

MASTERARBEIT

Solarthermische Frühbeetheizung

Unterschiede in der elektrischen und solarthermischen Beheizung eines Frühbeets.

Verfasser:

Martin Torner

Matrikelnummer:

0740252

Studienrichtung und -kennzahl:

Umwelt- und Bioressourcenmanagement, 066 427

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Herbert Braun

Wien, Juni 2013



Danksagung

Herzlich bedanke möchte ich mich bei ...

... meinen Eltern, die mich während meines Studiums immer unterstützen.

... Dr. Herbert Braun, meinem Betreuer, für hilfreiche Anregungen.

... Dr. Johannes Balas, Dr. Herbert Weingartmann und DI Wolfgang Trauner, die mir fachkundige Expertentipps zu den Themen Pflanzenbau, Landtechnik und solarthermische Energiegewinnung gaben.

... Kurt Fichtenbauer und Matthias Harreither, die mir Bauteile für den Versuchsaufbau zur Verfügung stellten.

... Siegfried Schneider und Wolfgang Schromm, die die notwendigen Installateur-Professionistenarbeiten durchführten.

... Dr. Josef Eitzinger, Dr. Erich Mursch-Radlgruber, DI Heidelinde Trimmel und Dr. Herbert Formayer vom Institut für Meteorologie an der Boku, für das Verborgnen der Temperaturmessgeräte und Datenlogger sowie für Tipps zur Auswertung der Messungen und der Bereitstellung von meteorologischen Daten aus der Vergangenheit.

Kurzfassung

Im Gartenbau ist es üblich, Jungpflanzen in Frühbeeten unter Glas vorzuziehen. Da die Aussaat noch im Winter bzw. im Frühling erfolgt, werden Frühbeete auch beheizt. Für den Hobbygartenbau bietet der Fachhandel elektrische Heizkabel zur Beheizung von Frühbeeten an. Die Nutzung von elektrischer Energie zur Wärmeerzeugung ist thermodynamisch gesehen suboptimal. In Zeiten der forcierten Nutzung von erneuerbarer Energie erscheint es daher sinnvoll, alternative Energiequellen zur Beheizung von Frühbeeten in Betracht zu ziehen. Ziel war es herauszufinden, wie gut der Erdboden als Wärmespeicher geeignet ist, wie groß ein externer Speicher dimensioniert sein müsste und unter welchen Voraussetzungen der Anschluss an eine solarthermische Hausheizungsanlage erfolgen könnte. Teil der Arbeit war die Konstruktion eines Solarkollektors, dessen Leistung mit der Elektroheizung im Feldversuch verglichen wurde. Dieser Feldversuch, bei dem Lauch ausgepflanzt wurde, lieferte die nötigen Daten durch Temperaturmessungen in verschiedenen Bodentiefen und Aufzeichnung der Energie- und Wärmeflüsse der beiden Heizungen. Zur Beurteilung der Erträge der beiden Beete wurden Temperaturprofile erstellt und die Temperatursummen im Boden mit den Energiemengen der Heizanlagen verglichen. Es stellte sich heraus, dass der Erdboden als Wärmespeicher bedingt tauglich ist, ein externer Speicher ca. 100 Liter pro Quadratmeter Beetfläche fassen müsste und für den Anschluss an eine Hausheizungsanlage 0,5 m² bis 1 m² zusätzliche Kollektorfläche pro Quadratmeter Beetfläche benötigt werden würde.

Abstract

In horticulture it is customary to breed young plants in cold frames under glass. As sowing takes place in winter or spring, these cold frames are heated as well. For hobby-horticulture the specialist shops offer electric heating wires to heat cold frames. The utilization of electric energy for heat supply is thermodynamically suboptimal. In the age of the forwarding use of renewable energy it appears appropriate to consider alternative energy sources for heating cold frames. The target was to find out, how suitable the soil as a heat reservoir is, which dimensions an external heat reservoir should have and under which conditions a connecting to a solar thermal household heating system would be possible. Part of this thesis was the construction of a solar panel to compare its power with the electric heating in a field trial. This field trial – for which allium was planted – supplied the necessary data by temperature measurements in different soil depths and by the logging of energy and heat flows of the two heating systems. For the appraisal of the yields, temperature profiles were created and the temperature sums in the soil were compared with the energy quantities of the two heating systems. It turned out, that the soil is conditionally suitable as a heat storage, that an external reservoir should contain 100 liter per square meter cultivated space and for the connecting to a household heating system 0,5 m² to 1 m² of additional solar panels would be needed.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	3
Kurzfassung	4
Abstract	5
Inhaltsverzeichnis	6
1 Einleitung und Forschungsfrage	9
1.1 Forschungsfragen	11
2 Forschungsdesign und methodisches Vorgehen	12
2.1 Physikalische Faktoren	12
2.1.1 Bodenwärme	12
2.1.2 Klimadaten	14
2.1.3 Einstrahlungsdaten	15
2.2 Gartenbauliche und biologische Beschreibung.....	16
2.2.1 Versuchsbeete	16
2.2.2 Bepflanzung	18
2.2.2.1 Jungpflanzenaufzucht:.....	19
2.2.2.2 Vorgaben für die Beheizung der Beete	20
2.3 Energietechnische Beschreibung:.....	22
2.3.1 Prinzip der solarthermischen Energieumwandlung.....	22
2.3.2 Dimensionierung der Anlagen:	24
2.3.3 Konstruktion der Heizungsanlagen:.....	26
2.3.3.1 Kollektorbau:	26
2.3.3.2 Solarheizungssystem:	28
2.3.3.3 Elektroheizungssystem:.....	31
2.3.4 Verwendete Steuerungs- und Regeltechnikapparate.....	33
2.3.4.1 Begriffe.....	33
2.3.4.2 Zweipunktregler	34
2.3.4.3 Kaskadenregelung.....	35
2.3.4.4 Totzeiten	36
2.3.4.5 PID-Regelung.....	37
2.3.4.6 Mischerregelung.....	40

2.3.5	Praktische Umsetzung der Steuerungs- und Regeltechnik.....	40
2.3.5.1	Montage der Temperatursensoren für Steuerungs- und Regeltechnik.....	40
2.3.5.2	Programmierung der Regelungsanlagen	42
2.3.5.3	Testläufe zur Findung geeigneter Parameter für die Heizanlagen	42
2.3.5.4	Programmierung der Elektroheizung	43
2.3.5.5	Programmierung der Solarheizung	45
2.4	Messungen und Bewertungen.....	49
2.4.1	Temperaturmessungen	49
2.4.1.1	Messeinrichtungen	49
2.4.1.2	Kalibrierung der Temperaturmessgeräte	50
2.4.1.3	Aufbau der Sensoren und Abstimmung der Messgeräte.....	51
2.4.2	Ertragsmessungen	53
2.4.2.1	Prinzip der Beurteilung anhand von Temperatursummen	53
2.4.2.2	Optische Beurteilung	54
2.4.2.3	Zählung der Individuen	55
2.4.2.4	Gravimetrische Messung.....	55
2.4.3	Strahlungsmessung	56
2.4.4	Energiemessungen	57
2.4.4.1	Energiemessung an der Solaranlage.....	57
2.4.4.2	Energiemessung der Elektroheizung.....	59
3	Ergebnisse.....	60
3.1	Witterungsverlauf.....	60
3.2	Bodentemperaturprofile.....	61
3.2.1	Temperaturprofile Elektroheizung	61
3.2.1.1	Detailbetrachtungen 20 cm Tiefe und 30 cm Tiefe.....	62
3.2.1.2	Temperaturgradient im Elektrobeet	66
3.2.2	Temperaturprofile Solarheizung	67
3.2.2.1	Detailbetrachtungen bestimmter Zeiträume im Solarbeet	68
3.2.2.2	Temperaturgradient im Solarbeet	71
3.2.3	Temperaturprofile Außenbereich.....	72
3.3	Bodentemperatursummen.....	73
3.3.1	Zeitliche Entwicklung der Bodentemperatursummen.....	74

3.4	Lufttemperaturprofile	77
3.5	Lufttemperatursummen	79
3.6	Biomasseertrag.....	80
3.6.1	Optischer Eindruck:.....	81
3.6.2	Zählung der Individuen:.....	82
3.6.3	Frisch- und Trockengewicht:	83
3.6.4	Nährstoffversorgung:.....	83
3.7	Energie	84
3.7.1	Speicherverhalten des Bodens bei Solarheizung	84
3.7.2	Wirkungsgrad der Solaranlage.....	87
3.7.3	Wirkung der PID-Regelung und der Mischerregelung.....	89
4	Schlussfolgerungen.....	90
4.1	Ertragsbeurteilungen anhand der gesammelten Ergebnisse	90
4.1.1	Witterung und Temperatur	90
4.1.2	Auswirkung der Schädlinge.....	91
4.2	Energetische Beurteilungen	93
4.2.1	Beurteilung der Literaturangaben für diesen Versuch.....	93
4.2.2	Tauglichkeit des Bodens als Speicher.....	94
4.2.2.1	Speichersimulation	95
4.2.2.2	Grundeinstellungen für die Simulation	95
4.2.2.3	Speichersimulationsergebnisse	98
4.2.3	Optimierung der Pumpleistung und der Verlegungstiefe.....	100
4.2.4	Anregungen für Anlagen in der praktischen Anwendung.....	101
5	Literaturverzeichnis	104
5.1	zitierte Normen.....	105
6	Anhang.....	106
6.1	Abbildungsverzeichnis	106
6.2	Tabellenverzeichnis	108
6.3	Datensammlung.....	109

1 Einleitung und Forschungsfrage

„Die Absolvent/innen des Masterstudiums Umwelt- und Bioressourcenmanagement (UBRM) verfügen über empirische und analytische Fertigkeiten und fachübergreifende Kompetenzen, die für die Erarbeitung von interdisziplinären Lösungen sowohl im betrieblichen als auch im gesellschaftlichen Umfeld benötigt werden.“ (UBRM Curriculum, 2011) Durch die Integration des gesellschaftlichen Umfelds spricht man von einem transdisziplinären Ansatz, der neben Nutzung von Fachwissen aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen auch auf die Praxis Bezug nimmt. Um diesen Anforderungen aus dem Studienplan gerecht zu werden, wurde für die Masterarbeit ein Thema gewählt, das aus einem gesellschaftlichen bzw. betrieblichen Umfeld kommt.

Im Gartenbau ist es üblich, Jungpflanzen in Frühbeeten unter Glas vorzuziehen. Da die Aussaat noch im Winter bzw. im Frühling erfolgt, werden Frühbeete auch beheizt. Für den Hobbygartenbau bietet der Fachhandel elektrische Heizkabel zur Beheizung von Frühbeeten an. Die Nutzung von elektrischer Energie zur Wärmeerzeugung ist thermodynamisch gesehen suboptimal. In Zeiten der forcierten Nutzung von erneuerbarer Energie erscheint es daher sinnvoll, alternative Energiequellen zur Beheizung eines Frühbeets in Betracht zu ziehen. Im Erwerbsgartenbau werden Bodenheizungen in Form von unterirdisch verlegten Rohrsystemen betrieben, durch die heißes Wasser zirkuliert, das entweder konventionell oder solarthermisch beheizt werden kann.

Für die solarthermische Beheizung stehen Systeme mit unterschiedlich hohem Steuer- bzw. Regelungsaufwand zur Verfügung. Für den Einsatz im Hobbygartenbereich sind Systeme vorteilhaft, die wenig Material- bzw. Finanzeinsatz und damit auch wenig Steuer- bzw. Regelungsaufwand erfordern. Für diesen Fall könnten Anlagen im so genannten Selbstumlauf verwendet werden, die von der Sonne aufgeheiztes Wasser durch Rohre in den Boden leiten. Allerdings könnten diese unregelmäßigen Anlagen bei starker Sonneneinstrahlung die Heizungsrohre bzw. den Boden kurzfristig so stark aufheizen, dass die Pflanzenwurzeln Schaden nehmen könnten und ungünstige Bedingungen für die Bodenflora und -fauna vorherrschen würden. Außerdem werden bei dieser Nutzung der Sonnenenergie ohne externen Speicher die Temperaturtagesspitze verstärkt, das nächtliche Temperaturtief abgeschwächt und Einstrahlungsspitzen um die Mittagszeit ineffizient genutzt. Der Erdboden hat aber eine hohe Kapazität Wärme zu speichern, die bei entsprechender Isolierung für ein höheres Temperaturniveau im Frühbeet im Vergleich zur Umgebung sorgen könnte.

Dieser Versuch soll empirische Daten sammeln, da genaue Wärmeflussberechnungen sehr aufwendig sind. Zur Beschreibung von Energieverhältnissen im Boden werden die Temperaturen in unterschiedlichen Tiefen herangezogen. Außerdem liegen in der Literatur wenige bzw. sehr unterschiedliche Werte zur Dimensionierung von Bodenheizungen, die mit war-

mem Wasser betrieben werden vor. Sollte sich beim Versuch zeigen, dass die alleinige Speicherung im Boden nicht zufrieden stellende Erträge zu erzielen, könnte auf Grund der gesammelten Daten die Dimensionierung eines zusätzliche erforderlichen Speichers abgeleitet werden. Des Weiteren kann bei diesem Versuch erhoben werden, welcher Regelbedarf nötig ist, um die Beheizung mit für Flora und Fauna verträglichen Temperaturen durchzuführen. Ebenso sind für einen eventuellen Anschluss an eine bestehende solare Hausheizungsanlage Daten nötig, welche Veränderungen an der Dimensionierung für die Mitbenützung durch eine Frühbeetheizung vorgenommen werden müssten.

Diese Daten werden während des Versuchs durch die Computer gesteuerte Anlage und durch eine Reihe von Temperatur- und Strahlungssensoren gesammelt und ausgewertet. Somit bietet diese Masterarbeit, was von UBRM-Studierenden erwartet wird: Es handelt sich um einen empirischen Versuch, der Kompetenzen aus verschiedenen Fachbereichen erfordert, die für die Analyse der Ergebnisse und für die daraus abgeleiteten Lösungen benötigt werden.

1.1 Forschungsfragen

Was soll durch den Versuch mit der solarthermischen Frühbeetheizung herausgefunden werden? Es soll die Tauglichkeit einer solarthermischen Heizanlage zur Beheizung eines Frühbeets überprüft werden. Dafür wurden folgende Aufgaben und Fragestellungen formuliert:

1. Konstruktion einer solarthermischen Heizanlage und Überprüfen der Werte für Heizleistungen aus der Literatur
 - Welche Wirkungsgrade können erzielt werden?
 - Welches Speicherverhalten zeigt der Boden?

2. Unterschiede in der elektrischen und solarthermischen Beheizung eines Frühbeets. Die Unterschiede werden an folgenden Indikatoren festgestellt:
 - Welche Biomassenertragsunterschiede gibt es zwischen den beiden Heizformen?
 - Wie verlaufen die Temperaturprofile ober- und unterirdisch bei den beiden Heizformen?
 - Welche Energiemengen werden in den Boden geleitet?
 - Welche technischen Unterschiede bestehen? (Steuerung und Regelung, Materialbedarf)
 - Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenheizung auf die Lufttemperatur in den Glashäusern

3. Vorschläge für die praktische Anwendung
 - Optimierung der Regelungstechnik
 - Optimierung der Verlegungstiefe
 - Theoretische Dimensionierung eines Speichers basierend auf den gesammelten Daten
 - Integration in eine bestehende oder geplante Hausanlage

2 Forschungsdesign und methodisches Vorgehen

Für den Versuch soll eine Anlage gebaut werden, die die Temperaturen in den Versuchsbeeten zumindest auf 10°C – wie später noch genauer erklärt – über den durchschnittlichen Monatsmitteltemperaturen des Bodens im März heben kann. Die Lage der Gemeinde, in der sich das Grundstück für den Versuchsaufbau befindet, ist in Abbildung 1 durch einen roten Kreis markiert. Die Beschreibung des Versuchsaufbaus kann grob in drei große Bereiche gegliedert werden. Der Versuch findet im Feld statt und ist von klimatischen Einflüssen betroffen, die unter der physikalischen Beschreibung erwähnt werden. Die Bepflanzung erfordert eine biologische Betrachtung über die Ansprüche der Pflanzen sowie die gärtnerische

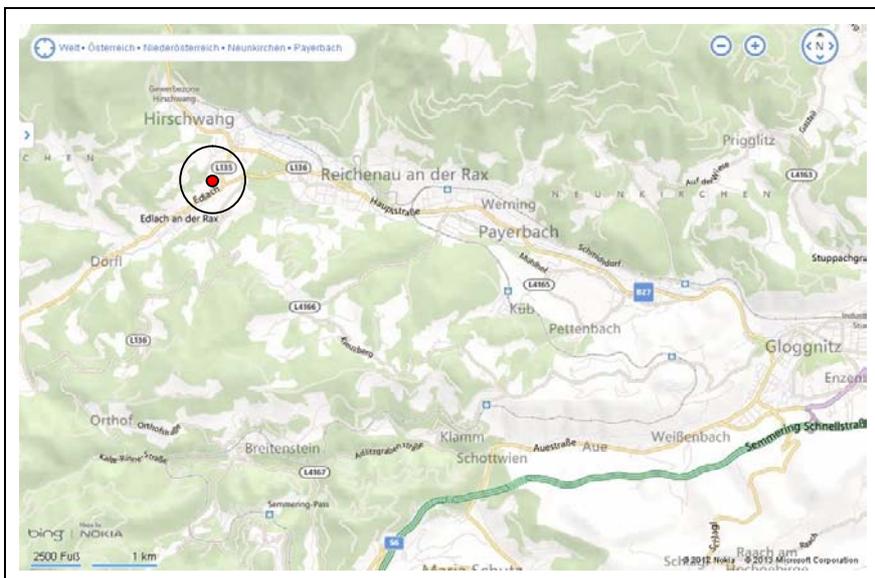


Abbildung 1: Lageplan Versuchsstandort (bing.maps, 2013)

Umsetzung dieser Erfordernisse. Die Konstruktion und der Betrieb der Heizungsanlagen setzt eine energetische Beschreibung voraus. Zuletzt sind noch Informationen über das Erfassen und Auswerten der Messungen nötig. In dieser thematischen Sortierung werden nachstehend sämtliche relevante Informationen gegeben.

2.1 Physikalische Faktoren

Die bedeutendsten Faktoren für diesen Versuch betreffen das Verhalten der Wärme im Boden und Klimadaten über Temperaturen und Globalstrahlung.

2.1.1 Bodenwärme

Böden bestehen aus unterschiedlichen Bestandteilen, darunter auch Wasser. Es hängt zum Großteil vom Wassergehalt ab, wie schnell oder langsam sich ein Boden erwärmt bzw. abkühlt. Wasser hat, verglichen mit anderen Bestandteilen, die höchste spezifische Wärme, wie

aus Tabelle 1 entnommen werden kann. Die spezifische Wärme gibt an, wie viel Energie (Joule) nötig ist, um die Temperatur von 1 Gramm eines Körpers um 1 Kelvin zu erhöhen. Je mehr Energie nötig ist, um einen Körper zu erwärmen, desto langsamer erwärmt er sich. Nasse Böden ändern ihre Temperatur daher viel langsamer. Ebenso verhält es sich mit der Wärmeleitfähigkeit. Je feuchter ein Boden ist, desto besser wird die Wärme darin geleitet.

