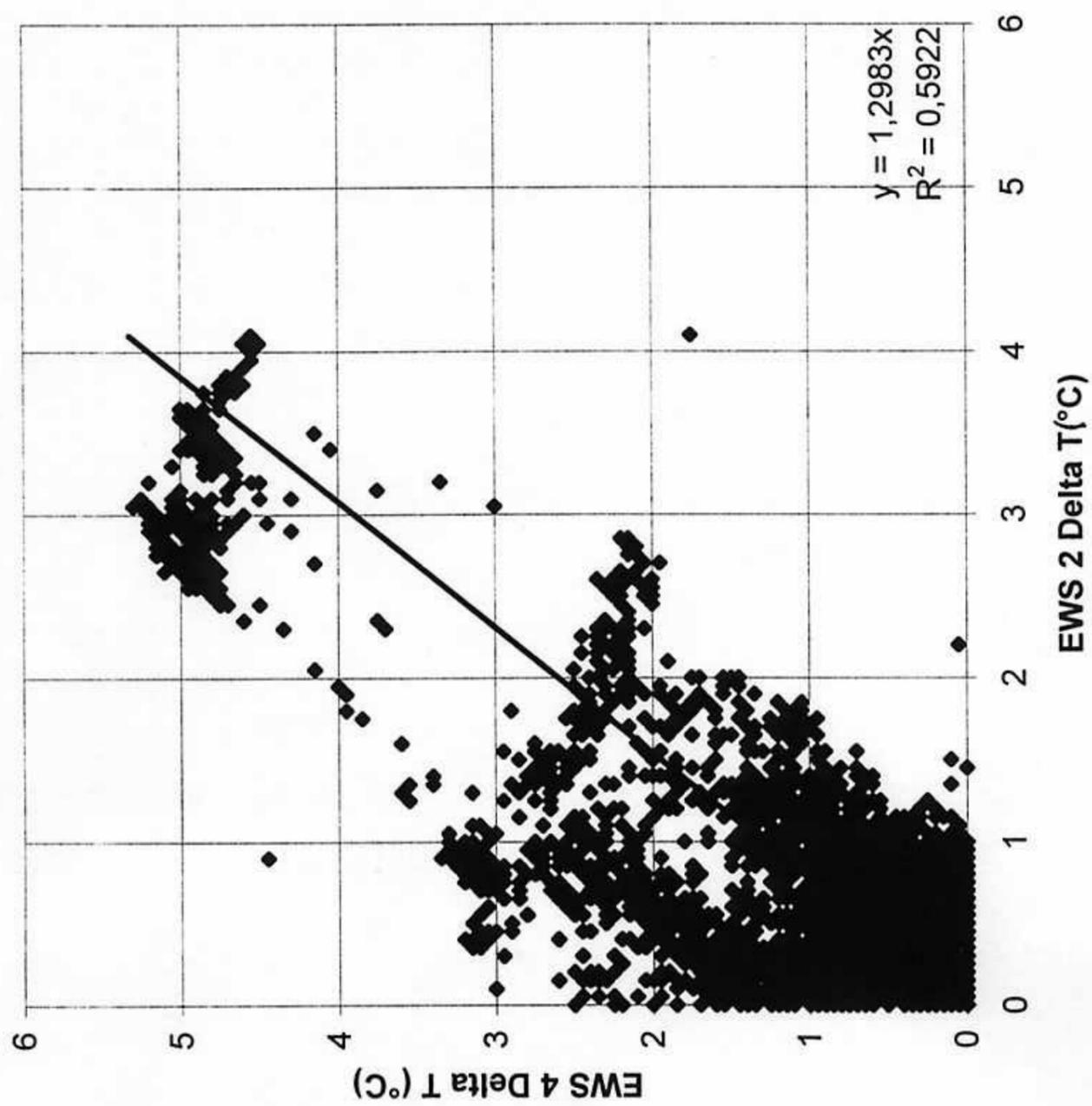
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 3 und EWS 1 10.04.00 - 17.10.00, auf 250 m projiziert



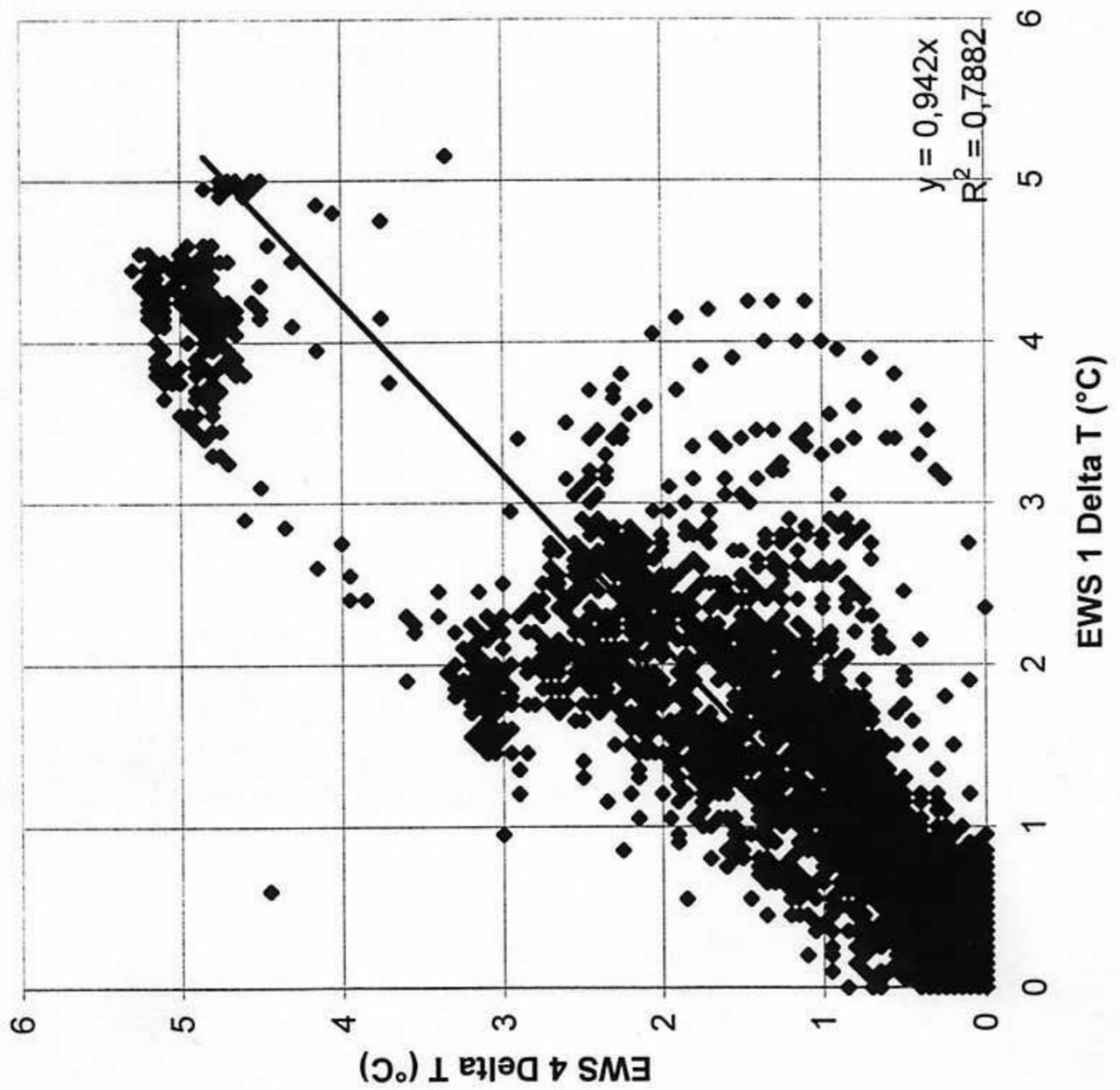