Tabelle 1: Spezifische Wärme der wichtigsten Bestandteile des Bodens bei 20°C (J/g)	
Stoff	J / g
Wasser	4,182
Luft	1,004
Quarz	0,795
Kalk	1,004
Lehm	0,921
Ton	0,962
Humus	1,841
Alter Torf	1,967
Quelle: Mückenhausen, 1993	

Energiegewinne erhält der Boden durch direkte Wärmestrahlung von der Sonne und aus der Atmosphäre sowie vom warmen Regen. (vgl. Mückenhausen, 2010, S. 347ff)

Die einzige Energiequelle für den Boden ist also die Sonne. Erdwärme und Wärme, die aus dem mikrobiellen Umsatz beim Abbau der organischen Substanz entsteht, treten bei diesem Versuch in den Hintergrund. Bei bodenkundlichen Untersuchungen sind Wärmeinhalt und spezifische Wärmekapazität schwer zu bestimmen. Aussagen über den thermischen Energiehaushalt werden bei Arbeiten im Freiland fast ausschließlich über den Wärmezustand getroffen, der durch Temperaturmessungen bestimmt wird. (vgl. Scheffer Schachtschabel 2010, S. 255) Die Bodentemperatur ist bei diesem Versuch der wesentlichste gemessene Parameter, auf dessen Grundlage Rückschlüsse bezüglich der Ergebnisse gemacht werden können.

Weitere Recherchen im agrarmeteorologischen Bereich ergaben, dass genaue Berechnungen von Bodentemperaturen diverse Faktoren berücksichtigen müssen, die in der Praxis nur mit großem Messaufwand erhoben werden können. Einer dieser Faktoren ist zum Beispiel der Wassergehalt des Bodens, der auch in verschiedenen Tiefen erhoben werden muss. Ein wesentlicher Faktor, der den Wärmehaushalt des Bodens stark beeinflusst, ist auch der Prozess des Frierens und Auftauens. (vgl. Grabenweger, 2011)

Im zu untersuchenden Beet kann es zu Beginn der Versuchsperiode zu Bodenfrösten kommen. Die Glashäuser sind nicht beheizt, daher ist es nicht ungewöhnlich, dass der Oberboden zu dieser Zeit einige Zentimeter zufriert und so die Wärmeleitfähigkeit, Wärmeinhalt und spezifische Wärmekapazität des Bodenwassers durch das Erstarren und das Schmelzen stark beeinflusst. Verschiedene Bereiche im Oberboden könnten entweder auf Grund der

Lage im Glashaus oder der Nähe zu Heizmedien bzw. wegen unterschiedlicher Zusammensetzung verschiedene Wassergehalte aufweisen. Der Oberboden ruht zudem auf einem inhomogenen Schotterkörper.

Zhang et al bemerkten, dass es sehr schwierig ist, die Wärmeleitfähigkeit von porösen Materialien - wie Erdboden – zu modellieren, da sehr viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Sie erarbeiteten ein multidimensionales Modell, das 20 Faktoren berücksichtigt, die alle erhoben bzw. berechnet werden müssen (Zhang et al, 2006, s.p.)

Es erscheint daher sinnvoll einen Versuch zu machen, bei dem empirische Daten gesammelt werden können, deren Berechnung sonst den Umfang einer Masterarbeit übersteigen würde.

2.1.2 Klimadaten

Tabelle 2: Monatsmittelwerte der Bodentemperatur in 20cm Tiefe in °C, Reichenau / Rax			
Monat	2009	2010	2011
März	3,2	3,2	3,4
April	10,3	8,3	9,3
Mai	14,0	12,5	13,4
Quelle: ZAMG 1, 2012			

Für das Wachstum der Pflanzen ist auch die Bodentemperatur relevant. Für die Bodenorganismen haben sich Temperaturen um 25°C als optimal herausgestellt. Bei Temperaturen über 30°C fällt die Leistung der Bodenorganismen wieder. Zu starke Erwärmung der oberen Bodenschichten im Sommer wirkt sich negativ auf gärtnerische Kulturen aus, während eine schnelle Erwärmung des Bodens im Frühjahr positiv ist und frühere Ernten erwarten lässt. (vgl. Mückenhausen, 2010, S. 347)

Tabelle 3: Mittelwerte der Lufttemperatur (2 m) 8:00 - 16:00 Uhr in °C, Reichenau / Rax					
Monat	Temp.	Monat	Temp.	Monat	Temp.
Mär.09	5,3	Mär.10	6,8	Mär.11	8,4
Apr.09	16,2	Apr.10	12,4	Apr.11	14,5
Mai.09	17,1	Mai.10	14,6	Mai.11	17,7
Quelle: ZAMG 1, 2012					

Das Versuchsbeet liegt in Edlach an der Rax, im südlichen Niederösterreich, auf ca. 520 m Seehöhe. Im Nachbarort Reichenau an der Rax, der sich ca. 1,5 km östlich von Edlach auf ca. 480 m Seehöhe befindet, be-

treibt die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) eine Messstation, deren Daten als Ausgangsbasis für den Versuch herangezogen werden. Die Bodentemperaturen der vergangenen Jahre werden als Grundlage für die Dimensionierung der Versuchsanlage herangezogen. Die Mittelwerte der Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen sind in

Tabelle 2 ersichtlich. Die Monatsmittelwerte berechnen sich aus dem Durchschnitt der Tagesmitteltemperaturen. Die Tagesmitteltemperaturen berechnen sich aus dem Durchschnitt der Temperaturen zur vollen Stunde. Für den Versuch sind ebenfalls die Lufttemperaturen relevant. In Tabelle 3 wurden auf Basis der Temperaturen zur vollen Stunde die Durchschnittstemperaturen für die jeweiligen Monate während des Tages berechnet.

Niederschlagsmengen werden für den Versuch nicht benötigt, da die Beete künstlich bewässert werden.

2.1.3 Einstrahlungsdaten

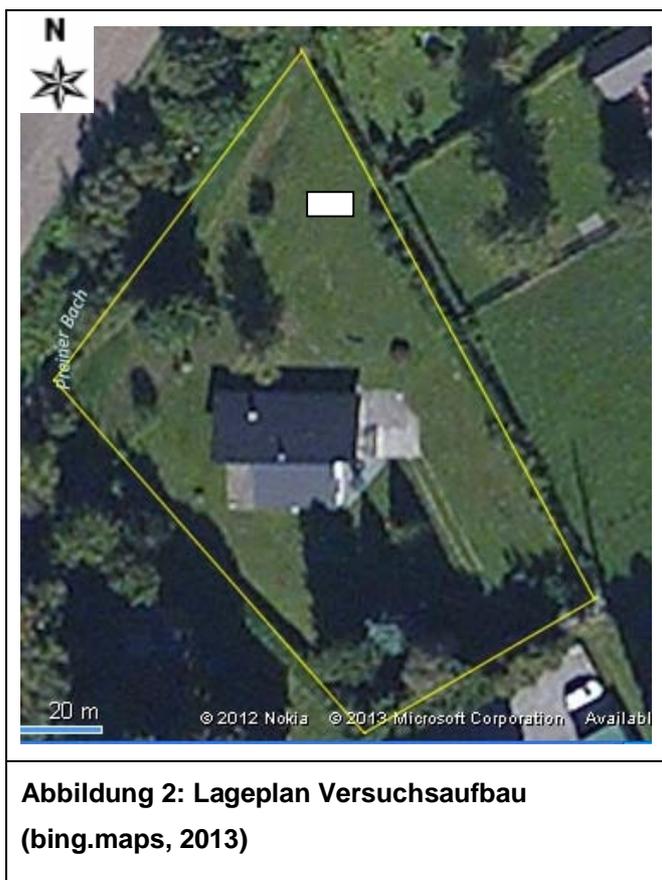
Tabelle 4: Mittlere Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/m², horizontale Ebene, Reichenau / Rax					
Monat	Strahlung	Monat	Strahlung	Monat	Strahlung
Jänner	34,9	Mai	140,7	September	97,0
Feber	49,2	Juni	146,2	Oktober	61,9
März	82,4	Juli	152,3	November	35,7
April	113,1	August	134,0	Dezember	26,9
Quelle: OENORM M7701					

Für die Dimensionierung des Solarkollektors sind Einstrahlungsdaten für diesen Standort nötig. In Tabelle 4 sind die mittleren Monatssummen der Globalstrahlung in Reichenau an der Rax dargestellt, wie sie in der ÖNORM ange-

geben werden. (ÖNORM M7701, 2004)

2.2 Gartenbauliche und biologische Beschreibung

Der gewählte Standort, der in Abbildung 2 durch das weiße Rechteck dargestellt ist, berücksichtigt die gartenbaulichen Erfordernisse. Das Versuchsbeet befindet sich in der nordöstlichen Ecke des Grundstücks und die Längskanten sind genau in Ost-West-Richtung angelegt. Diese Position gewährleistet ausreichend unbeschatteten, freien Raum Richtung Süden. Im Osten befindet sich eine Hecke. Der Abstand wurde so gewählt, dass beide Versuchsbeete möglichst ähnliche Sonnenstundenzahlen aufweisen. Im Westen stehen hohe Fichten, die am Nachmittag für kurzzeitige Beschattung sorgen. Für die spätere Auswertung der Erträge ist zu berücksichtigen, dass das westliche Versuchsbeet durch diesen Schattenwurf weniger lange bestrahlt wird als das östliche Beet.



2.2.1 Versuchsbeete

Die Beete wurden auf der als Wiese genutzten Fläche angelegt. Bei Probegrabungen stellte sich heraus, dass der Bereich der Versuchsanlage auf einem Schotterkörper des anliegenden Bachs liegt. Der Schotterkörper befindet sich in ca. 35 cm Tiefe. Im Gartenbau werden Gemüsebeete üblicherweise 2 Spaten tief umgegraben, was einer Tiefe von ca. 50 cm entspricht. Um diese 50 cm zu erreichen mussten 15 cm Schotterschicht abgetragen werden und durch Erde ersetzt werden, die aus dem gesammelten Auswurf der Maulwürfe im umliegenden Garten bestand. Der umliegende Garten ist von der selben Wiese bewachsen, an deren homogenem Wuchs auf ähnliche Bodenqualitäten im Garten zu schließen ist. Man kann davon ausgehen, dass sich durch das Einbringen der Erde die Bodenqualitäten in den Beeten nicht änderten.

Die beiden Beete sind mit Innenmaßen von 180 cm x 110 cm relativ klein. Ohne Isolierung würden sich die Temperaturen am Rand und in der Mitte stark unterscheiden. Um diesen Effekt zu vermindern, wurden die Beete vertikal bis in 50 cm Tiefe mit einer 8 cm dicken Iso-

lierung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) versehen. Das für den Versuch betrachtete Beetvolumen entspricht somit gerundet 1 m³. In der Horizontalen erfolgte keine Isolierung, da diese die Wasserabflussverhältnisse stören würde und in der praktischen Anwendung große Erdbewegungen nach sich ziehen würde. Ein Abstand von 70 cm zwischen den beiden Beeten gewährleistet, dass sie sich thermisch nicht beeinflussen (Weingartmann, 2011) Der Außenbereich befindet sich in 120 cm Abstand zu den Gewächshausbeeten.

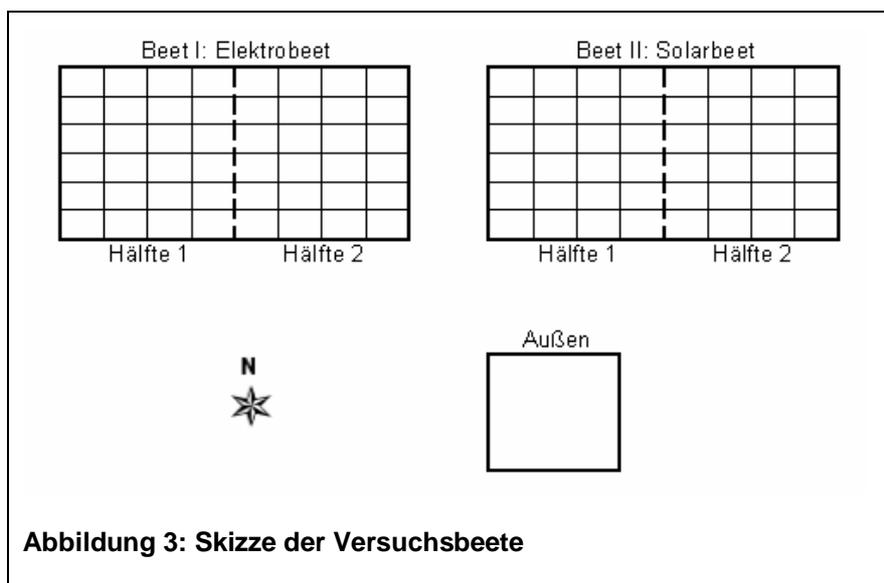


Abbildung 3: Skizze der Versuchsbeete

Die Isolierungen sind an Holzrahmen befestigt, die auch als Fundament für die Glashäuser dienen, welche jeweils aus zwei permanent verbundenen Einzelglashausteilen bestehen. Die Versuchsbeete teilen sich daher jeweils in Hälfte 1 und Hälfte 2. Der Rahmen dient zu-

sätzlich zur Befestigung des Monitoringrasters, welcher pro Hälfte, wie in Abbildung 3 dargestellt, jeweils 48 Pflanzstellen mit einer Kantenlänge von 22,5 cm x 18,3 cm aufweist.

Die Heizmedien wurden jeweils in 30 cm Tiefe verlegt. Im gewerblichen Gartenbau werden Bodenheizungsrohrsysteme, die mit Warmwasser beschickt werden, in Tiefen von 40 cm bis 50 cm verlegt. (vgl. Krug et al, 2002, S. 142 und vgl. Müller, Preisig, 1971, S. 35)

Für den Versuch wurde die Verlegungstiefe deutlich flacher gewählt, weil die Wurzeln von Jungpflanzen in einem Frühbeet nicht so tief liegen. Eventuell könnten die Rohre noch flacher verlegt

werden. Das kann im Rahmen der Versuchsauswertung überprüft werden. Bei einer zu flachen Verlegung kann es während der Mittagsstunden zu einer Konkurrenz zur Wärmestrahlung, die direkt von der Sonne auf den Boden einwirkt, kommen. Der Thermostat würde aus-

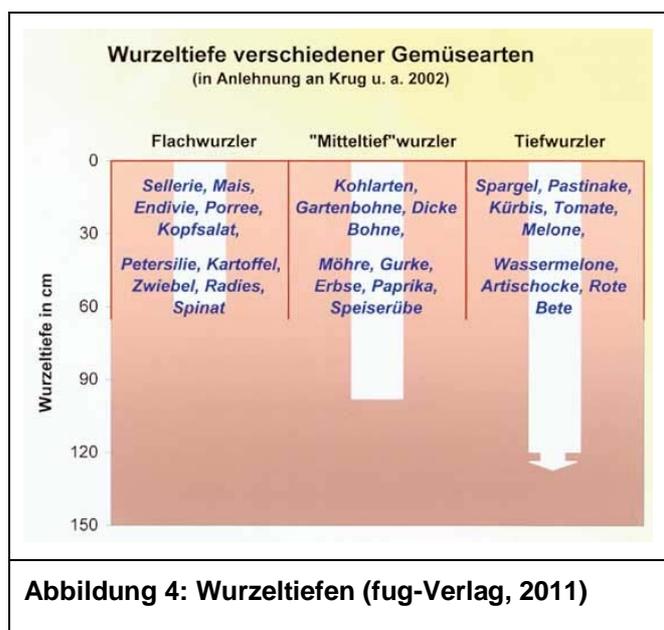


Abbildung 4: Wurzeltiefen (fug-Verlag, 2011)

lösen und so würde wertvolle Energie in den Mittagsstunden nicht genutzt werden und im Boden, der bei diesem Versuch als Speicher genutzt werden soll, wird weniger Energie gespeichert. Die Bodenheizung befindet sich genau in der Mitte der für Flachwurzler angegebenen Wurzeltiefe von 60 cm. (siehe Abbildung 4) Eine detaillierte Beschreibung der Heizungsanlagen erfolgt bei der technischen Beschreibung der Versuchsanlage, wo auch Rohrdurchmesser und –abstand erörtert werden.

Gewächshäuser:

Es wurden so genannte Thermohäuser für Frühbeete der Firma Juwel verwendet. Diese Gewächshäuser bestehen aus Doppelstegplatten aus Kunststoff und sind für die Verwendung auf Juwel-Hochbeeten vorgesehen, da sie auf einem stabilen Untergrund festgeschraubt werden müssen. Sie sind für den Versuch geeignet, da der Holzrahmen, der die Isolierung vor mechanischen Beschädigungen schützt, als Fundament für die Thermohäuser dient. Aus Stabilitätsgründen setzt sich jedes Thermohaus aus 2 frei aufstellbaren Hälften zusammen, die durch Schrauben miteinander verbunden werden. Die Gewächshäuser sind daher mit 4 automatischen Fensteröffnern ausgestattet, die ein Überhitzen der Beete verhindern. Die Bewässerung erfolgte händisch mit Gießkannen.

2.2.2 Bepflanzung

Der Versuchsbeginn war Anfang März. Zu dieser Jahreszeit liegen die Temperaturen auch unter dem Gefrierpunkt. Es ist davon auszugehen, dass eine Bodenheizung nicht für die Beheizung der nur ca. 40 cm hohen Glashäuser sorgen kann. „Die dem Boden zugeführte Wärme wird, soweit sie nicht in tiefere Bodenschichten gelangt, an der Bodenoberfläche im wesentlichen durch Verdunstung abgegeben. Deshalb ist eine Erhöhung der Lufttemperatur über die Bodenheizung – zumindest bei feuchter Bodenoberfläche – kaum möglich.“ (Tantau, 1983, S. 184) Da bei diesem Versuch nur der Boden, nicht aber die Luft in den Glashäusern beheizt wird, sind die Pflanzen eventuell auch Frost ausgesetzt. Benötigt wird ein Gemüse, das in hoher Individuenzahl auf der zur Verfügung stehenden Fläche gepflanzt werden kann und das frostbeständig ist. Für die verschiedenen Gemüsesorten liegen Daten über optimale Temperaturbereiche bei der Keimung vor. Man kann davon ausgehen, dass die optimale Temperatur für das Wurzelwachstum ca. 2°C darunter liegt. (Balas, 2011) In welchem Ausmaß die im Versuch erreichten Bodentemperaturen auch für andere Pflanzen geeignet sind kann durch Vergleich der Temperaturprofile abgeschätzt werden. Im nachfolgenden Kapitel wird beschrieben, welche Pflanze für den Versuchsaufbau geeignet sein könnte.

2.2.2.1 Jungpflanzenaufzucht:

Die Wärmezufuhr in die Frühbeete erfolgt aktiv durch die Bodenheizungen bzw. passiv durch die Einstrahlung in die Glashäuser. Die Lufttemperatur ist durch die fehlende Wärmezufuhr in der Nacht starken Amplituden ausgesetzt. Daher muss eine robuste Pflanze gewählt werden, die keine bleibenden Schäden durch Frost erleidet. Für Lauch, auch Porree genannt, liegen folgende Kardinalwerte für die Bodentemperaturen vor: Als Minimumtemperatur werden 2°C bis 5°C angegeben, das ökologische Optimum liegt bei 25°C. (Krug et al, 2002, S.141). Als Richtwerte für die Lufttemperatur während der Auflaufphase¹ gelten als Minimumtemperatur theoretisch 0°C bzw. praktisch 7°C, während die Maximumtemperatur 25°C beträgt. (Krug et al, 2002, S.229) Die Auspflanzung von 23 Pflanzenpaaren pro m² im Abstand 25x17 cm erfolgt nach dem Auflaufen. Darüber hinaus ist Lauch winterhart. (Krug et al, 2002, S. 405ff) Daher wurde für den Versuch Lauch gewählt.

Keimung:

Zum Einsatz kam gebeiztes Saatgut, um etwaigen Pilz- oder Insektenbefall vorzubeugen und eine möglichst homogene Jungpflanzenpopulation für den Versuch bereitzustellen. Nach Krug ermöglicht der enge Pflanzabstand von Lauch eine hohe Individuenzahl, die bei Vergleichen für die nötige statistische Signifikanz sorgt. Wie in Abbildung 3 dargestellt, bieten die Versuchbeete insgesamt 96 Pflanzstellen. Daher wurden für den Versuch mindestens 96 Lauchpaare benötigt, die durch Aussaat von jeweils 4 Samen in 112 Pflanzschalen erzielt werden konnten. Nach der Keimung wurden die Keimlinge auf jeweils 2 pro Pflanzschale vereinzelt. Diese Vorgehensweise ist angelehnt an die gängige Gartenbaupraxis.

Die Auflaufdauer beträgt 2-3 Wochen, in denen Temperaturen von 15°C nicht unterschritten werden sollen. Gesät wird in 4 cm große Presstöpfe (vgl. Krug et al, 2002, S. 405ff) Da die unbeheizten Gewächshäuser starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind und auch Frost auftreten kann, erfolgte die Keimung in einem Innenraum an einem westwärts gelegenen Fenster bei Temperaturen um 18°C und einer durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit von 60%. Gesät wurde in 4 Pikierplatten, die jeweils über 28 ausreichend große Gefäße verfügen und in einem Regal mit reflektierender Rückwand, das direkt vor dem Fenster platziert wurde, Platz fanden. Um einen ungleichmäßigen Wuchs zu verhindern, wurden die Schalen, einem Rotationsschema folgend, ausgetauscht und gedreht.

¹ Die Auflaufphase bezeichnet den Zeitraum von der Saat über die Keimung bis der Keimling die Bodenoberfläche durchstößt.

Tabelle 5: Kulturdaten der Versuchspflanzen

Saatgut	Allium porrum L.; Herbstriesen 3 / Alora, Fülljahr 2012, Austrosaat
Beize	Thiram
Saattermin	21.02.2012
Vereinzelt	05.03.2012
Pflanztermin	14.03.2012
Bewässerung	14.03.2012, 24.03.2012, 05.04.2012, 13.04.2012, 27.04.2012, 02.05.2012, 11.05.2012, 18.05.2012, 27.05.2012
Ernte	04.06.2012

Auspflanzung

Die Auspflanzung erfolgt nach der 3-wöchigen Auflaufdauer. Vor der Auspflanzung werden die beiden Beete durch Anpassung der Thermostateinstellungen, den Temperaturen im Solarbeet folgend, für die Elektroheizungsanlage auf eine gleiche Ausgangstemperatur gebracht.

Die Jungpflanzen werden bei der Auspflanzung auf gleiche Wuchshöhe kontrolliert und nach dem Zufallsprinzip aus den 4 Pflanzschalen in die 2 Beete umgesetzt. Auf Grund der vorhandenen Abmessungen der Beete werden statt 23 Pflanzenpaaren pro Quadratmeter 24 Pflanzenpaare in einem Abstand von 22,5x18,3 cm gepflanzt.

2.2.2.2 Vorgaben für die Beheizung der Beete

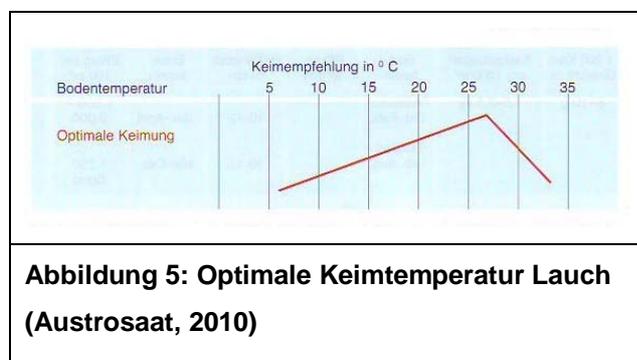


Abbildung 5: Optimale Keimtemperatur Lauch (Austrosaat, 2010)

Wie in Kapitel Bepflanzung beschrieben, kann man davon ausgehen, dass die optimalen Wurzelttemperaturen ca. 2°C unter den optimalen Keimtemperaturen liegen. Abbildung 5 zeigt, dass sich bei Temperaturen über 27°C die Keimbedingungen wieder verschlechtern. Daher kann man davon

ausgehen, dass – bezogen auf die Wurzelttemperaturen – 25°C als Optimaltemperatur angesehen werden können. Die Abbildung wurde aus dem Saatgutkatalog übernommen und weist keine Skalierung auf der y-Achse auf. Das ermöglicht die verhältnismäßige Darstellung

der individuellen Keimbedingungen der verschiedenen Pflanzen, die je Pflanzenart betrachtet, sehr unterschiedlich sein können. Die Linien der verschiedenen Pflanzenarten weisen verschiedene Temperaturschwellen für den Beginn und das Ende des günstigen Temperaturbereichs und damit unterschiedliche Steilheiten auf. So kann man gut und einfach für jede Pflanzenart die individuellen optimalen Keimbedingungen darstellen. Für den Versuch wird also angestrebt, die Temperatur über möglichst lange Zeiträume im Bereich dieses Optimalpunkts zu halten.

Im März liegen die mittleren Bodentemperaturen laut Tabelle 2 etwas höher als 3°C. Die rote Linie in Abbildung 5, die schematisch die Keimtemperaturen darstellt, zeigt, dass bei diesen Bodentemperaturen kein Wachstum stattfindet. Im Bereich zwischen 10°C und 15°C kann man schon von Bedingungen sprechen, die ein gutes Wachstum ermöglichen. Angestrebt werden also Temperaturen die ca. 10°C über den mittleren Bodentemperaturen liegen.

Dieser Wert von 10°C fließt daher in die Berechnungen zur Dimensionierung der Anlage ein.

2.3 Energietechnische Beschreibung:

Für die Durchführung des Experiments ist eine umfangreiche Versuchstechnik notwendig. Im folgenden Kapitel werden die Elektroheizung (dient als Referenz) und die Solarheizung mit ihren Regelementen vorgestellt. Für die angemessene Beheizung wurden Überlegungen zur Dimensionierung und zur Konstruktion des Solarkollektors angestellt. Vor der praktischen Umsetzung der Vorgaben wurde eine geeignete Programmierung der Regelemente durch Testläufe mit verschiedenen Einstellungen gefunden.

2.3.1 Prinzip der solarthermischen Energieumwandlung

Grundsätzlich kann Sonnenenergie aktiv und passiv genutzt werden.

Die passive Nutzung erfolgt im Gewächshaus, in dem die darin befindliche Luft bei Sonneneinstrahlung aufgeheizt wird. Luft hat eine geringe spezifische Wärmekapazität was zur Folge hat, dass die Wärme, nach dem Wegfall der Solarstrahlung, schnell an die Umgebung abgegeben wird. Der Boden im Glashaus wird durch die Sonneneinstrahlung ebenfalls erwärmt. Seine größere spezifische Wärmekapazität hat zur Folge, dass die Wärme dort länger gespeichert wird als in der Luft. Vor allem auf Grund der notwendigen automatischen Lüftung geht bei dieser Nutzung der Solarenergie ein großer Teil der eingestrahnten Energie verloren.

Bei der aktiven Nutzung der Solarenergie verwendet man zur Brauchwassererwärmung einen Kollektor, der die Sonnenstrahlung in Wärmeenergie umwandelt, in dem ein Wärmeträger aktiv durch den Kollektor gepumpt wird und er sich dadurch aufheizt. Ein Wärmeträger fungiert als Transportmedium für die Energie, die im Kollektor gesammelt wird. Zur Erfüllung dieser Aufgabe muss der Wärmeträger über eine hohe spezifische Wärmekapazität verfügen, gute Fließ- und Strömungseigenschaften aufweisen und – für die Anwendung im Außenbereich – frostsicher sein. Bis auf den letzten Punkt erfüllt normales Wasser diese Anforderungen. Zur Frostsicherheit muss es mit einem Frostschutzmittel (meist Glykol) versetzt werden. (vgl. Ladener und Späte, 2003, S. 106) Nach dem Kollektor fließt der Wärmeträger in den Speicher, wo die Wärme mit einem Wärmetauscher an das Speichermedium übertragen wird. Aus diesem Speicher wird für gewöhnlich das Brauchwasser gespeist. Abbildung 6 zeigt, dass je nach Wärmeisolierung des zu beheizenden Objekts aus diesem Speicher auch Wärme für eine teilsolare Raumheizung entnommen werden kann. Raumheizungssysteme geben die Wärme über die Wärmetauscher (Radiatoren) an die Raumluft ab. Im Fall der solarthermischen Frühbeetheizung fungiert der Boden als zu beheizendes Medium und zugleich als Wärmespeicher.

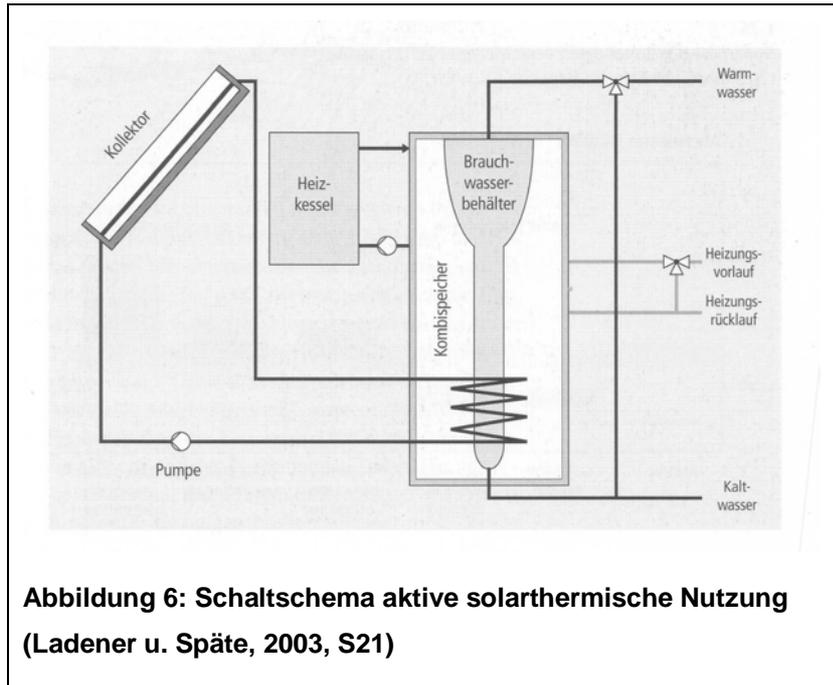


Abbildung 6: Schaltschema aktive solarthermische Nutzung (Ladener u. Späte, 2003, S21)

Häufig kommen Flachkollektoren zum Einsatz. Diese bestehen aus einem Gehäuse, das nach allen Seiten geschlossen ist. Die Seiten und die Rückwand werden gut isoliert und die Vorderseite wird mit Solarglas verschlossen. In dieses Gehäuse wird der Absorber eingebaut. Ein Absorber ist eine „schwarze Platte“, die aus gut Wärme leitenden Materialien wie z.B. Kupfer

besteht. An diese Platte sind Kupferrohre angelötet, die vom Wärmeträger durchströmt werden. Auf diese Weise wird die Wärme vom Kollektor absorbiert und mit dem Wärmeträger durch Rohrleitungen zum benötigten Ort transportiert.

Eine weitere aktive solarthermische Nutzung der Solarenergie stellt das Thermosyphon-system dar. Dabei wird das Prinzip genutzt, dass ein warmer Wärmeträger aufsteigt, während kalter Wärmeträger absinkt. Eine Pumpe ist daher nicht notwendig, stattdessen wird ein Höhenunterschied benötigt. Der Kollektor muss tiefer als der Wärmetauscher liegen, damit der Kreislauf funktioniert. Der Wärmeträger im Kollektor erwärmt sich und steigt auf Grund der geringeren Dichte im Vergleich zum kalten Wärmeträger in den Wärmetauscher auf. Dort kühlt der Wärmeträger ab, in dem er die Wärme an das zu beheizende Medium abgibt. Durch diese Abkühlung nimmt die Dichte wieder zu und der Wärmeträger drängt in den Kollektor zurück, wo der Kreislauf von neuem beginnt.

Verluste:

Bei jeder aktiven oder passiven Nutzung der Solarenergie treten Verluste in Form von Wärmestrahlung, durch Konvektion und durch Wärmeleitung auf. Sobald der Kollektor und auch alle anderen Bauteile wärmer als die Umgebung sind, strahlen sie einen Teil der absorbierten Wärme in Form von Infrarotstrahlung ab. Am heißen Absorber erwärmt sich die Luft und steigt auf. Diese Konvektion hat ebenfalls einen Wärmeabtransport vom Absorber zur Folge. Durch Wärmeleitung, wie sie etwa an den Rohren, die aus dem Kollektor hinaus führen, auftritt, aber auch an Befestigungsmaterialien wie Schrauben, geht ebenfalls Wärme verloren.

Diese Verluste sollen durch entsprechende Isolierung minimiert werden. Neben den thermischen Verlusten treten am Kollektor auch optische Verluste durch die Reflexion und Transmissionsverluste der Glasscheibe auf.

2.3.2 Dimensionierung der Anlagen:

In der Literatur liegen wenige und wenn sehr unterschiedliche Empfehlungen für die Leistung von Bodenheizungen, die Warmwasser verwenden, vor. Erzielt werden soll eine Temperaturerhöhung von zumindest 10°C gegenüber der Außentemperatur, bei einem Beetvolumen von 1 m³.

So geht zum Beispiel Krug davon aus, dass für die Beheizung von Erdboden im Gartenbau Elektroheizkabel mit einer Leistung von 10 W/m²K eingesetzt werden können.

Wenn mit Warmwasserrohrheizungen gearbeitet wird, werden lediglich 4 W/m²K veranschlagt. Bezogen auf die gewünschte Temperaturerhöhung von 10°C ergibt das eine Leistung von 40 Watt pro Quadratmeter (Krug et al, 2002, S.142f.) Telefonisch teilte Krug mit, dass diese geringe Leistung bei seinem Versuch ausreichte, die gewünschte Temperaturerhöhung zu erzielen. Für die Anwendung im Versuch der Solaren Frühbeetheizung sollte die Leistung auch reichen. (vgl. Krug, 2012)

Etwas mehr Leistung veranschlagen Müller und Preisung, die 60 kcal pro Stunde und Quadratmeter angeben, wenn man von 20°C Bodentemperatur ausgeht. Umgerechnet entspricht das 69,7 W/m². Allerdings werden keine genauen Angaben darüber gemacht, bei welchen Außentemperaturen mit dieser Leistung geheizt wird. Für die Vorlauftemperatur werden 10°C-15°C über der gewünschten Zieltemperatur veranschlagt. Im Fall von 20°C Bodentemperatur wären das ca. 30-35°C Vorlauftemperatur. Die Durchflussgeschwindigkeit durch den Wärmetauscher im Boden sollte so gewählt werden, dass eine Temperaturdifferenz von ca. 3-5°C zwischen Heizungsvorlauf und -rücklauf nicht überschritten wird. Als Verlegungstiefe werden 45-50 cm empfohlen. (vgl. Müller, Preisung, 1971, S. 35ff)

Fritz und Stolz gehen davon aus, dass für das Halten eines Temperaturniveaus im Boden, eine um 5°C höhere Vorlauftemperatur nötig ist. Nach der Aufheizphase sollte man laut ihren Angaben mit einer Vorlauftemperatur von maximal 30°C auskommen. Die Heizungsrohre sollten in 30-40 cm Tiefe verlegt werden. (vgl. Fritz, Stolz, 1980, S. 47f)

Von Zabeltitz zitiert in seinem Buch „Gewächshäuser“ Kanthak und Bohn, die 46-70 W/m², sowie eine Wärmeabgabe der Rohre von 17-23 W/m angeben. Als Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf gibt er 5°C an. (vgl. von Zabeltitz, 1986, S. 225)

Außerdem liegt ein Bericht vor, dass für die Erwärmung um 10°C von 1 m³ schluffigen Bodens ca. 5,3 kWh benötigt werden. (Rossmann et. al., 2006)

Oben angeführt sind empirische Werte, die sich aus in der Literatur nicht näher beschriebenen Einzelfällen ergaben. Zusammenfassend kann festgehalten werden: Die benötigte Leistung beträgt 40-70 Watt pro Quadratmeter. Die Vorlauftemperatur sollte 30-35°C messen. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf sollte 3-5°C betragen. Die Rohre sollten in einer Tiefe von 30-50 cm verlegt werden. Die meisten Quellen geben allerdings keine Umgebungstemperaturen an.

Elektroheizung:

Bei 2 m² Beetfläche und einer gewünschten Temperaturerhöhung von 10°C und einer nach Krug nötigen Leistung von 10 W/m²K ist demnach eine Heizleistung von 200 W erforderlich. Der Widerstand des Kabels, der benötigt wird um diese Leistung zu erzielen, kann mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes berechnet werden:

$$I = P / U \quad (1)$$

$$R = U / I \quad (2)$$

Die Spannung beträgt 220 Volt. Setzt man in Gleichung 1 ein, kann man die Stromstärke für eine Leistung von 200 Watt errechnen: $I = 200 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0,91 \text{ A}$, Setzt man diese Stromstärke in Gleichung 2 ein, erhält man den benötigten Widerstand: $R = 220 \text{ V} / 0,91 \text{ A} = 242 \text{ } \Omega$

Stromstärke I [A], Leistung P [W], Spannung U [V], Widerstand R [Ω]

Das Heizkabel weist mit 38 Metern annähernd die gleiche Länge wie die Rohrleitungen des Solarheizpanels auf und wurde mit dem berechneten Widerstand (242 Ω) von der Firma E.Loos Elektrowärmetechnik konstruiert.

Solarheizung:

Ein Interview mit DI Wolfgang Trauner, emeritierter Lektor am Institut für Erneuerbare Energie der FH Technikum Wien ergab, dass je Quadratmeter Beetfläche 0,5 m² Kollektorfläche als vernünftige Dimensionierung erscheinen. Die von ihm zur Verfügung gestellten Absorber messen 1,34 m². Somit sollte die Anlage leistungsfähig genug sein, eine Anhebung der Bodentemperatur um 10°C zu ermöglichen. (Trauner, 2012)

Daher kann man eine Rechnung mit folgenden Werten aufstellen. Die Einstrahlung (R) beträgt 82 kWh/m² im März auf die horizontale Ebene (OENORM M7701). Die Fläche (A) eines

Absorbers beträgt 1,34 m². Ein Azimut von 165⁰² und einer Kollektorneigung von 56° ergibt einen Lagefaktor (l) der Anlage vor Ort von 1,12. (OENORM M7701) Mit diesen Daten kann die Einstrahlung auf den Absorber (R_A) berechnet werden.

$$R_A = R \cdot A \cdot l \quad (3)$$

Im März werden daher R_A = 123,67 kWh durchschnittlich auf den Absorber eingestrahlt werden.

Das ergibt umgerechnet bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 50% 61,83 kWh, bei 60% 74,20 kWh, und bei 70% 86,57 kWh. Unter der Annahme, dass ein Anlagenwirkungsgrad von 50-60% zu erzielen ist, entspricht das einer über einen 24-stündigen Beobachtungszeitraum gemittelten Leistung von 86-103 W. Damit liegt die berechnete solare Leistung deutlich unter der der Elektroheizung. Die persönlichen Gespräche mit Krug und Trauner ergaben aber, dass diese Leistung für den Versuch ausreicht. Ein Ziel des Versuchs ist es ja auch, diese Literaturangaben zu überprüfen.