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 3 und EWS 4 10.04.00 - 17.10.00, auf 250 m projiziert



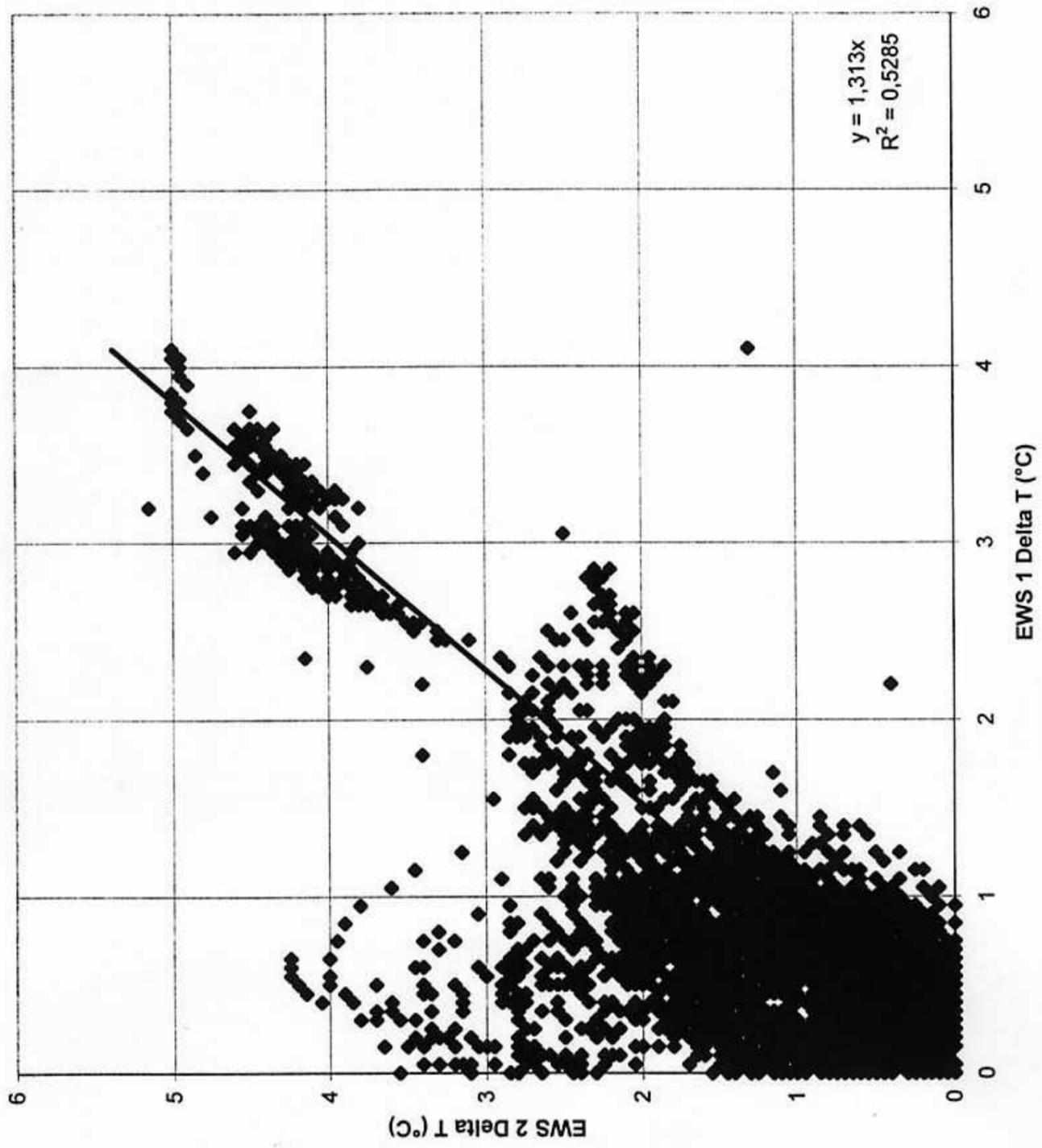
Vergleich der Temperaturdifferenzen in EWS 2 und EWS 4 11.04.00 - 17.10.00