2.3.3 Konstruktion der Heizungsanlagen:

Aus Kostengründen setzt sich die Konstruktion der Heizungsanlagen aus selbst erstellten Komponenten und aus Komponenten von Fachbetrieben zusammen.

2.3.3.1 Kollektorbau:

Der Kollektor wurde selbst gebaut und besteht aus einer Grundplatte, einem Holzrahmen, in dem die Abdeckglasscheibe in einer gefrästen Nut befestigt ist, einem Absorber mit Anschlussstutzen, der Isolierung und Dichtungsmaterial. Industriell gefertigte Kollektoren könnten einen höheren Wirkungsgrad aufweisen, haben aber auch einen höheren Preis. Für den Versuch wurde daher auf einen vorhandenen Absorber zurückgegriffen, um den der Kollektor konstruiert wurde. Der Absorber wurde von DI Trauner konstruiert und für den Versuch zur Verfügung gestellt. (Trauner, 2012)

Grundplatte und Rahmen:

Der Rahmen ist auf der Grundplatte (83,5 cm x 200 cm) befestigt und besteht aus Fichtenstaffeln, die an den beiden Längsseiten 188 cm x 8,0 cm x 4,0 cm messen und an den beiden Breitseiten 83,5 cm x 9,6 cm x 4,0 cm.

² Sämtliche Azimutangaben sind gemäß DIN 5034-2 angegeben: Norden: 0°, Süden 180°



Abbildung 7: Grundplatte mit Rahmen und Nut

me abgedichtet. Diese Substanz wird normalerweise nach dem Abschneiden von Ästen auf die Schnittfläche als Ersatz für die Rinde aufgetragen um so die Stelle etwa vor Wassereintritt und Schimmelpilzen zu schützen.

Die starke Dimensionierung hat den Vorteil, dass der Kollektor robust ist, genügend Spielraum für die Fräsarbeiten vorhanden ist und der große Holzkörper auch der Isolierung dient. Die Breitseiten sind noch massiver ausgeführt, da der Kollektor dort an die Aufstellungskonstruktion angeschraubt ist und deshalb größeren Belastungen ausgesetzt ist, als der übrige Rahmen. (siehe Abbildung 7) Die Fugen sind mit Wundbalsam für Bäume

Absorber und Abdeckglasplatte:



Abbildung 8: eingebauter Absorber mit Isolierung und Abdeckglas

Wärme zu verlieren.

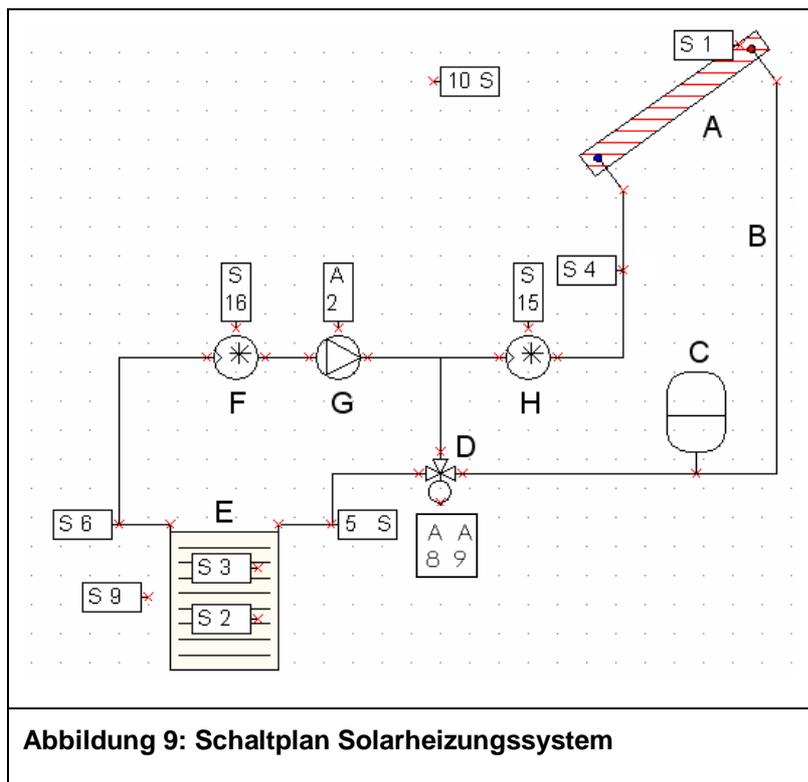
Der Absorber misst 71,5 cm x 188 cm und besteht aus einer Kupferplatte (1 mm stark) mit aufgelöteten Kupferrohren (innen \varnothing 5 mm, außen \varnothing 7mm). Das Glas ist ein Einscheibensicherheitsglas, genauer ein 4mm Float-Solarglas (80,5 cm x 190 cm). Auf Abbildung 8 sieht man den eingebauten Absorber und die eingeschobene Glasplatte. Zwischen Absorber und Glasplatte sind 2 cm Abstand um die Luftschicht als Isolierung zu nutzen und damit weniger

Isolierung:

Die Isolierung besteht aus 35 mm dicken Mineralwollplatten, die unterhalb des Absorbers und an den vier Seiten bis auf die Höhe der Glasplatte verlegt wurden.

2.3.3.2 Solarheizungssystem:

Das Solarheizungssystem wurde von der Installateurfirma Schneider gemäß dem Plan in Abbildung 9, dessen Erstellung ein Teil dieser Arbeit war, zusammgebaut.



Bauteile:

- A: Kollektor
- B: Kupferrohre
- C: Ausgleichsgefäß
- D: Motormischer
- E: Solarheizpaneel
- F: Volumenstromgeber 1
- G: Pumpe
- H: Volumenstromgeber 2

Sensoren (S) und Steuerungsausgänge (A):

Sämtliche Sensoren sind mit

dem Buchstaben „S“ und einer fortlaufenden Nummer versehen. Die Sensoren S15 und S16 registrieren Volumenströme, S10 misst die Lufttemperatur, S2, S3 und S9 messen Bodentemperaturen während die Sensoren S1, S4, S5 und S6 Wärmeträgertemperaturen messen. Die Sensoren für die Temperaturmessung des Wärmeträgers sind mit Tauchhülsen direkt in den Leitungen montiert. Die Steuerungsausgänge A8 und A9 öffnen bzw. schließen den Motormischer, A2 regelt die Solarpumpe. Die Sensoren und deren Platzierung werden im Kapitel Montage der Temperatursensoren genauer beschrieben.

Wärmeträger:

Für die nötige Frostsicherheit setzt sich das Gemisch aus 45% Propylenglykol und 55% Wasser zusammen. Insgesamt befinden sich 11,7 Liter in der Anlage, die sich aus 2,1 Litern

im Kollektor, 4,2 Litern im Heizpaneel und 5,4 Litern in den Rohrleitungen zusammensetzen. Der Wärmeträger durchströmt das System im Uhrzeigersinn.

Kollektor (A):

Dieser ist in einem Neigungswinkel von 56° und einer Azimutausrichtung von 165° aufgestellt um zu Tagesbeginn die aufgehende Sonne besser nützen zu können. Wäre der Kollektor genau nach Süden ausgerichtet (Azimutausrichtung 180°) ist er zu Tagesbeginn weiter von der Sonne abgewendet. Der steile Neigungswinkel dient ebenfalls dazu, die flachere Sonnenstrahlung der Morgenstunden besser zu nutzen, da zur Mittagszeit ohnehin genug Energie vorhanden ist, da auch die Beetfläche direkt von der Sonne beschienen wird. Durch diese Aufstellungsparameter geht zwar der maximal mögliche Ertrag zurück, da die Sonne um die Mittagszeit nicht optimal genützt werden kann. Zu Mittag wird für die Beheizung des Beets weniger Energie benötigt. Es scheint daher sinnvoller, in den Morgenstunden durch die steilere Kollektorstellung einen zu diesem Zeitpunkt höheren Ertrag zu erzielen als einen höheren Ertrag über den ganzen Tag zu bekommen. Eine genaue Beschreibung des Kollektoraufbaus kann im Kapitel Kollektorbau nachgelesen werden. Um vom Wärmeträger durchströmt werden zu können, sind auf den im Kollektor befindlichen Absorber 12 Meter Kupferrohre (Innendurchmesser 0,0075 m) mit einem Volumen von 2,1 Litern aufgelötet. Der Sensor S 1 misst die Temperatur des Wärmeträgers im Absorber.

Kupferrohre (B):

Für die Verbindung der Baugruppen werden im Heizungsbau Kupferrohre verwendet, da sie leicht zu verarbeiten sind. Die große Wärmeabgabe dieser Rohrleitungen muss durch entsprechende handelsübliche Isolierungen aus Mineralwolle reduziert werden. Insgesamt wurden 10 Meter Kupferrohr (Innendurchmesser 0,013 m) mit einem Volumen von 5,4 Litern verarbeitet.

Ausgleichsgefäß (C):

Die Anlage steht unter einem Betriebsdruck von ca. 3 bar. Um Druckschwankungen durch Erwärmung und Abkühlung ausgleichen zu können, benötigt man ein entsprechendes Ausgleichsgefäß.

Motormischer (D):

Die Vorlauftemperatur soll 40°C nicht überschreiten. Um das zu gewährleisten regelt ein Mo-

tormischer die Temperatur und mischt dem heißen Kollektorrücklauf kühleren Heizungsrücklauf bei.

Solarheizpaneel (E):

Als Solarheizpaneel kommt ein Wandheizungsregister der Firma Harreither zum Einsatz, das für den Einsatz für den Versuch von Matthias Harreither empfohlen wurde. Der große Abstand zwischen den Rohrleitungen in Abbildung 10 hat eine schweißtechnische Ursache, da es für die genaue Passform aus zwei einzelnen Registern zusammenschweißt wurde.



Abbildung 10: Solarheizpaneel

Die Rohrleitungen weisen zwei unterschiedliche Durchmesser auf. Der Innendurchmesser der 2,2 Meter langen Vor- und Rücklaufleitung beträgt 0,018 m, der Innendurchmesser der insgesamt 36 Meter Heizlamellen dagegen nur 0,005 m. Laut Werksangaben weist das Wandheizungsregister unter 5 cm maschinell aufgetragenem Putz eine Heizleistung von ca. 100

Watt pro Quadratmeter auf, bei einer Vorlauftemperatur von ca. 35°C. Die theoretische Wärmeabgabe bei entsprechender Vorlauftemperatur und einem Durchfluss von 240 Liter pro Stunde beträgt ca. 5 Watt pro Meter Rohrleitung. (vgl. Harreither, 2011) Der Wärmeträger durchströmt das Paneel in Abbildung 10 von links nach rechts. Das hat einen Temperaturgradient im Beet zur Folge. Das Ausmaß wird durch den Versuch geklärt werden. Insgesamt befinden sich 4,2 Liter Wärmeträger im Heizpaneel.

Volumenstromgeber (F, H):

Die Messung der umgesetzten Wärmemenge erfordert unter anderem die Kenntnis des Volumens an Wärmeträger der durch das Beet strömt. Das Messwerk eines Volumenstromgebers besteht aus einer im Querschnitt verengten Leitvorrichtung, die den Wärmeträger in eine hohe Geschwindigkeit versetzt und einem Laufrad, das durch die Strömung tangential beaufschlagt und dadurch in Drehung versetzt wird. Die Umdrehungen werden registriert und das Gerät gibt je 0,5 Liter durchströmten Wärmeträgers einen elektrischen Impuls ab.

Pumpe (G):

Zur Bewegung des Wärmeträgers ist eine Pumpe nötig, die den Wärmeträger im System bewegt. Die Pumpe ist in einer so genannten Solarpumpengruppe verbaut, die einen Befüllanschluss, einen Schwebekörper-Durchflussmesser, je ein analoges Thermometer für Vor- und Rücklauf, ein Manometer und ein Überdruckventil enthält. Mit Hilfe der PID-Regelung kann die Pumpe in der Drehzahl geregelt werden. Es stehen 30 Stellgrößen zur Verfügung, die über den Ausgang A2 an die Pumpe übermittelt werden. Die entsprechenden Werte über die Leistungsaufnahmen der verschiedenen Stellgrößen wurden durch einen Versuch ermittelt, die Details können im Anhang nachgelesen werden. Die Leistungsaufnahme bei den verschiedenen Stellgrößen ist in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Leistungsaufnahme Solarpumpe

Stellgröße	Leistung W]	Stellgröße	Leistung W]	Stellgröße	Leistung W]
1	13,6	11	17,1	21	38,1
2	13,6	12	18,1	22	41,7
3	13,6	13	19,4	23	45,7
4	13,7	14	20,8	24	50,1
5	13,9	15	22,5	25	54,9
6	14,1	16	24,4	26	60,1
7	14,5	17	26,6	27	65,6
8	14,9	18	28,9	28	71,6
9	15,5	19	31,7	29	78,1
10	16,2	20	34,7	30	85,0

2.3.3.3 Elektroheizungssystem:

Abbildung 11 zeigt schematisch das System der Elektroheizung.

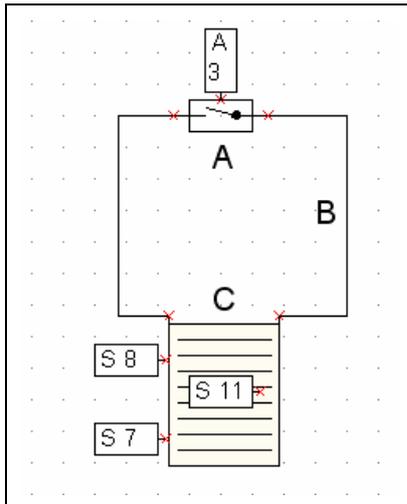


Abbildung 11: Schaltplan Elektroheizungssystem

Bauteile

- A: Schalter
- B: Zuleitung
- C: Heizkabel

Schalter (A):

Der Schalter wird vom Steuerungscomputer durch eine Zweipunktregelung gesteuert, die über den Ausgang A3 mit dem Schalter verbunden ist. Die Eingangsparameter sind die Temperatursensoren S7, S8 und S11. Der Sensor S11 ist unmittelbar an das Heizkabel geklebt, S7 befindet sich in 30 cm Tiefe genau zwischen den Heizkabelsträngen und S8 ist in 20 cm Tiefe waagrecht genau über dem Sensor S7 positioniert.

Zuleitung (B):

Die Zuleitung vom Steuerungscomputer bis ins Versuchsbeet besteht aus einer herkömmlichen dreiadrigen Mantelleitung und weist einen für solche Kabel – im Gegensatz zum Heizkabel – äußerst geringen Widerstand auf. An diese Zuleitung ist der Heizteil des Kabels angeschlossen.



Abbildung 12: Elektroheizkabel mit Tiefenreferenz

Heizkabel (C):

In 30 cm Tiefe erfolgt der Übergang vom Zuleitungsteil in den Heizteil des Kabels. Ab hier weist das Kabel den im Kapitel Dimensionierung der Anlage beschriebenen Widerstand auf. Wie in Abbildung 12 ersichtlich, ist die Leistung von 200 Watt durch die mäanderförmige Anordnung des Heizkabels – die Länge ist mit ca. 38m gleich wie die der Rohrleitungen des Solarheizpaneels – gleichmäßig über

die gesamte Fläche verteilt. Bis auf die Bereiche an den Rändern tritt kein Temperaturgradient auf.

2.3.4 Verwendete Steuerungs- und Regeltechnikapparate

Nachstehend werden zunächst einschlägige Begriffe und Funktionen definiert und erklärt, die die theoretische Basis für die Umsetzung des Versuchsaufbaus bilden. Außerdem werden die im Versuch auftretenden praktischen Anwendungen beschrieben.

2.3.4.1 Begriffe

In der Steuerungs- und Regeltechnik sind bestimmte Begriffe definiert, um die Vorgänge exakt benennen zu können. Nachfolgend sind die wichtigsten aufgelistet und kurz erklärt.

Regeleinrichtung:

Sie enthält Elemente zur Erfassung der Regeldifferenz, den Regler und die Anpassung an die jeweilige physikalische Stellgröße. Die Aufgabe der Regeleinrichtung ist die permanente Minderung oder Beseitigung einer Differenz zwischen Führungsgröße und Regelgröße.

Regelstrecke:

Sie stellt den zu regelnden Teil der Anlage dar, in dem die eigentliche Beeinflussung der Regelgröße stattfindet und daher vom Hauptenergiefluss durchsetzt ist. Hier befinden sich die Regler, die von der Regeleinrichtung angesprochen werden.

Regelgröße x :

Ist die Größe (Istwert), die zum Zweck des Regelns erfasst und der Regeleinrichtung zugeführt wird. Sie ist also Ausgangsgröße der Regelstrecke und Eingangsgröße der Regeleinrichtung.

Stellgröße y :

Sie überträgt die steuernde Wirkung des Reglers auf die Regelstrecke. Sie ist konträr zur Regelgröße Ausgangsgröße der Regeleinrichtung und Eingangsgröße der Regelstrecke. (vgl. Braun, 2009, s.p.)

Führungsgröße w :

Sie ist das Prozessziel (Sollwert) einer Regelung. Ihr soll die Regelgröße in endlicher Zeit angepasst werden. Die Führungsgröße wird dem Regelkreis von außen zugeführt (z.B. Wer-

te von Temperatursensoren) und ist von der Regelung nicht beeinflussbar. (vgl. Orłowski, 1999, S. 3ff)

Störgröße z:

Eine Störgröße wirkt meist unbeabsichtigt auf die Regelung ein. Es gibt korrigierbare und nicht korrigierbare Störgrößen wie z.B. Fehler bei der Sollwertbildung, Fehler bei der Istwert-Erfassung bzw. Einstellfehler des Reglers. Diese fließen ebenfalls voll in die Regelung ein. Im Gegensatz dazu können korrigierbare Störgrößen wie zum Beispiel Stärke Sonneneinstrahlung und eine daraus resultierende zu hohe Vorlauftemperatur ausgeglichen werden. (vgl. Orłowski, 1999, S. 12ff)

Unterschied Steuern – Regeln:

Nach DIN 19226 ist das Steuern ein Vorgang, bei dem eine oder mehrere Eingangsgrößen Ausgangsgrößen auf Grund der Gesetzmäßigkeiten in dem System beeinflussen. Beispielsweise bewirkt eine bestimmte Spannung an eine Pumpe angelegt, eine bestimmte Drehzahl. Beim Steuern verursacht eine Störgröße, die auf die Ausgangsgröße wirkt, keine Änderung der Eingangsgröße. Im Gegensatz dazu versteht man unter Regeln einen Vorgang, bei dem die zu regelnde Größe fortlaufend erfasst wird und mit der Führungsgröße verglichen und bei Abweichungen dementsprechend verändert wird. Eine Regelung ist also dadurch gekennzeichnet, dass ein Soll-Istwert-Vergleich permanent in einem geschlossenen Wirkungsweg vorgenommen wird. Durch die Wahl eines geeigneten Reglers können so Störungen ausgeglichen werden. (vgl. Busch, 1999, S. 13f)

2.3.4.2 Zweipunktregler

Ein bekannter, sehr einfacher Zweipunktregler ist ein Thermostat in einem Bügeleisen. Diese Regeleinrichtung nutzt den Effekt, dass sich ein Bimetallsreifen mit steigender Erwärmung nach oben biegt bis er bei der voreingestellten Temperatur den Stromkreis unterbricht. Wenn kein Strom fließt wird im Bügeleisen auch keine Wärme erzeugt. Kühlt das Bügeleisen aus, geht die Biegung wieder zurück bis sich der Stromkreis wieder schließt. Man spricht bei einem Zweipunktregler daher

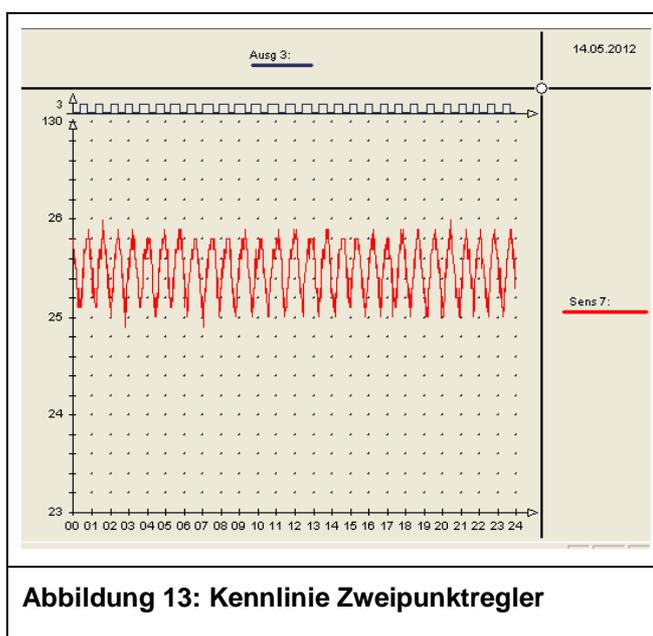


Abbildung 13: Kennlinie Zweipunktregler

auch von einem unstetigen Regler, da nur zwischen dem oberen Schaltpunkt und dem unteren Schaltpunkt gewechselt wird. Ein Zweipunktregler hat somit auch eine charakteristische Kennlinie, wie sie in Abbildung 13 dargestellt ist. Die blaue Linie von Ausgang 3 zeigt die häufigen Ein- und Ausschaltvorgänge, die rote Linie von Sensor 7 zeigt die daraus resultierenden Temperaturschwankungen um einen bestimmten Sollwert (w). Die Schwankungen zwischen dem oberen und dem unteren Schaltpunkt ergeben sich durch die so genannte Hysterese.

Hysterese

Wird dem Regler lediglich der Sollwert für die Regelung zur Verfügung gestellt, kommt es zu einer hohen Schaltfrequenz, die die Lebensdauer des Schalters herabsetzt. Um die Schaltfrequenz zu vermindern, werden dem Regler zusätzlich zum Sollwert ein oberer Einschalt- punkt bzw. ein unterer Ausschalt- punkt vorgegeben. Wird der Sollwert erreicht, schaltet der Regler noch nicht ab/ein, sondern der derzeitige Zustand wird bis zum Erreichen des darüber/darunter liegenden Ein-/Ausschalt- punkt aufrechterhalten. Das wirkt sich negativ auf die Regelung der Führungsgröße aus, die nicht konstant gehalten werden kann. Der Vorteil der Hysterese besteht aber darin, dass die Schaltfrequenz reduziert wird. (vgl. Busch, 1999, S. 219ff) In Abbildung 13 ist die Hysterese deutlich erkennbar. Sie beträgt $0,8^{\circ}\text{C}$ und hat ein Schwanken der Temperatur zwischen $25,0^{\circ}\text{C}$ und $25,8^{\circ}\text{C}$ zur Folge.

Anwendung:

Im Versuchsaufbau wird die Zweipunktregelung zur Regelung der Bodentemperatur verwendet. Sowohl die Solarheizung als auch die Elektroheizung verwenden einen Sollwert für die Bodentemperatur der unter Berücksichtigung der eingestellten Hysterese gehalten bzw. angestrebt werden kann.

2.3.4.3 Kaskadenregelung

Die im Kapitel Gartenbauliche und biologische Beschreibung angeführten Temperatursoll- werte bzw. Maximaltemperaturen für den Wurzelkontakt mit dem Heizkabel, für die direkte Umgebung der Heizkabel in 30 cm Tiefe und für den Zielbereich in 20 cm Tiefe können nicht nur durch eine Regelschaltung umgesetzt werden. Um diese Vorgaben umsetzen zu können, muss man zusätzlich zur Regelung der Zieltemperatur eine bzw. mehrere unterlagerte Re- gelschleifen einführen. Man spricht dann von einer Kaskadenschaltung. Der entscheidende Vorteil dabei ist, dass Maximalwerte eines untergelagerten Regelkreises begrenzt werden

können. Der Regelkreis wird sozusagen mit der inneren Struktur beginnend eingestellt. (vgl. Orlowski, 1999, S. 248f) Ein übergeordneter Regler stellt die Führungsgröße für den Folge-regler zur Verfügung. In der Regeltechnik sind Kaskadenregelung geeignet, Komponenten vor Überlastung zu schützen, bzw. Regelkreise zu optimieren, in denen durch Wärmelei-tungsvorgänge große Verzögerungen auftreten. (vgl. Roth, 2001, S. 151ff)

Anwendung:

Um die Wurzeln nicht zu schädigen, darf das Kabel eine bestimmte Temperatur nicht über-schreiten, bzw. dürfen die Bodentemperaturen in den unterschiedlichen Tiefen ebenfalls be-stimmten Schwellenwerte nicht überschreiten. So wird für die Regelung der Elektroheizung folgende Kaskade aus verschiedenen Zweipunktreglern verwendet: Die erste Zweipunkt-regelung überprüft die Temperatur, die an der direkten Kontaktstelle zum Heizkabel herrscht und ist damit die Führungsgröße für die zweite Zweipunktregelung. Diese regelt die Tempe-ratur in 30 cm Tiefe, die ebenfalls einen Maximalwert nicht übersteigen darf. Erst dann, als dritte Zweipunktregelung, ist die Zweipunktregelung für die Temperatur in 20 cm Tiefe rele-vant, die also nur dann die Heizung freigibt, wenn beide anderen Führungsgrößen eingehal-ten werden.

Im Fall der Solarheizung besteht eine Kaskade parallel aus der PID-Regelung und aus der Mischerregelung. Diese Beiden sollen die Vorlauftemperatur nach den eingegebenen Para-metern regeln. Die Freigabe erhalten diese Folgeregler durch die Solarregelung, die mit der gleichen Kaskade wie oben die Elektroheizung die Temperaturen für 30 cm und 20 cm Tiefe regelt.

2.3.4.4 Totzeiten

Neben den im Zusammenhang mit der Kaskadenregelung beschriebenen Verzögerungen durch Wärmeleitungsprozesse, treten so genannte Totzeiten auf. „Eine Totzeit in der Regel-strecke wirkt wie eine zeitliche Unterbrechung des Wirkungsverlaufs. Der in dieser Zeit auf-tretende Informationsverlust wirkt sich beim Regler so aus, dass dieser einerseits verspätet mit seiner Gegenwirkung eingreift, dass ihm andererseits wegen des fehlenden Kreisschlus-ses über die Strecke in Folge der Totzeit die sofortige Kontrolle seiner Gegenwirkung fehlt. Bei der Regelgröße besteht deshalb die Neigung zum überschießenden Verlauf.“ (Roth, 2001, S. 107f)

Anwendung:

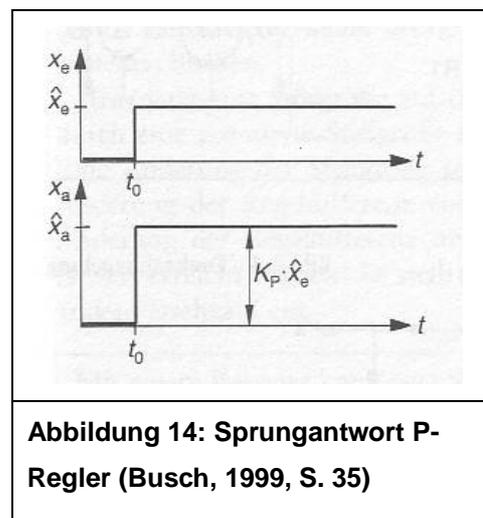
Beim Versuchsaufbau müssen die Totzeiten berücksichtigt werden, die sich aus der örtlich unterschiedlichen Anordnung von Messstellen und Regelungspunkten ergeben. Zwischen dem Mischer und dem Sensor zur Messung der Führungsgröße (Vorlauftemperatur) liegt eine bestimmte Rohrstrecke, die zur verzögerten Informationsweitergabe für die Regelgröße (Drehzahlstufe der Pumpe, Stellung des Mischers) führt. Weiters kommt es an und in den Tauchhülsen zu Totzeiten, da der Wärmeträger zunächst die Temperatur der Tauchhülse beeinflusst und erst später der darin befindliche Sensor beeinflusst wird. Bei der Verwendung des Bodens als Speicher muss auch die verzögerte Wärmeweitergabe in verschiedenen Tiefen berücksichtigt werden.

2.3.4.5 PID-Regelung

Ein Proportionalregler (P), ein Integralregler (I) und ein Differentialregler (D) kombiniert ergeben die PID-Regelung. P, I, und D Glieder zeigen jeweils ein individuelles Zeitverhalten in ihren Reaktionen auf Störgrößen und stellen somit Parameter dar die aufeinander abgestimmt werden, um Störungen vollständig ausregeln zu können. Eine PID-Regelung kann beispielsweise zur Drehzahlregelung einer Pumpe verwendet werden, um die Umwälzgeschwindigkeit des Wärmeträgers zu regeln. Zur Ansteuerung der Pumpe werden dem Motor einzelne Halbwellen aufgeschaltet. Die Pumpe wird gepulst betrieben. Über das Trägheitsmoment der Pumpe entsteht ein „runder Lauf“. (Technische Alternative, 2011)

P-Regler:

P-Regler haben den Vorteil, dass sie eine sehr schnelle Reaktion zeigen, wenn die Störgröße plötzlich verändert wird. Durch diese so genannte kurze Sprungantwortzeit erfolgt ein rasches Ausregeln, aber in Sprüngen. In Abbildung 14 ist die Beziehung zwischen Eingangsgröße (x_e) und Ausgangsgröße (x_a) im Zeitverlauf (t) dargestellt. Ändert sich die Eingangsgröße zum Zeitpunkt t_0 auf \hat{x}_e wird die Ausgangsgröße sofort auf \hat{x}_a geregelt. Es wird eine proportionale Zuordnung zwischen Regelabweichung und Stellgrößenänderung hergestellt und durch den Proportionalitätsbeiwert (K_p) verstärkt.



Der Proportionalitätsbeiwert kann direkt aus der Sprungantwort errechnet werden:

$$K_p = \hat{x}_e / \hat{x}_a \quad (4)$$

Eine Stellgröße ist wegen der Proportionalität von x_e und x_a nur dann vorhanden, wenn eine Differenz besteht. Der Nachteil des P-Reglers ist also, dass eine Störgröße nicht zur Gänze ausgeregelt werden kann. Der Regelkreis fängt zu schwingen an. (vgl. Busch, 1999, S. 35ff)

I-Regler:

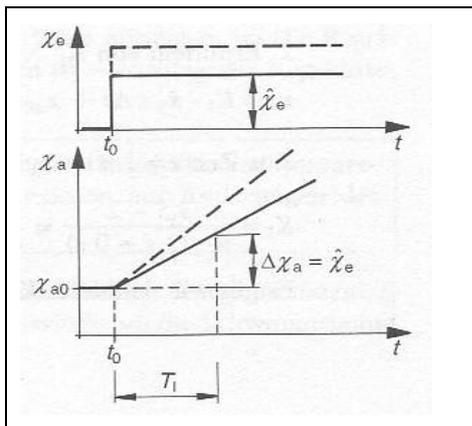


Abbildung 15: Sprungantwort I-Regler (Busch, 1999, S. 39)

Ein Integralregler weist nicht so einen starren Zusammenhang wie ein P-Regler auf. Die Geschwindigkeit der Veränderung der Ausgangsgroesse wird von der Eingangsgroesse proportional abhängig gemacht. Wenn die Eingangsgroesse (x_e) zum Zeitpunkt t_0 ungleich Null ist, steigt die Ausgangsgroesse (x_a) linear an, wie in Abbildung 15 dargestellt. Dieser lineare Anstieg ist von der Integrationszeit (T_I) und von der Amplitudenänderung der Eingangsgroesse abhängig und kann wie folgt berechnet werden:

$$\Delta x_a / \Delta t = \hat{x}_e / T_I \rightarrow \Delta x_a = \hat{x}_e / T_I \cdot \Delta t \quad (5)$$

Zusätzlich wird auch der Anfangswert (x_{a0}) berücksichtigt. Die Ausgangsgroesse (x_a) errechnet sich dem zu Folge:

$$x_a = \Delta x_a + x_{a0} \quad (6)$$

Ein I-Regler ist daher in der Lage, eine Störung ohne bleibende Regeldifferenz auszuregeln. Durch den linearen Anstieg erfolgt diese vollständige Ausregelung allerdings sehr langsam. (vgl. Busch, 1999, S. 39ff)

D-Regler:

Ein Differentialregler ist in der Lage, auf sehr starke und plötzlich auftretende Abweichungen zum Zeitpunkt t_0 sehr schnell zu reagieren, da sich die Ausgangsgröße (x_a) proportional zur Änderung der Eingangsgröße (x_e) verändert. Wie in Abbildung 16 gut zu erkennen ist, ist die Sprungantwort eines D-Reglers ein so genannter Nadelimpuls mit unendlicher Höhe und der Breite Null. In der Praxis ist so eine Nadelfunktion auf Grund der Trägheit der Bauteile und der Tatsache, dass die Ausgangsgröße nicht über einen bestimmten Wert hinauswachsen kann, nicht gegeben. Daher ist ein D-Regler alleine nicht für die Ausregelung von Störungen geeignet, da nur eine Stellgröße abgegeben wird, solange eine Änderung des Eingangssignals vorliegt. Verwendung findet er in Kombination mit P- und I-Reglern wo er zu einer schnellen Ausregelung von Störungen beiträgt.

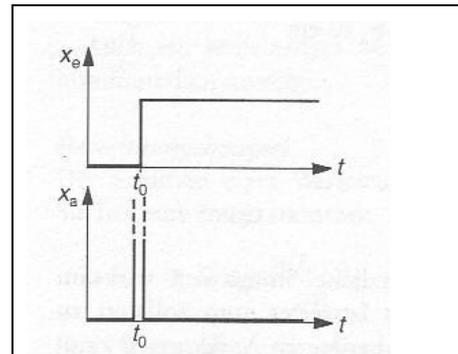


Abbildung 16: Sprungantwort D-Regler (Busch, 1999, S. 46)

PID-Regler

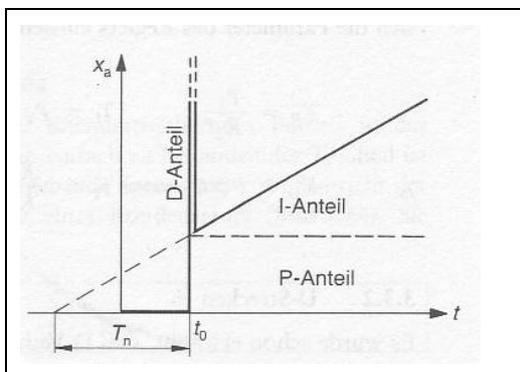


Abbildung 17: Sprungantwort PID-Regler (Busch, 1999, S. 49)

Die oben angeführten Regler weisen für sich alleine betrachtet bestimmte Vor- und Nachteile auf. Durch Kombination der drei Reglertypen zu einem PID-Regler können die Vorteile der einzelnen Typen genutzt werden, während die Nachteile der einzelnen Regler durch die anderen Regler kompensiert werden. In Abbildung 17 sind die Anteile an der Regelung der einzelnen Regler schematisch dargestellt. Um schnell auf starke Änderungen der Eingangsgröße zu reagieren, sorgt der D-Regler für eine schnelle Sprungantwort, die allerdings sofort wieder

zurückgefahren wird. Zeitgleich stellt der P-Regler die Basis dar, auf die die starke Sprungantwort des D-Reglers wieder zurückgefahren wird. Danach wird die Sprungantwort allmählich durch den Anteil des I-Reglers ergänzt. Um die Vorteile nutzen zu können und die Nachteile kompensieren zu können, sind die einzelnen Regler exakt aufeinander abzustimmen. (vgl. Busch, 1999, S. 49)

Anwendung:

Damit eine gewünschte maximale Vorlauftemperatur nicht überschritten wird, besteht neben der Mischerregelung die Möglichkeit, die Durchflussgeschwindigkeit des Wärmeträgers durch den Kollektor zu verändern. Fließt er langsam durch, heizt er sich höher auf, als bei einer schnellen Durchflussgeschwindigkeit.

2.3.4.6 Mischerregelung

Damit die Maximaltemperatur eines Heizungsvorlaufs nicht übermäßig steigt, wird ein Mischer benötigt, der die Vorlauftemperatur durch Beimischung von kühlerem Heizungsrücklauf regelt. Die Temperatur des Vorlaufs stellt die Regelgröße (x) dar. Die Solltemperatur, also die Führungsgröße (w), wird fix in den Regler eingegeben.

2.3.5 Praktische Umsetzung der Steuerungs- und Regeltechnik

Nachfolgend wird beschrieben, wie der Versuchsaufbau mit Sensoren ausgestattet wurde und wie die Steuerungs- und Regeltechnik in den verschiedenen Programmen umgesetzt wurde.

2.3.5.1 Montage der Temperatursensoren für Steuerungs- und Regeltechnik

Die Sensoren S1, S4, S5 und S6 messen die Temperatur des Wärmeträgers an den Punkten, die in Tabelle 7 beschrieben sind. Dafür werden für diesen Anwendungsfall übliche Tauchhülsen verwendet, die in die Rohrleitungen eingeschraubt werden und die Temperatur des darin befindlichen Wärmeträgers messen. Sensor S10 misst die Lufttemperatur in 2 m Höhe. Diese Höhe ist in der Meteorologie üblich für Messungen der Umgebungstemperatur. Der Sensor wurde mit einem Strahlungsschutz versehen, um von der Sonnenstrahlung unbeeinflusst nur die Lufttemperatur zu messen. Die Messung der Lufttemperatur in 5 cm Höhe erfolgt in der Meteorologie ohne Strahlungsschutz.

Tabelle 7: Bezeichnung der Sensoren in der Steuercomputerprogrammierung

S1 T Kollektor
S2 T Ref sol
S3 T Begr sol
S4 T Koll VL
S5 T VL
S6 T RL
S7 T Ref el
S8 T Begr el
S9 T Gradient
S10 T Außen
S11 T Heizkabel

Im Kapitel Messtechnik werden die oben angeführten Sensoren mit der zusätzlichen Bezeichnung „UVR“ vor der Sensornummer bezeichnet werden, um sie von den Sensoren der anderen Geräte zu unterscheiden. In den Diagrammen der Software zur Darstellung der Messwerte des UVR-Geräts, sind die Sensoren S1 bis S11 als Sens 1 bis Sens 11 gekennzeichnet.