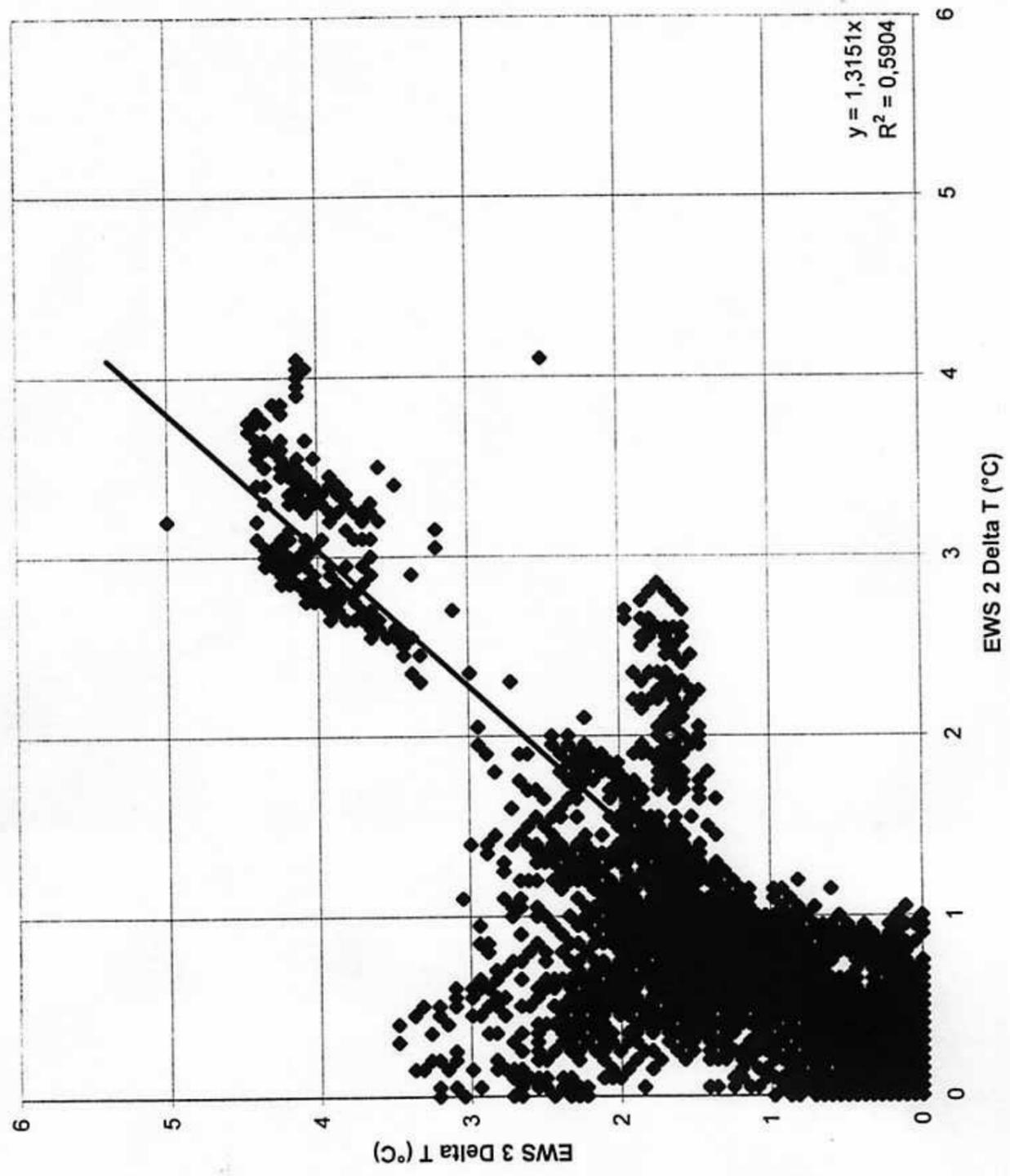
Vergleich der Temperaturdifferenzen in EWS 4 und EWS 1 11.04.00 - 17.10.00



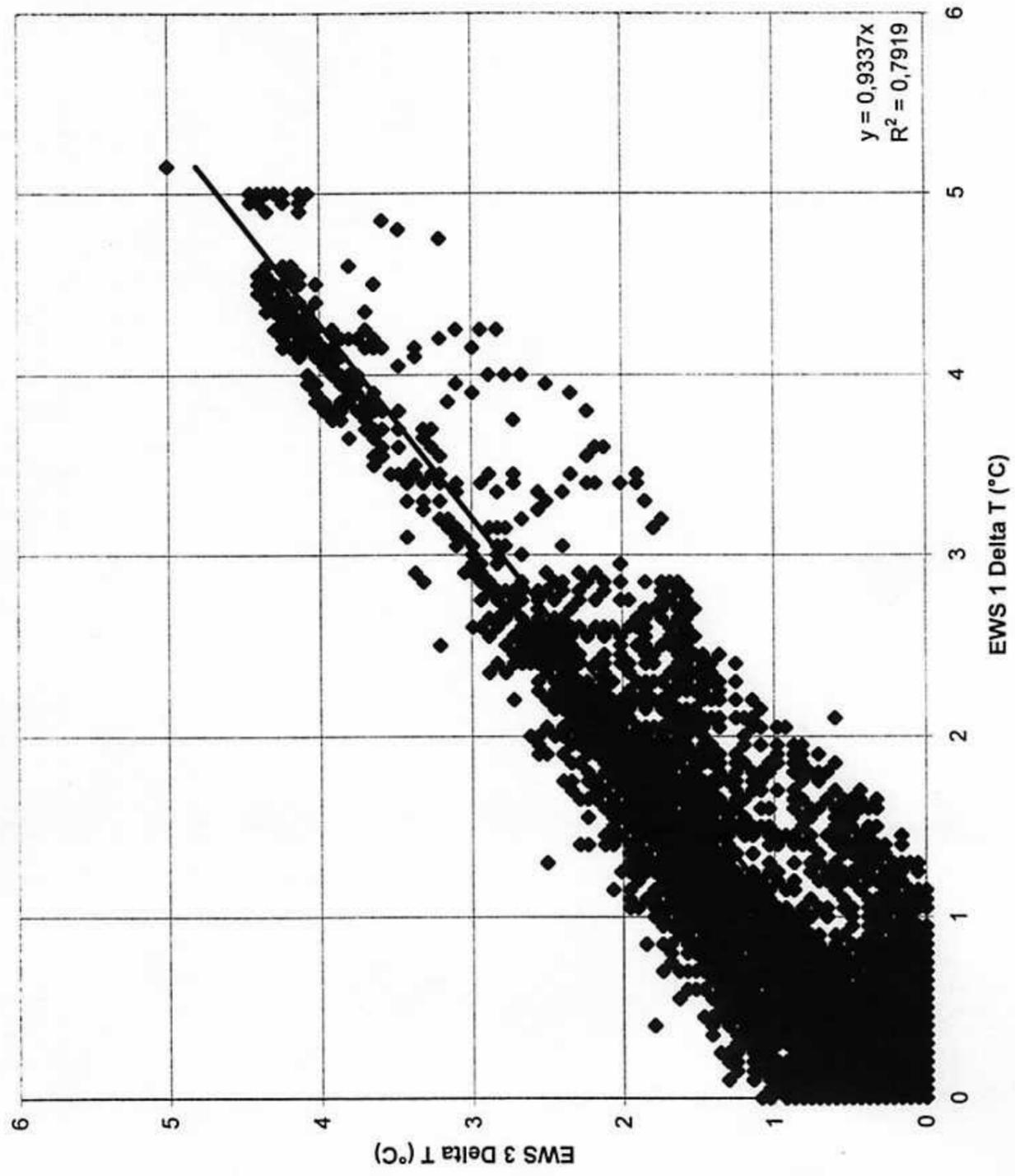