Die Sensoren S2, S3, S7, S8, S9 und S11 messen Bodentemperaturen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten ist ein exakter Einbau notwendig. Dazu wurden die Sensoren an Stangen befestigt, die in den Beeten jeweils in der rechten Beethälfte (Hälfte 2) genau eingemessen wurden. Wie in den Abbildungen 18 und 19 zu sehen ist, befinden sich die Sensoren S2 und S7 in 30 cm Tiefe genau waagrecht zwischen den Heizmedien um nur die Temperatur dieser Tiefe zu messen. Lägen sie senkrecht, würden sie eine Mischung der Temperaturen in den Tiefen entlang der Länge des Sensors (3-4 cm) messen. Alle weiteren eingegrabenen Sensoren sind aus demselben Grund ebenfalls waagrecht verarbeitet.



Abbildung 18: Temperatur Sensoren Solarheizung



Abbildung 19: Temperatur Sensoren Elektroheizung

2.3.5.2 Programmierung der Regelungsanlagen

Zur Regelung der Versuchsanlage wurde eine UVR1611 Einheit der Firma Technische Alternative verwendet. Dabei handelt es sich um eine herkömmliche Solarregelung für den Hausgebrauch für Solarheizungsanlagen. UVR steht für Universalregelung, die Zahl 16 steht für die mögliche Anzahl an Sensoren, die angeschlossen werden können, die Zahl 11 steht für die mögliche Anzahl an Ausgängen. Mit dem Programm T.A.P.P.S. kann die Anlage vorteilhaft mittels PC – anstatt manuell an der UVR1611 – parametrisiert werden. So wurden die Steuerungsprogramme sowohl für die Solarheizung als auch für die Elektroheizung erstellt und auf die UVR1611 übertragen. Die Daten aus T.A.P.P.S. werden mit einem weiteren Programm (Memory Manager) vom PC auf die UVR1611 übertragen. (Technische Alternative, 2011)

Die aus der Gartenbauliteratur entnommenen Grenzwerte dienten als Ausgangsbasis für die Programme. Auf dieser Grundlage basieren die nachfolgend beschriebenen Testläufe.

2.3.5.3 Testläufe zur Findung geeigneter Parameter für die Heizanlagen

Ab 01. März 2012 wurden vor dem eigentlichen Start des Versuchs am 14.03.2012 Testläufe zur Findung von geeigneten Einstellungen unter den Bedingungen am Versuchsort durchgeführt, da in der einschlägigen Gartenbauliteratur, wie bereits erwähnt, verschiedene Werte für Heizungssysteme angegeben werden.

Die Versuche mit der Solaranlage haben gezeigt, dass auch im März 2012 bereits Temperaturen von mehr als 10°C über der durchschnittlichen Bodentemperatur möglich waren. Daher wurden 20°C als Zieltemperatur in 20 cm festgelegt. Als entscheidend für das Gelingen des Versuchs stellte sich heraus, dass die empfohlene Vorlauftemperatur mit 30-35°C zu gering war. Es konnte zu wenig Wärmetransfer mit diesen Temperaturen während der kurzen Sonnenstunden erzielt werden. Ebenfalls aus diesem Grund wurde die Temperatur in 20 cm Tiefe mit 25°C höher angesetzt als die Zieltemperatur von 20°C. Wegen der zu prüfenden Speicherwirkung des Bodens wird daher von einem Schwanken um diesen Wert ausgegangen. Die Temperatur in der Heizschicht in 30 cm Tiefe wurde entsprechend höher mit 30°C angesetzt. Folglich wurden 40°C Vorlauftemperatur gewählt, bei denen die Pflanze laut Literatur über ein verringertes aber noch ausgeprägt vorhandenes Wachstumspotential verfügt. Um als Referenz zu dienen, wurde die Zieltemperatur der Elektroheizung auf 20° in 20 cm Tiefe eingestellt. Für 30 cm Tiefe wurden 25°C gewählt, da die 30°C der Solaranlage nur aus Gründen der Wärmespeicherung so hoch gewählt wurden.

Die Monatsmitteltemperaturen des Bodens im April in 20 cm Tiefe liegen bei ca. 10°C. Auf Grund der möglichen Heizleistung der Solaranlage, die Bodentemperatur in 20 cm Tiefe um mehr als 10°C zu erhöhen, kann davon ausgegangen werden, dass im April ebenfalls eine Erhöhung um mehr als 10°C möglich ist. Daher wurden ab Mitte April die Grenzwerte weiter in Richtung optimaler Wachstumsbedingungen hinaufgesetzt. Der angestrebte Wert lag bei 25°C in 20 cm Tiefe, die als optimale Temperatur für das Wurzelwachstum von Lauch angesehen werden können. Aus den angeführten Speichergründen wurde die Temperatur der Solaranlage in 20 cm Tiefe auf 27°C und in 30 cm Tiefe auf 30°C eingestellt. Als Referenz lagen die Zieltemperaturen der Elektroheizung bei 25°C bzw. 26°C.

2.3.5.4 Programmierung der Elektroheizung

Für die Regelung der Elektroheizung mussten vorhandene Programme der für Solarheizungen vorgesehenen UVR1611 entsprechend adaptiert werden. Das Programm vom Type „Anforderung Warmwasser“ (WW) war für den Zweck der Steuerung einer Elektroheizung brauchbar. Anstelle der Warmwassertemperatur wird die Temperatur des Bodens herangezogen. Für eine pflanzenverträgliche Beheizung mussten mehrere Programme, wie in Abbildung 20 dargestellt, als Kaskadenregelung aufgesetzt werden. So konnte sichergestellt werden, dass die Temperatur des Heizkabels nicht zu hoch wird, die Temperatur in unmittelbarer Nähe des Kabels reguliert wird und die Begrenzungstemperatur in 20 cm Tiefe eingehalten wird.

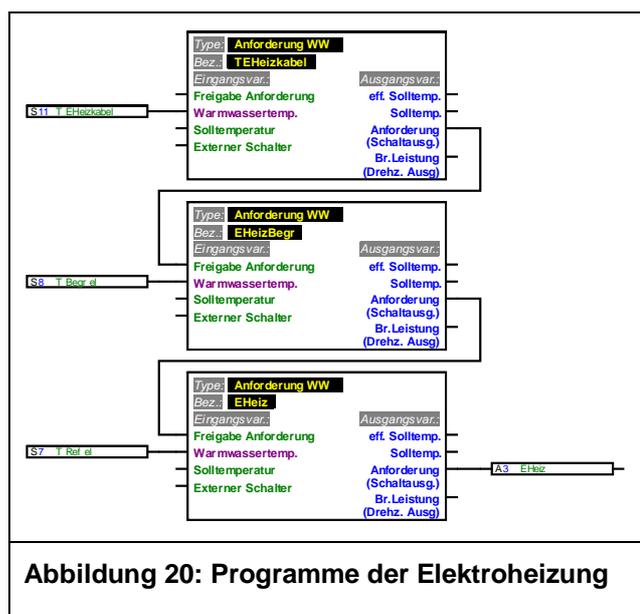


Abbildung 20: Programme der Elektroheizung

ANFORDERUNG WARMWASSER - PARAMETER

BEZ.-GRUPPE: Benutzerdef. ...

Bezeichnung: T EHeizkabel

WARMWASSERTEMPERATUR:

T.ww.SOLL: 40 °C
Zeitprogramm

T.ww.MIN: 40 °C

DIFF.EIN: 0.0 K

DIFF.AUS: 0.8 K

Abbildung 21: Parameter Elektroheizungsregelung

Die Parametrierung aller drei Programme erfolgt entsprechend der beispielhaft angeführten Parametrierung in Abbildung 21. Das erste Programm der Kaskade vom Type Anforderung WW wird „TE-Heizkabel“ bezeichnet und hat Sensor 11 „T EHeizkabel“ als einzige Eingangsvariable. Dieser ist unmittelbar an das Heizkabel geklebt und misst die Temperatur, der eine Pflanzenwurzel ausgesetzt ist, die das Heizkabel berührt. Dieser Grenzwert wurde daher mit 40°C festgelegt. Liegt die Temperatur dieses Sensors darunter darf geheizt werden und es wird als Ausgangsvariable die Heizung angefordert. Somit ist es die Führungsgröße für das nächste Programm „E-

HeizBegr“, welches 2 Eingangsvariablen hat. Erstens geht die Anforderung des ersten Unterprogramms „TEHeizkabel“ ein. Nur wenn das Kabel eine Temperatur unter 40°C aufweist wird das Programm „EHeizBegr“ freigegeben.

Erst nach der Freigabe ist die zweite Eingangsvariable „Sensor 8 T Begr el“, dargestellt in Abbildung 19, relevant. Die Begrenzungstemperatur in 20 cm wurde zunächst mit einer Minimaltemperatur von 20°C und einer Hysterese von 0,4°C festgelegt. Liegt sie darunter besteht Heizbedarf, daher wird als Ausgangsvariable dieses Programms wieder eine Anforderung ausgeschiedt, das Programm „EHeiz“, das ebenfalls 2 Eingangsvariablen hat, freizuschalten. Wie bei Programm „EHeizBegr“ wird erst nach der Freigabe die zweite Eingangsvariable, der „Sensor 7 T ref el“ in 30 cm Tiefe relevant. Dieser wurde zunächst auf eine Maximaltemperatur von 25°C mit einer Hysterese von 0,8°C festgelegt und liegt, wie in Abbildung 19 ersichtlich, genau zwischen 2 Heizkabelsträngen. Als Ausgangsvariable des Programms „EHeiz“ wird schlussendlich Ausgang „A3 EHeiz“ des Steuercomputers angefordert und somit das Elektroheizkabel unter Berücksichtigung der oben angeführten Faktoren ein- und ausgeschaltet.

Während des Versuchsverlaufs wurde die Solltemperatur von 20°C auf 25°C in 20 cm Tiefe angehoben. Dementsprechend musste auch die Temperatur in 30 cm Tiefe auf 25,8°C erhöht werden. Die Hysterese blieb mit 0,4°C bzw. 0,8°C gleich.

2.3.5.5 Programmierung der Solarheizung

Für die Regelung der Solarheizung sind drei Programme notwendig, die in Abbildung 22 dargestellt sind. Die Basis bildet die Solarregelung (SOLAR) die die Programme Mischerregelungsfunktion (Mischer) und PID-Regelung (PIDREG.) freischaltet.

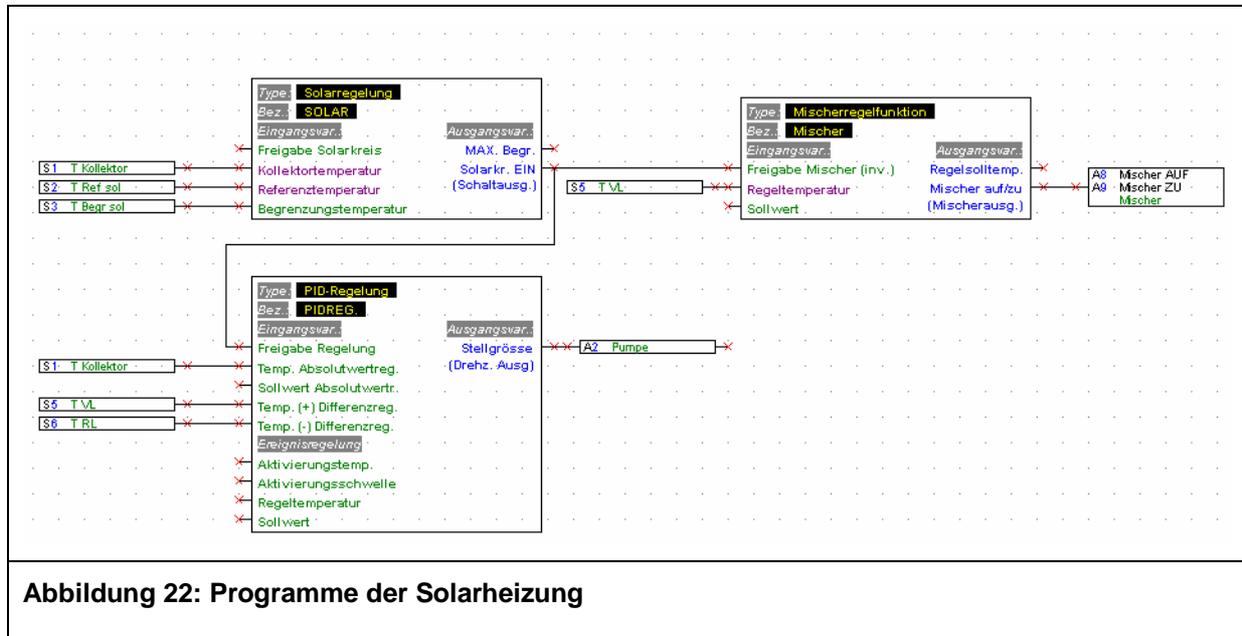


Abbildung 22: Programme der Solarheizung

Im Einzelnen wurden die Programme folgendermaßen parametrisiert:

Solarregelung:

Das Programm der Solarregelung verfügt über vier Eingänge und einen Ausgang. Der Ausgang wirkt auf das Stellglied PID Regelung. Für den ersten Eingang „Freigabe Solarkreis“ wurde „Benutzer“ und „Ein“ gewählt. Die weiteren Eingänge wurden jeweils mit Temperatursensoren belegt. Der zweite Eingang „Kollektortemperatur“ wurde mit dem Kollektortemperaturfühler verbunden. Die Temperatur „T.koll.MAX“ wurde mit 120°C festgelegt. Bei Erreichen dieser Temperatur bewirkt die Solarregelung ein Abschalten der Pumpe (der PID Regelung wird die Freigabe entzogen), da bei höheren Temperaturen Dampf im System vermutet wird und daher keine Umwälzung des Wärmeträgers mehr möglich ist. Die Hysterese von 4°C bewirkt ein neuerliches Einschalten der Anlage bei Kollektortemperaturen

Abbildung 23: Parameter Solarregelung

kleiner als 116°C. Der Eingang „Referenztemperatur“ wurde mit dem Sensor „S2 T Ref sol“ verbunden, der die Temperatur in 30 cm in unmittelbarer Umgebung des Heizregisters, genau zwischen zwei Rohrleitungen, misst. (siehe Abbildung 18) Die Solltemperatur in dieser Tiefe beträgt 30°C. Die Hysterese von 0,5°C bewirkt, dass die Umwälzung bei 30°C eingestellt wird, um nach einem Absinken der Temperatur auf 29,5°C wieder zu starten. Das gleiche Prinzip liegt beim Eingang „Begrenzungs-temperatur“ zugrunde, der mit dem Sensor „S3 T Begr sol“ in 20 cm Tiefe verbunden wurde. Die Solltemperatur in dieser Tiefe beträgt 25°C mit einer Hysterese von 0,5°C. In der zweiten Versuchsphase wurden die Solltemperaturen auf 27°C in 20 cm Tiefe geändert, die 30°C in 30 cm Tiefe blieben auf Grund der Ansprüche der Pflanzen gleich.

Durch das Festlegen einer bestimmten Differenz zwischen Kollektortemperatur und Referenztemperatur wird geregelt wann die Umwälzung grundsätzlich startet bzw. unterbrochen wird. Die Differenztemperaturen wurden mit 3,5°C für das Einschalten und 2,5°C für das Ausschalten bewusst niedrig gewählt um während der Versuchsdauer Daten zu sammeln und so geeignete ökonomische Schwellenwerte finden zu können. (vgl. Technische Alternative, 2011)

PID-Regelung:

Für die PID-Regelung kann aus drei unterschiedlichen Systemen gewählt werden: Absolutwertregelung, Differenzregelung und Ereignisregelung. Die Absolutwertregelung zielt darauf ab, ein bestimmtes Temperaturniveau an einer Messstelle zu halten. So kann beispielsweise die Kollektortemperatur als Führungsgröße zur PID-Regelung festgelegt werden. Fließt der Wärmeträger langsam durch den Kollektor heizt er sich stärker auf, als wenn er schnell durch den Kollektor fließt. Bei der Differenzregelung kann mittels Regelung der Durchflussmenge eine bestimmte Temperaturdifferenz zwischen zwei Messpunkten, wie sie zwischen Heizungsvorlauf und Heizungsrücklauf auftritt, aufrechterhalten werden. Sind sowohl Absolutwertregelung als auch Differenzregelung aktiv, wird das Drehzahlniveau auf den Parameter bezogen, der eine niedrigere Stellgröße der Pumpe erfordert.

PID-REGELUNG - PARAMETER

BEZ.-GRUPPE: Allgemein

Bezeichnung: PIDREG.

ABSOLUTWERTREG.:

MODUS: normal

T.abs.SOLL: 40 °C

DIFFERENZREGELUNG:

MODUS: aus

DIFF.SOLL: 0.0 K

EREIGNISREGELUNG:

MODUS: aus

BEDING.: IST > SCHW
 IST < SCHW

T.akt.SCHW: 0 °C

T.reg.SOLL: 0 °C

STELLGRÖSSE:

maximal: 30

minimal: 3

REGELPARAMETER:

P: 12

I: 40

D: 0

Abbildung 24: Parameter PID-Regelung

Die Ereignisregelung kann wie folgt beschrieben werden: „Tritt ein festgelegtes Temperaturereignis auf, wird die Drehzahlregelung aktiv und damit ein Sensor konstant gehalten. Das Konstanthalten des entsprechenden Sensors funktioniert wie bei der Absolutwertregelung.“ Alle drei Regelverfahren können getrennt auf Regelmodus „normal“ (Drehzahl steigt mit steigender Temperatur), „invers“ (Drehzahl sinkt mit steigender Temperatur) und „aus“ (Regelverfahren nicht aktiv) gestellt werden. Für die Regelparameter P, I und D können unterschiedliche Werte eingestellt werden, um die Stabilität des Systems unter verschiedenen Einsatzbedingungen gewährleisten zu können. (vgl. Technische Alternative, 2011, S. 77ff)

Für den Versuch wurde das Absolutwertverfahren gewählt, da herausgefunden werden soll, in wie weit die Solltemperatur bei steigender Sonneneinstrahlung zunächst mittels der PID-Regelung begrenzt werden kann, bevor eine Mischerregelung notwendig wird. Als Solltemperatur wurde die Kollektortemperatur gewählt, die mit 40°C festgelegt wurde. Der gewählte Modus „normal“ bewirkt also eine Erhöhung der Drehzahl wenn die Temperatur gegen 40°C und darüber steigt. Die Spannweite der Stellgröße für die Pumpe und die Regelparameter für P, I und D wurden für den Start des Versuchs von den Empfehlungen des Herstellers übernommen und können in Abbildung 24 nachgelesen werden. (Fichtenbauer, 2012)

Mischerregelung:

Mit dieser Funktion in Abbildung 25 ist eine stetige Regelung eines Mischers zur Aufrechterhaltung eines Sollwerts möglich. Dazu wird dem zu heißen Heizungsvorlauf der kühlere Wärmeträger aus dem Heizungsrücklauf beigemischt. Auch hier kann zwischen den Modi „invers“ (die Solltemperatur wird nicht unterschritten) und „normal“ (die Solltemperatur wird nicht überschritten) gewählt werden. Das Programm hat drei Eingangsvariablen: die Freigabe des Mischers, die Regeltemperatur gemessen durch einen Sensor und den Sollwert, der vom Benutzer eingegeben wird. Außerdem kann der Status des Mischers festgelegt werden, den er nach Entzug der Freigabe aufweist. Es kann zwischen „öffnen“ „schließen“ bzw. „unverändert“ gewählt werden. (vgl. Technische Alternative, 2011, S. 63f)

MISCHERREGELUNG - PARAMETER

BEZ.-GRUPPE: ...