Vergleich der Temperaturdifferenzen EWS 2 und EWS 1 11.04.00 - 17.10.00



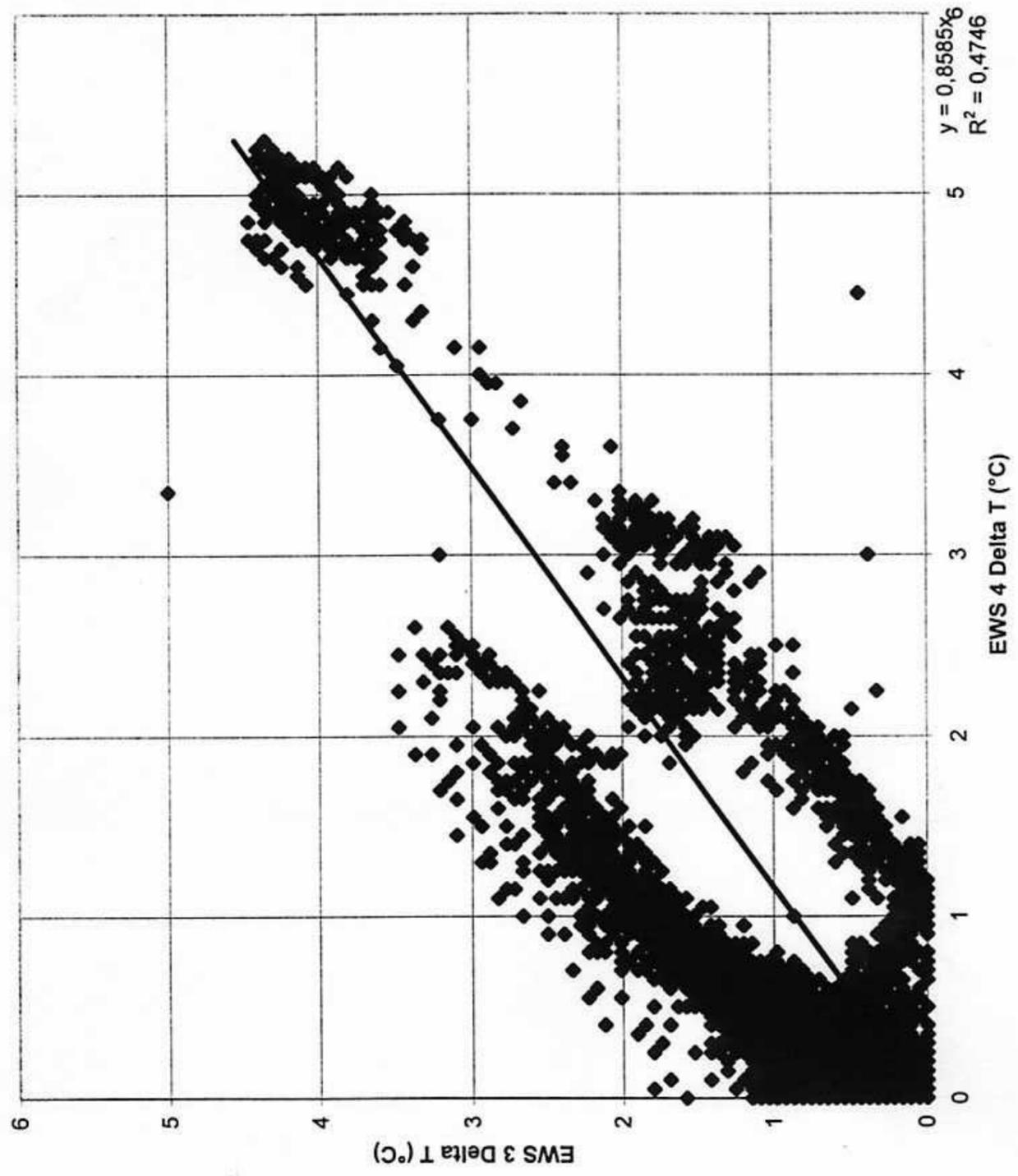
Vergleich der Temperaturdifferenzen EWS 3 und EWS 2 11.04.00 - 17.10.00, auf 250 m
projeziert



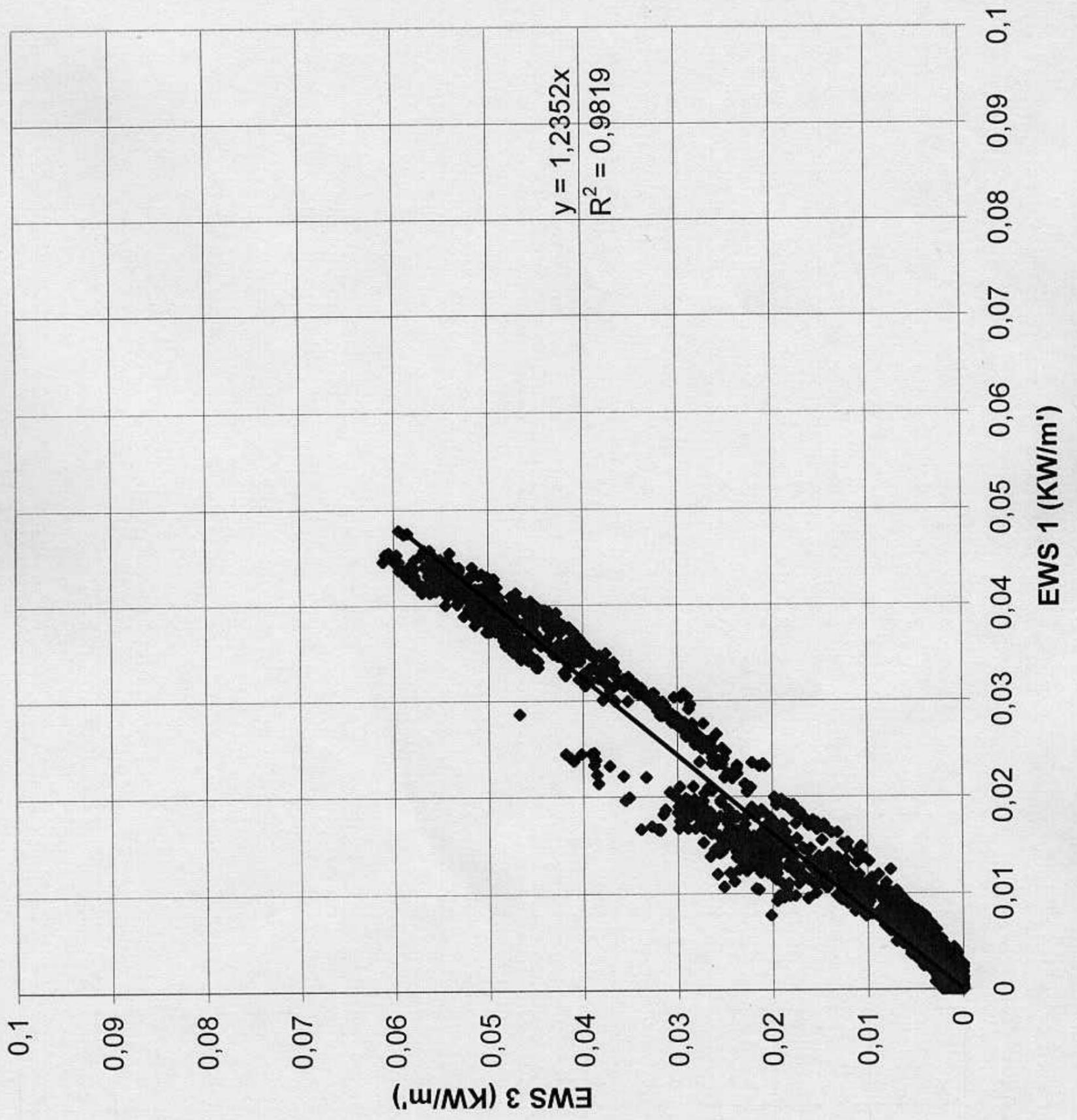
Vergleich der Temperaturdifferenzen EWS 3 und EWS 1 11.04.00 - 17.10.00, auf 250 m
projeziert



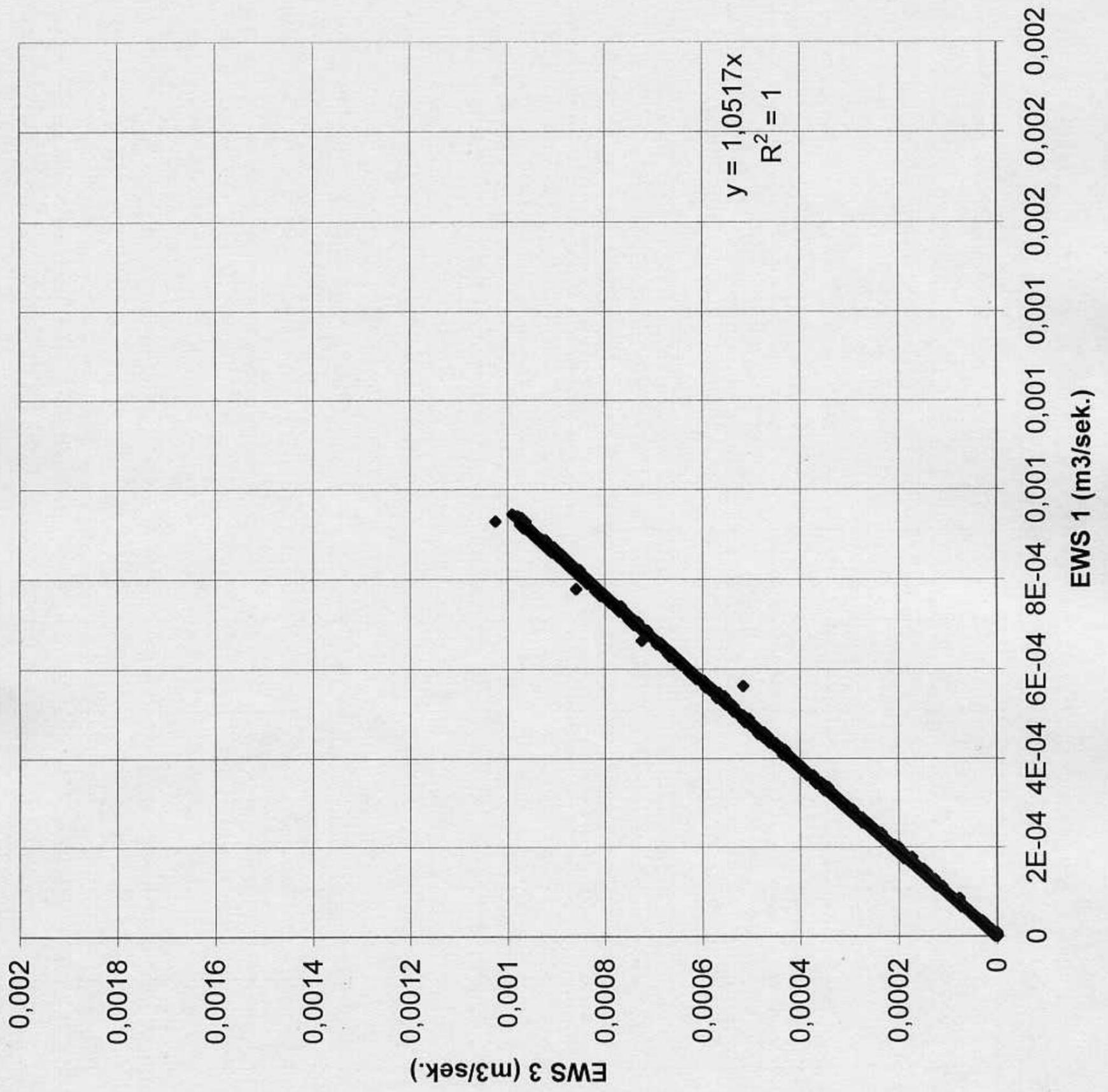