Bezeichnung:

MODUS: normal
 invers

REGELTEMPERATUR:

T.reg.SOLL: °C

Differenz: K

wenn FREIGABE = aus
MISCHER:

Abbildung 25: Parameter Mischerregelung

Die Freigabe erfolgt durch die Solarregelung, sobald diese aktiv ist. Die Regeltemperatur wird mit dem Sensor „S5 T VL“ erfasst, die Solltemperatur wurde mit 40°C festgelegt. Der Mischer wurde im Modus „normal“ programmiert, um die Heizungsvorlauftemperatur nicht zu überschreiten. Fällt die Freigabe weg, bleibt die Stellung des Mischers unverändert.

2.4 Messungen und Bewertungen

Im folgenden Kapitel werden das Erfassen der Messdaten und deren Auswertungsmethoden beschrieben. Bei der Wahl von Verfahren zur Messdatenauswertung sind einige Grundanforderungen zu berücksichtigen:

Das Verfahren sollte zwar nicht auf alle, aber auf eine überwiegende Mehrzahl von Fällen anwendbar sein. Mit dem Verfahren muss es möglich sein, sowohl eigene Messdaten als auch mitbenutzte fremde Messdaten zu verarbeiten. Es sollte möglich sein, größere Auswertungsaufgaben in einfachere Teilaufgaben zu zerlegen, ohne dass es sich auf das Ergebnis auswirkt und ohne dass Informationen verloren gehen. Ein kritischer Vergleich muss möglich sein und die Messergebnisse müssen abgesichert sein. Bei der Sammlung und Auswertung der Daten muss der Rechenaufwand berücksichtigt und ein einheitliches mathematisches Fundament verwendet werden. (vgl. Weise und Wöger, 1999, S. 133f) Die nachfolgend beschriebenen Verfahren sollen diese sechs Grundanforderungen erfüllen.

2.4.1 Temperaturmessungen

Die hauptsächlichsten Messungen bei diesem Versuch stellen die Temperaturmessungen in verschiedenen Medien und an diversen Orten, Höhen und Tiefen im Versuchsaufbau dar. Es werden Lufttemperaturen innerhalb und außerhalb der Glashäuser, Bodentemperaturen innerhalb und außerhalb der Beete, sowie Wassertemperaturen im Solarsystem gemessen.

2.4.1.1 Messeinrichtungen

Insgesamt mussten drei verschiedene Systeme zur Datensammlung verwendet werden. Der Steuerungscomputer der Solaranlage, UVR1611, bietet 11 Temperatursensoren. Zusätzlich wurden bei dem Versuch 6 HOBO Datenlogger mit jeweils einem integrierten strahlungsgeschützten Lufttemperatursensor und zwei Bodentemperatursensoren sowie ein CR10 Datenlogger mit drei Bodentemperatursensoren und einem Strahlungssensor im Bereich der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) verwendet, die vom Institut für Meteorologie der BO-KU zur Verfügung gestellt wurden. Um die 6 HOBO Geräte zu unterscheiden, war eine Codierung nötig: A_1, A_2, I_1, I_2, II_1, II_2, die beiden anderen Geräte heißen im Versuchsaufbau wie oben angeführt UVR bzw. CR10. Eine genaue Auflistung der Sensoren, was und wo sie messen, ist in Tabelle 8 ersichtlich. Die Bereiche, in denen sich die Sensoren befinden, die Boden- bzw. Lufttemperaturen messen, sind in Abbildung 3 ersichtlich. Die Positionen der Sensoren, die Wassertemperaturen messen, sind in Abbildung 9 dargestellt.

Tabelle 8: Auflistung der Sensoren

Sensor	Medium	Messort	Montagehöhe / -tiefe in cm
CR10 B_1	Boden	Außen	-50
CR10 B_2	Boden	Außen	-20
A_1 B_3	Boden	Außen	-10
A_1 B_4	Luft	Außen	5
A_1	Luft	Außen	30
UVR S_10	Luft	Außen	200
I_1 B_3	Boden	Beet I Hälfte 1	-50
I_1 B_4	Boden	Beet I Hälfte 1	-40
UVR S_7	Boden	Beet I Hälfte 2	-30
UVR S_11	Boden	Beet I Hälfte 1 Kontakt Boden/Heizkabel	-30
I_2 B_3	Boden	Beet I Hälfte 1	-20
UVR S_8	Boden	Beet I Hälfte 2	-20
A_2 B_4	Boden	Beet I Rand	-20
I_2 B_4	Boden	Beet I Hälfte 1	-10
A_2 B_3	Luft	Beet I Hälfte 1	5
A_2	Luft	Beet I Hälfte 1	30
I_1	Luft	Beet I Hälfte 1	30
I_2	Luft	Beet I Hälfte 2	30
UVR S_9	Boden	Beet II Hälfte 1	-30
II_1 B_3	Boden	Beet II Hälfte 2	-50
II_1 B_4	Boden	Beet II Hälfte 2	-40
UVR S_2	Boden	Beet II Hälfte 2	-30
II_2 B_3	Boden	Beet II Hälfte 2	-20
UVR S_3	Boden	Beet II Hälfte 2	-20
II_2 B_4	Boden	Beet II Hälfte 2	-10
CR10 B_3	Luft	Beet II Hälfte 2	5
II_1	Luft	Beet II Hälfte 1	30
II_2	Luft	Beet II Hälfte 2	30
UVR S_6	Wasser	Solarheizungs-Rücklauf	-
UVR S_5	Wasser	Solarheizungs-Vorlauf	-
UVR S_1	Wasser	Kollektorrücklauf	-
UVR S_4	Wasser	Kollektorvorlauf	-
CR10 R	Strahlung	An der Kollektoroberseite	100

2.4.1.2 Kalibrierung der Temperaturmessgeräte

Die Sensoren der Messgeräte wurden ungefähr am Tripelpunkt des Wassers kalibriert. Dazu wurde eine Vorrichtung verwendet, die einer Tripelpunktzelle nachempfunden ist. (siehe Anhang) In einer professionellen Tripelpunktzelle kann die Tripelpunkttemperatur des Wassers von 0,01°C mit einer Genauigkeit von 0,0001 K festgestellt werden. Dafür wird reinstes, gasfreies Wasser verwendet. (Braun, 2009) Diese Genauigkeit ist bei diesem Versuch nicht erforderlich. Der Salzgehalt des Wassers vor Ort beträgt ca. 280 ppm. (siehe Anhang) Gelöste Salze verringern den Gefrierpunkt. So friert Meerwasser, das eine Salinität von 35.000 ppm aufweist erst bei einer Temperatur von ca. -1,91°C. Umgerechnet liegt der Gefrierpunkt des

Wassers, das zur Kalibrierung verwendet wurde, bei $-0,015^{\circ}\text{C}$ (Wetzel, 1975, s.p.) Die gelösten Salze im Wasser, das zur Kalibrierung verwendet wurde, tragen daher nicht zu einer relevanten Gefrierpunktserniedrigung bei.

Das UVR Aufzeichnungsgerät hat eine Auflösung von $0,1^{\circ}\text{C}$. Somit kann unter den oben angeführten Voraussetzungen davon ausgegangen werden, dass die Sensoren durch diese Methode auf eine für den Versuch ausreichende Genauigkeit kalibriert werden und die so erkannten Messfehler durch entsprechende Korrektur auf die richtigen Werte gebracht wurden. Die ermittelten Korrekturwerte sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 9: Auswertung der Kalibrierungsdaten der UVR1611 Sensoren											
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Korrekturwert	0,01	0,13	0,21	0,53	0,63	0,49	0,53	0,10	0,32	0,57	0,40

Tabelle 10: Auswertung der Kalibrierungsdaten der HOBO Sensoren												
	I_2 B_3	I_2 B_4	II_2 B_3	II_2 B_4	II_1 B_3	II_1 B_4	I_1 B_3	I_1 B_4	A_2 B_3	A_2 B_4	A_1 B_3	A_1 B_4
Korrektur	-0,122	-0,146	-0,151	-0,088	-0,079	-0,106	-0,056	-0,041	-0,139	-0,122	-0,064	-0,138

Eine nähere Beschreibung der Kalibrierung, der Kalibrierungsvorrichtung und die Datenaufzeichnungen der Kalibrierung befinden sich im Anhang.

Repräsentativitätsfehler:

Bei Temperaturmessungen entsteht in der Praxis oft ein Repräsentativitätsfehler, dessen Vermeidung eine zu große Zahl an Messsensoren benötigen würde. Die Daten für die Temperaturprofile in den verschiedenen Tiefen, werden in jedem der fast 1 m^3 großen Beete jeweils nur an einem Punkt gemessen und quasi zur Temperatur dieser Bodenschicht erklärt.

2.4.1.3 Aufbau der Sensoren und Abstimmung der Messgeräte

Neben den Sensoren im Kapitel Montage der Temperatursensoren für Steuerungs- und Regeltechnik wurden noch weitere Sensoren verarbeitet, die für die Erstellung von aussagekräftigen Temperaturprofilen benötigt werden. Neben den bereits beschriebenen Sensoren in 20 cm und 30 cm Tiefe sollen auch die Temperaturen in 10 cm, 40 cm und 50 cm Tiefe sowie in 5 cm und 30 cm Höhe über dem Boden in den Glashäusern erfasst werden.



Abbildung 26: Messstab Temperatursensoren

Die Positionierung der Temperatursensoren erfolgte ca. in der Mitte der jeweiligen Beete. Um einen lotrechten Einbau in den jeweiligen Tiefen zu gewährleisten, wurden die Sensoren auf abgemessenen und skalierten Holzstäben montiert. Die Sensoren sind bis zu mehrere Zentimeter lang, daher musste beim Eingraben darauf geachtet werden, dass die Sensoren auch durch die darüber liegende Erde nicht aus einer

waagrechten Position gedrückt werden. Das wurde gewährleistet in dem die Erde beim Zuschütten fest angedrückt wurde und das Loch mit derselben Menge Aushub aufgefüllt wurde. In Abbildung 26 ist diese Anwendung beispielhaft für alle 3 Beete dokumentiert. Die Positionierung der Sensoren in den verschiedenen Bereichen erfolgte entsprechend der Daten aus Tabelle 8.

Das Außentemperaturprofil wurde in ca. 1,2 Meter Abstand zu den Versuchsbeeten gemessen.



Abbildung 27: Referenzmessung außerhalb der Beete

Die Messung der Temperatur 5 cm über dem Boden erfolgt wie bei Messanlagen der ZAMG mit einem ungeschirmten Sensor, der über kurz gemähter Wiese 5 cm über der Erdoberfläche, je nach Länge des Aufwuchses somit bis zu 3 cm über der Grasnabe liegt. Beim Ausheben der Grube für die Positionierung der Außensensoren wurde daher darauf geachtet, die Grasnabe intakt zu halten.

In Abbildung 27 sind die ausgestochenen Rasenziegeln gut zu erkennen bevor sie zur Rückverfestigung wieder festgetreten

wurden. Eine mit ZAMG-Daten vergleichbare Messung der Temperaturen ist somit gewährleistet.

Der Strahlungssensor befindet sich waagrecht am oberen Kollektorrand. Somit ist sichergestellt, dass die Globalstrahlung dort gemessen wird, wo sie am Kollektor auftrifft.

Zeitliche Abstimmung der Messgeräte:

Das CR-10 Gerät zeichnet 4 Mal pro Stunde einen Durchschnittswert der letzten 15 Minuten auf. Die HOBO-Messgeräte zeichnen im 15 Minuten Takt auf, während der Steuerungscomputer UVR1611 des Solarkreislaufs, intern alle Messwerte im Sekundentakt abfragt und im Minutentakt im Datenlogger aufzeichnet. Für die Beobachtung und Analyse des Solarkreislaufs ist dieses kurze Intervall sinnvoll, da sich je nach aktueller Einstrahlung die Messwerte schnell verändern können. Mit dieser Auflösung können Wärmeströme im System gut nachvollzogen werden. Auch für die Wärmemengenmessung sind möglichst kurze Aufzeichnungsintervalle sinnvoll. Für die verschiedenen Auswertungen werden auch die Daten der unterschiedlichen Geräte gleichzeitig verwendet. Um die Vollständigkeit bestimmter Datenkombinationen beim Zusammenführen für einzelne Abfragen zu gewährleisten, werden zur Abstimmung der jeweiligen Gerätedaten Prüfsummen verwendet, um die Kontrolle effizient durchführen zu können. Bei einem 15 minütigen Intervall fallen pro Tag 96 Messwertzeilen an. In dem man z.B. 960 Zeilen nach unten scrollt, kann man einen Zeitraum von 10 Tagen auf einmal prüfen. Mit dieser Methode wird sichergestellt, dass die Auswertungslisten inhaltlich vollständig und zeitlich korrekt sind.

Eventuell fehlende oder falsche Daten bestimmter Zeitabschnitte, die durch Fehlfunktionen der Datenlogger zustande kommen, bleiben in den Rohdaten zur vollständigen Dokumentation bestehen. Für die jeweilige Abfrage werden die Daten auf die jeweilige Auswertungen abgestimmt korrigiert bzw. ergänzt.

2.4.2 Ertragsmessungen

Da es sich um einen Feldversuch mit tatsächlich angebauten Pflanzen handelt, wird nachfolgend festgelegt, wie die Messung der Erträge zu erfolgen hat.

2.4.2.1 Prinzip der Beurteilung anhand von Temperatursummen

In der Landwirtschaft werden Aussagen zu Wachstum und Reifung über die Bestimmung von Temperatursummen gemacht. Diese Methode hat sich als exakter und einfacher gegenüber

einer Bestimmung in Kalendertagen herausgestellt. Verschiedene Pflanzensorten benötigen bis zur Erntereife eine bestimmte Temperatursumme, die auch in unterschiedlichen Zeiträumen erreicht werden kann. Besonders in Österreich, wo viele klimatisch unterschiedliche Gebiete zu finden sind, können so Erträge besser miteinander verglichen werden. Dazu werden zuerst Tagesdurchschnittstemperaturen gebildet, die dann für die jeweilige Periode aufsummiert werden. Durch Kontrollieren, welche Summen schon erreicht wurden, kann der Erntetermin bestimmt werden. (vgl. Schreiber, 1973, S. 4ff, S. 165)

In späteren Untersuchungen wurde das Konzept der Temperatursummen noch um die Berücksichtigung von Wachstumsfaktoren erweitert. Temperaturen unterhalb bestimmter Minimaltemperaturen, die die Pflanze zur Entwicklung benötigt, werden von Temperaturen die zur Mittelwertbildung herangezogen werden, subtrahiert. Für die Entwicklung der Pflanze sind mehrere Faktoren relevant. Zum Beispiel sind das Bodentemperatur, Sonnenstrahlung, Tageslänge, Lufttemperatur, Nährstoffverfügbarkeit, Wasserverfügbarkeit, usw. Jener Faktor, der im Minimum vorhanden ist, begrenzt das Wachstum. Bei schwacher Sonnenstrahlung etwa, trägt die optimale Bodentemperatur nicht zu einem besseren Wachstum bei. (vgl. Krug et al, 2002, S. 30) Wie im Kapitel Bepflanzung erwähnt, ist auch die Entwicklung der Wurzeln temperaturabhängig. Für diese Arbeit wird also davon ausgegangen, dass diese Methodik für diesen Fall sehr gut geeignet ist, zwei Heizformen miteinander zu vergleichen. Bei diesem Versuch werden lediglich die Bodentemperaturen als Variable herangezogen. Alle anderen Wachstumsfaktoren sollten in beiden Beeten gleich sein. Diese Bedingung wurde bei der Standortwahl berücksichtigt.

Berechnung von Temperatursummen:

Sowohl für die Bodentemperatur- als auch für die Lufttemperatursummenbildung kommt folgendes Verfahren zur Anwendung. Die Temperaturen zur vollen Stunde werden pro Tag aufsummiert und durch 24 dividiert. Somit erhält man die Tagesmitteltemperatur. Diese Tagesmitteltemperatur wird dann von jedem Tag für den jeweiligen gewünschten Betrachtungszeitraum aufsummiert.

2.4.2.2 Optische Beurteilung

Neben quantitativen Messungen werden Bestände im Pflanzenbau auch einer qualitativen Beurteilung unterzogen.

Aufwuchs und Wurzeln:

Die Innenmaße der Beete betragen ca. 180 cm x 110 cm. In Abstimmung mit dem benötigten Pflanzabstand der im Kapitel Jungpflanzenaufzucht erörtert wird, können die Beetflächen in jeweils 48 Rechtecke mit einer Kantenlänge von ca. 22 cm x 18 cm aufgegliedert werden. Das ermöglicht nicht nur ein genau platziertes Einpflanzen. Mit Hilfe des Monitoringrasters, der in Abbildung 52 dargestellt ist, sind die Pflanzenbestände auch optisch vergleichbar. Fragen zur Konstitution der Pflanzen und Bestandesdichte bzw. dem Bedeckungsgrad lassen sich so leichter beantworten. Die Durchwurzelungstiefe soll am Ende des Versuchs durch Ausgraben einzelner Wurzelstränge festgestellt werden.

Sichtbare Schäden:

Da bei dem Versuch bis auf das gebeizte Saatgut keine Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen, wird es wahrscheinlich zu vereinzelt Schäden an den Pflanzen kommen. Diese können in diesem Fall optisch am besten erfasst und für die Zwecke dieser Arbeit analysiert werden.

2.4.2.3 Zählung der Individuen

Jedes Beet verfügt über ein Raster von 48 Feldern. In jedes Feld werden zu Beginn des Versuchs 2 Individuen gepflanzt. In Summe befinden sich also 96 Einzelpflanzen in jedem Beet. Am Ende des Versuchs kann die gepflanzte Anzahl mit der geernteten Anzahl verglichen werden.

2.4.2.4 Gravimetrische Messung

Gewogen wird die Pflanzenmasse direkt nach der Ernte und nach Lufttrocknung.

Messung Frischgewicht:

Der Lauch wird direkt am Wurzelansatz abgeschnitten und so gut wie möglich mechanisch von Erde befreit. Da die 2 Vergleichsbeete baulich jeweils aus 2 Halbbeeten bestehen, erfolgt eine Messung von jeweils 2 Teilmengen.

Zur Bestimmung des Frischgewichts kam eine handelsübliche digitale Küchenwaage zum Einsatz. Das Ausmaß der Ungenauigkeit dieser Waage wurde im Zuge des Wiegens der

Trockenmasse mit einer geeichten Sanatorius Waage festgestellt. Die Küchenwaage zeigte im Bereich des gewogenen Frischgewichts ca. 1% zu viel an.

Messung Trockenmasse:

Ebenso wie das Frischgewicht wird auch die Trockenmasse in 4 Teilmengen erhoben. Gemessen wird dabei nicht die absolute Trockenmasse. Bei diesem Versuch geht es darum, eindeutig vergleichbare Ertragsergebnisse zu erhalten. Die Frischmasse wurde über mehrere Tage unter gleichen Bedingungen Luft getrocknet. Direkt nach der Ernte könnte das Frischgewicht der einzelnen Pflanzen auf Grund unterschiedlicher Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden voneinander abweichen. Bei ausreichend langer Trocknung bei Zimmertemperatur kann man davon ausgehen, dass alle Probenbestandteile einen innerhalb der Messgenauigkeit dieses Versuchs liegenden vergleichbaren Wassergehalt aufweisen.