Vergleich der Temperaturdifferenzen EWS 3 und EWS 4 11.04.00 - 17.10.00, auf 250 m
projeziert



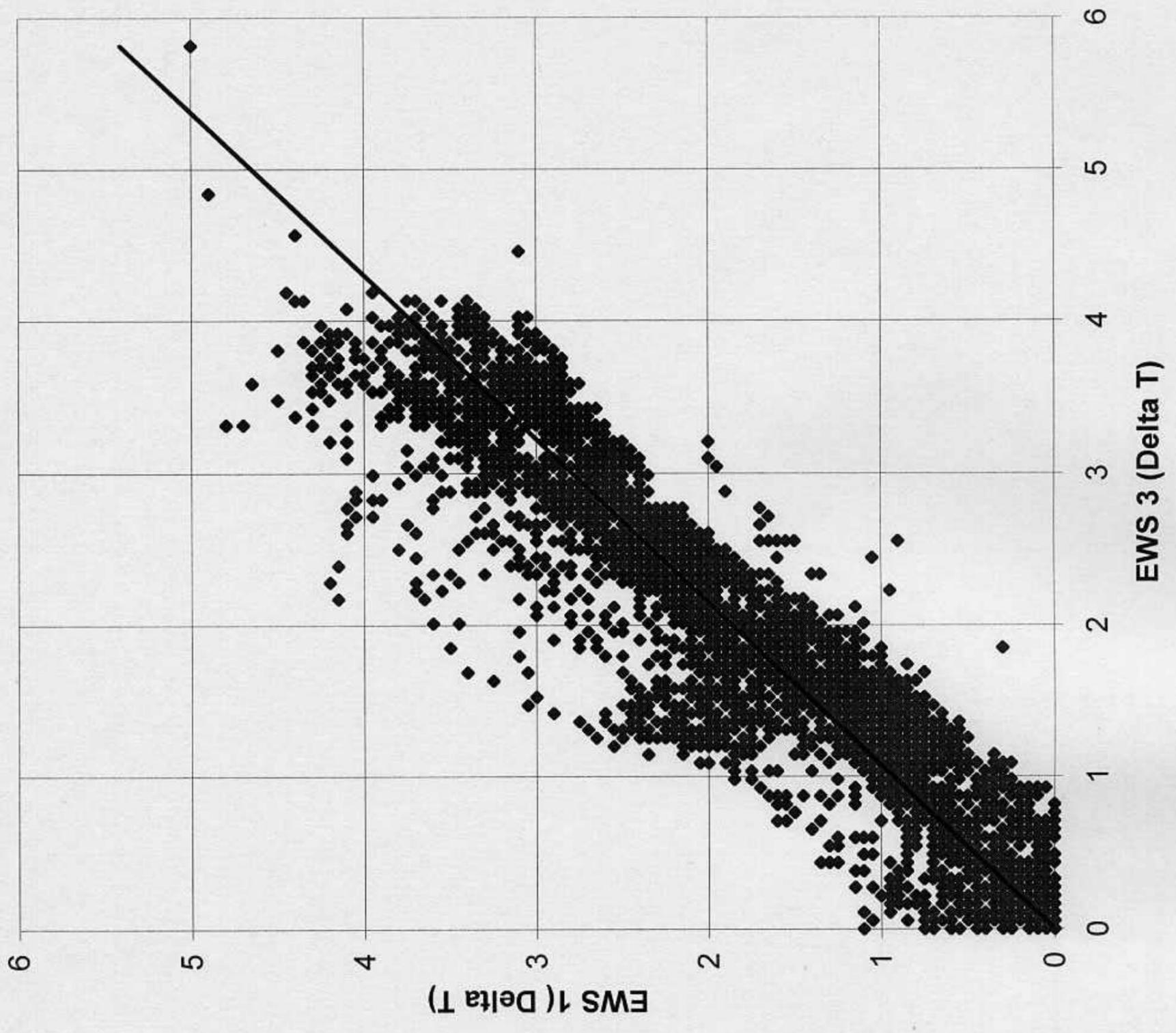
Vergleich der Spezifischen Leistungen in EWS 3 und EWS 1 (30. 01.01 bis 02.11.01)



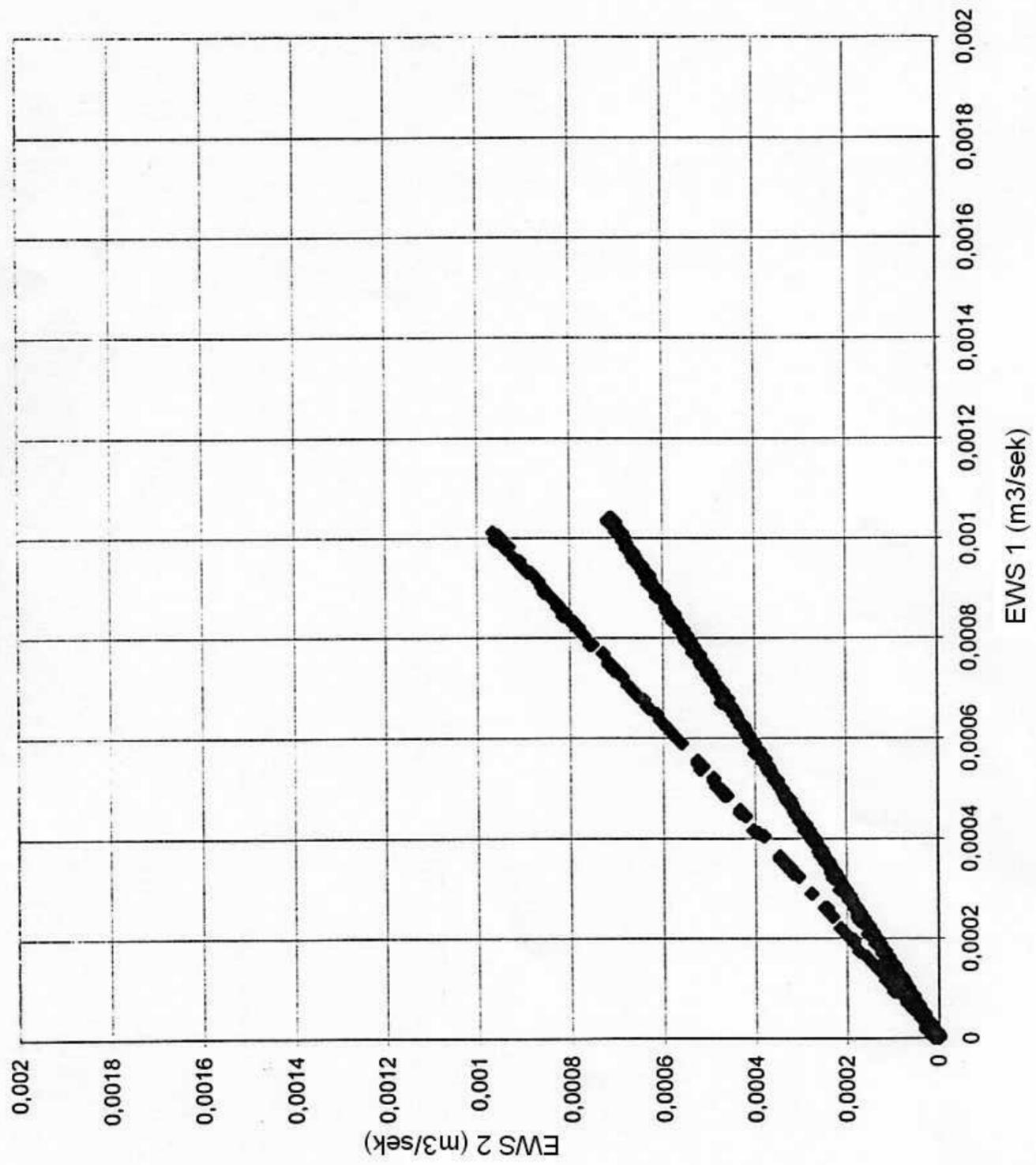
Vergleich der Durchflussmengen in EWS 3 und EWS 1 (30.01.01 bis 02.11.01)



Vergleich der Temperaturdifferenzen in EWS 3 und EWS 1 (30.01.01 bis 02.11.01)



Vergleich der Durchflussmengen in EWS 2 und EWS 1 28.09.99 - 08.10.99 und
10.04.00 - 17.10.00



Vergleich spezifische Leistungen in EWS 2 und EWS 1 28.10.99 - 08.10.99 10.04.00 - 17.10.00