2.4.3 Strahlungsmessung

Für die Auswertung der Ergebnisse in diesem Versuch sind sowohl biologische als auch technische Faktoren relevant. Neben der Kenntnis über die Globalstrahlung ist auch die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) interessant. Der PAR-Anteil der Globalstrahlung beträgt ca. 45% bis 50% (vgl. Schreier, 2010, S. 10) Bei diesem Versuch kommt ein Quantumsensor zum Einsatz, der den PAR-Anteil der Globalstrahlung misst, in dem die Photonenstromdichte (engl. Photosynthetically Active Photon Flux Density, PPFD) registriert wird. Der Quantumsensor gibt bei Bestrahlung eine bestimmte Spannung ab:

$$1\text{mV} = 100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \quad (7)$$

Mit diesem Wert kann die Globalstrahlung, wie nachstehend beschrieben, berechnet werden. (Campbell Scientific, 2012) Die Photonenstromdichte wird in Mikromol pro Quadratmeter pro Sekunde gemessen. Der Energieinhalt der Solarstrahlung im PAR-Bereich beträgt $235\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. (Campbell und Normann, 1998, S. 147ff.)

Kalibrierung des Sensors:

Die Globalstrahlung wird in W/m^2 angegeben. Zur Kalibrierung wurden die Daten der ZAMG-Wetterstation in Reichenau an der Rax herangezogen. An wolkenlosen Tagen wurde die Globalstrahlung mit dem gemessenen PAR-Anteil verglichen, in dem mit Hilfe der oben angeführten Werte umgerechnet wurde. Die Kalibrierung ergab, dass der PAR-Anteil an der Globalstrahlung bei 46,8% lag. Nachfolgend ist die Umrechnung für einen Quantumsensorenwert von 15mV ($1.500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) angeführt:

$$P_{PAR} = PPFD / 1 \text{ mol} \cdot 2,35 \cdot 10^{-5} \quad (8)$$

$$P_G = P_{PAR} / 46,8 \cdot 100 \quad (9)$$

$$P_G = 1500 \cdot 0,000001 \cdot 235000 / 46,8 \cdot 100 = 753,2W \quad (10)$$

Die Globalstrahlung beträgt also 753,2 Watt pro Quadratmeter. Dem obigen Beispiel für einen Wert von 15mV folgend, wurden sämtliche Globalstrahlungswerte berechnet.

2.4.4 Energiemessungen

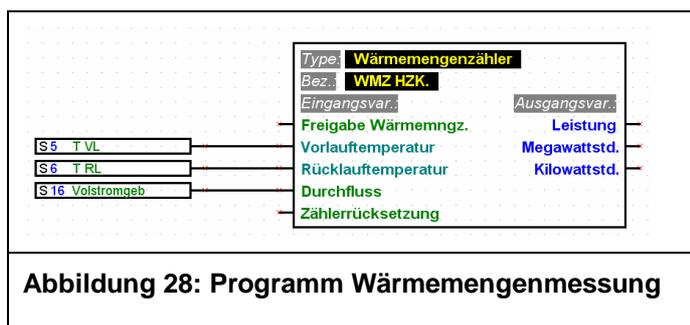
Für die Beurteilung des Wirkungsgrades der Solaranlage werden die von der Sonne einstrahlten Energiemengen mit den solarthermisch generierten Werten verglichen. Die Kenntnis über die Globalstrahlung erlaubt auch Rückschlüsse auf die benötigte Heizleistung im elektrisch beheizten Beet.

2.4.4.1 Energiemessung an der Solaranlage

Zur energetischen Beurteilung der Ergebnisse werden die umgesetzten Wärmemengen und der Energieverbrauch der Solarpumpe gemessen.

Programmierung der Wärmemengenmessung:

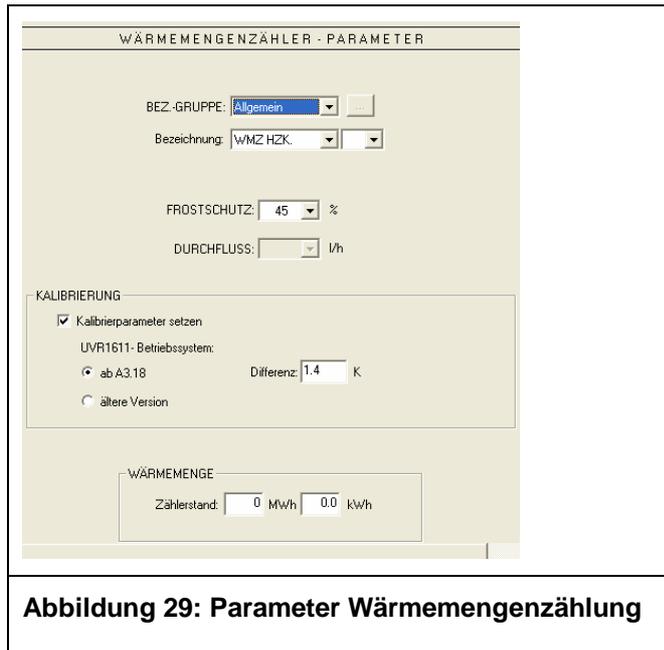
Für die Erfassung der Wärmemengen gibt es eine vorgefertigte Programmtype für den Steuerungscomputer, die in Abbildung 28 dargestellt ist. Wie bei den Programmen Mischerregelfunktion und PID-



Regelung ist die Solarregelung die Basis, die das Programm freischaltet. Diese Freigabe bildet den ersten Eingang des Programms. Die Eingänge zwei

und drei werden durch die Vorlauf- und Rücklauftemperatur gespeist und Eingang vier ist mit dem Volumenstromgeber verbunden.

Im Detail wurde das Programm folgendermaßen parametrierung: Für die Berechnung der Wärmemenge ist die Eingabe des Gehalts an Frostschutzmittel nötig, dieser betrug zu



Versuchsbeginn 45%. Um die Differenztemperatur zwischen Vorlauf und Rücklauf exakt bestimmen zu können, muss die Kalibrierungsdifferenz von 0,4°K eingegeben werden. In das Feld Durchfluss muss manuell kein Wert eingegeben werden, da es mit den Signalen des Durchflussmessers verknüpft ist. Der Versuch startet bei 0kWh.

Abbildung 29: Parameter Wärmemengenzählung

Berechnung der Wärmemenge:

Für die Energiemessungen sind Temperaturdaten, Durchflussdaten und Einstrahlungsdaten nötig. Die Kalibrierung der Temperatursensoren wurde schon im Kapitel Kalibrierung der Temperatursensoren beschrieben. Der Durchflussmesser wurde für den Versuch neu gekauft und wurde vom Hersteller Technische Alternative entsprechend kalibriert, so dass für die Versuchsdauer von korrekten Ergebnissen ausgegangen werden kann. Die Wärmemengemessung erfolgt durch Messung des Volumenstroms sowie der Vorlauf- und der Rücklauftemperatur der Heizung. Über den Volumenstrom kann auf die Masse (m) des durch den Wärmetauscher geströmten Heizmediums geschlossen werden. Das Heizmedium weist eine spezifische Wärmekapazität (c_p) auf. Zieht man die Rücklauftemperatur von der Vorlauftemperatur ab, erhält man eine Differenz. Diese Differenz (ΔT in K) entsteht durch Wärmeabgabe des Heizmediums an den Boden. Mit diesen Parametern kann die abgegebene Wärme (Q in kJ) berechnet werden.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (11)$$

Laut Herstellerangaben des verwendeten Frostschutzmittels und dem Vergleich mit der von Ladener und Späte erstellten Tabelle über die Eigenschaften gebräuchlicher Wärmeträger für Solaranlagen kann von folgenden ungefähren Werten für die Berechnung ausgegangen werden (vgl. Ladener und Späte, 2003, S. 106): $c = 3,615 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $m = 1,22 \text{ kg.l}^{-1}$

Die Testläufe haben gezeigt, dass für den Durchfluss von Sensor 16 teilweise auch Werte ausgegeben werden, obwohl die Solarpumpe still steht und somit kein Durchfluss stattfinden kann. Die Durchflussmenge wird von der UVR Station rechnerisch auf Basis der Impulse, die

vom Volumenstromgeber ausgesendet werden, ermittelt. Das hat Abweichungen zwischen tatsächlichem und berechnetem Durchfluss zur Folge. Daher wurden die Wärmemengen, die bei Pumpenstillstand vom Steuerungscomputer errechnet wurden, manuell ausgeschieden.

Stromverbrauch der Solarpumpe:

Der Stromverbrauch wird pro geloggtter Zeiteinheit wie im folgenden Beispiel berechnet:

Taktung: 1 Minute, Stellgröße 15, Leistung 22,5W

$$22,5\text{W} / 60\text{min} = 0,375 \text{ Wh/min} \quad (12)$$

Die berechneten Werte werden aufsummiert und geben so Auskunft über den Stromverbrauch während der Versuchsdauer.

2.4.4.2 Energiemessung der Elektroheizung

Heizleistungsmessung der Elektroheizung: Das Heizkabel hat eine Leistung von ca. 200W. Für die Berechnung der gesamten Heizleistung wird die Betriebsdauer in Stunden mit der Leistung in Watt multipliziert und man erhält so die verbrauchte Anzahl an Wh bzw. an kWh.

Beispiel:

Das Heizkabel läuft über einen Tag verteilt insgesamt 5 Stunden

$$5\text{h} \cdot 200\text{W} = 1000\text{Wh} \rightarrow 1\text{kWh} \quad (13)$$

3 Ergebnisse

Dieser Versuch fand in einem von der Witterung abhängigem Umfeld statt. Für die spätere Bewertung der Ergebnisse sind Informationen über das Wetter während der Versuchsperiode relevant.

3.1 Witterungsverlauf

Die Witterung lag während der Versuchsperiode wie folgt beschrieben:

März 2012:

Es war der drittsonnigste März seit Beginn der Sonnenschein-Aufzeichnungen der ZAMG im Jahr 1880 und der drittwärmste März seit Beginn der Temperaturlaufzeichnungen im Jahr 1767. Das bundeslandweite Temperaturmittel lag um 2,6°C über dem langjährigen Mittel. Im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt schien die Sonne österreichweit um 50% länger (Hohe Wand 240 Stunden). In Niederösterreich fielen nur 36% der sonst im März üblichen Regenmengen. Der März 2013 dagegen war kälter als im Durchschnitt mit viel weniger Sonnenstunden (Sonnigster Ort 2013: Seibersdorf 144 Stunden)

April 2012:

Bis zum 26. April wich das Apriltemperaturmittel im Vergleich zum klimatologischen Mittel kaum ab. Erst eine Hitzewelle Ende April hob die Monatsmitteltemperatur in Niederösterreich um 1,1°C über das langjährige Mittel an. Während dieser Hitzewelle Ende April wurden auch die Temperaturrekorde für April an vielen Messstellen gebrochen. Die Sonnenausbeute war bundesweit mit +15% ebenfalls höher als der langjährige Durchschnitt.

Mai 2012:

Auch im Mai schien die Sonne in Österreich um ca. 12% länger als im Durchschnitt. Die Durchschnittstemperaturen waren um 1,4°C höher als normal. Im Gegensatz zu den höheren Durchschnittstemperaturen traten im Mai allerdings nach den Eiseiligen am 18.05.2012 ungewöhnlich tiefe Frühtemperaturen auf. (vgl. ZAMG 2; 2012) Am Versuchsort lag die Frühtemperatur bei -3,9°C, gemessen 5 cm über dem Boden.

3.2 Bodentemperaturprofile

Diese sind charakteristisch für den jeweiligen Messort. Während der Versuchsdauer gab es zwei Zieltemperaturen, wie im Kapitel Praxistaugliche Einstellung der Solaranlage beschrieben. Zu Beginn, ab 14. März 2012, lag das Ziel in 20 cm Tiefe bei 20°C, während ab 15. April 2012 bis Versuchsende 25°C angestrebt wurden.

3.2.1 Temperaturprofile Elektroheizung

Direkt nach dem Start des Versuchs stiegen die Temperaturen nach und nach in allen Bodenschichten, beginnend in 30 cm Tiefe um das Heizkabel, an. Nachfolgend sind die Tiefen 10 cm, 20 cm und 50 cm einzeln beschrieben, da sie jeweils einen für das Elektrobeet charakteristischen Verlauf nehmen, der in Abbildung 30 dargestellt ist.

50 cm Tiefe

Das Profil des elektrisch beheizten Beets zeichnet sich durch geringe Amplituden in 50 cm Tiefe aus. Die starken Ausschläge des Sensors „-50 I_1 B_3“ nach oben sind auf fehlerhafte Messergebnisse bis zum 19. April 2012 zurückzuführen. Dennoch ist es möglich, den Temperaturverlauf in dieser Tiefe sehr gut nachzuvollziehen, in dem man sich im Bereich der fehlerhaften Werte am unteren Rand der schwarzen Linie orientiert. Der sprunghafte Anstieg nach der Erhöhung der Solltemperatur auf 25°C ist deutlich erkennbar. Während des gesamten Versuchszeitraums steigt die Minimaltemperatur in dieser Tiefe konstant an. Am 18.03.2012 beträgt die Minimaltemperatur 15,2°C und steigt bis 15.04.2012 innerhalb von 29 Tagen um 1,4°C auf 16,6°C an. Danach, nach Erreichen der höheren Solltemperatur, steigt die Minimaltemperatur ab 19.04.2012 von 19,4°C innerhalb von 29 Tagen um 1,2°C auf 20,6°C am 18.05.2012 an.

Im Gegensatz zu 10 cm Tiefe ist diese Schicht gegenteilig von der Globalstrahlung beeinflusst. An Tagen starker Globalstrahlung steigt die Temperatur in 50 cm weniger stark an, als an Tagen schwacher Globalstrahlung. Dieser Effekt ist sehr gut um den 04.05.2012 bzw. um den 13.05.2012 erkennbar, da auf Grund der fehlenden Globalstrahlung viel geheizt werden musste und damit ein Temperatursprung in 50 cm stattfand.

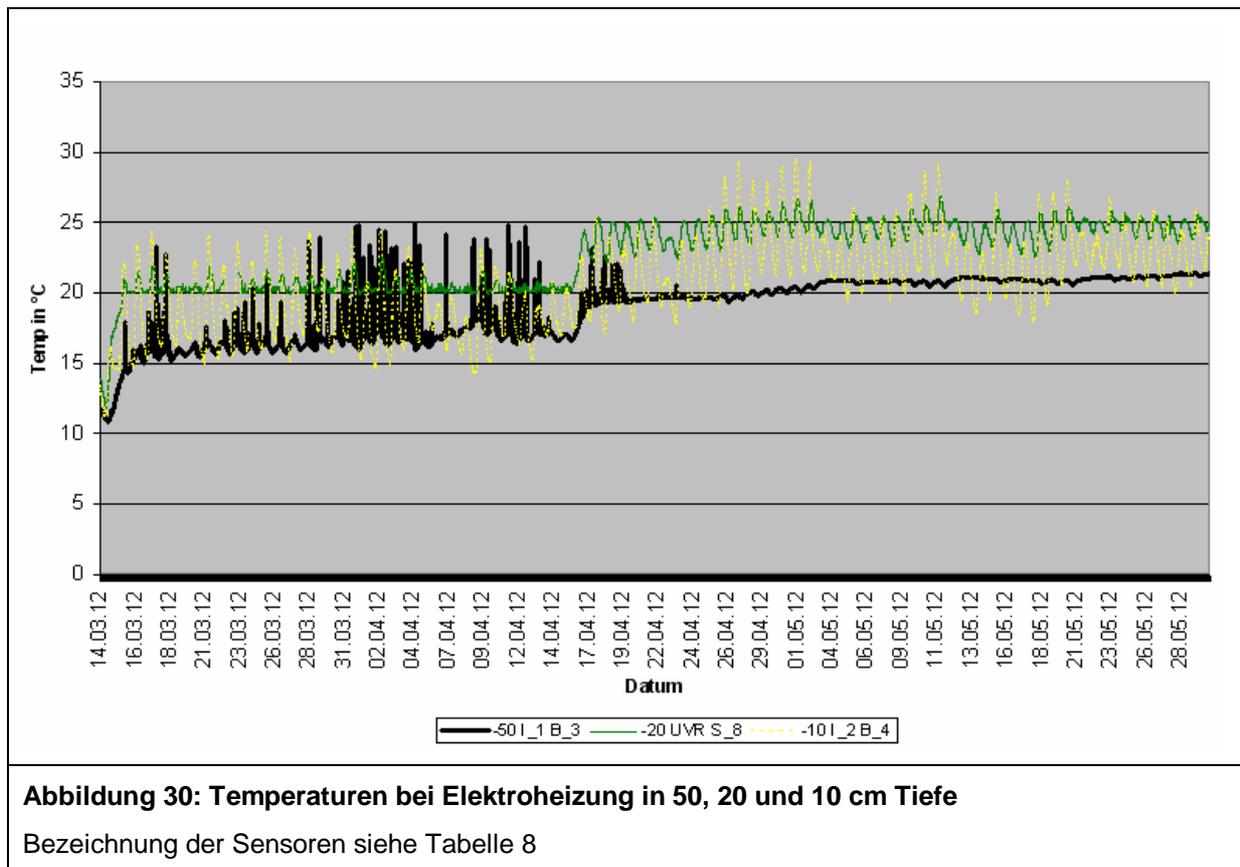
20 cm Tiefe

Die Amplituden in dieser Tiefe zeigen zwei verschiedene Muster. Von Versuchsbeginn bis zur Erhöhung der Solltemperatur liegt die Minimaltemperatur konstant bei ca. 20°C, danach schwankt die Temperatur zwischen 23°C und 27°C. In dieser Periode sind die täglichen

Schwankungen auf Grund der Wirkung der Globalstrahlung deutlich erkennbar. Im nächsten Kapitel wird diese Bodentiefe im Vergleich zu 30 cm Tiefe beschrieben.

10 cm Tiefe

Hier ist die Temperatur während des gesamten Versuchsverlaufs starken täglichen Schwankungen auf Grund der Wirkung der Globalstrahlung unterworfen. Vor Erhöhung der Solltemperatur schwankt sie zwischen ca. 14°C und 24°C, nach Erhöhung der Solltemperatur liegt die Schwankungsbreite zwischen 17,5°C und 29°C.



3.2.1.1 Detailbetrachtungen 20 cm Tiefe und 30 cm Tiefe

In bestimmten Tiefen und zu bestimmten Zeiten, zeigen die Temperaturprofile des Elektrobeets einen charakteristischen Verlauf, der nachfolgend näher beschrieben wird:

Vergleich der Solltemperatur 20°C in 20 cm Tiefe bzw. 25°C in 30 cm Tiefe mit der Solltemperatur 25°C in 20 cm Tiefe bzw. 26°C in 30 cm Tiefe

Am 14.03.2012 lag die Solltemperatur in 20 cm Tiefe bei 20°C, im Bereich des Heizkabels in

30 cm Tiefe wurde die Maximaltemperatur auf 25°C begrenzt. Mit diesen Reglereinstellungen wurde die Solltemperatur von 20°C an keinem Tag unterschritten. Einzelne Tagesspitzen mit bis zu 23°C kamen an Tagen mit starker Sonnenstrahlung um die Mittagszeit vor. Im Vergleich dazu schwankte die Temperatur in 30 cm Tiefe in unmittelbarer Umgebung des Heizkabels ca. zwischen 19°C und 25,5°C.

Am 15.04.2012 wurde die Solltemperatur in 20 cm Tiefe auf 25°C und in 30 cm Tiefe auf 26°C angehoben. Das hatte zur Folge, dass sich die Temperaturverhältnisse in Bezug auf Schwankungen in den beiden Tiefen umkehrten. Bis auf einige Ausnahmen an Tagen starker Sonneneinstrahlung um die Mittagszeit schwankte die Temperatur in 30 cm Tiefe im Bereich der Hysterese von 0,8°C ca. zwischen 25°C und 25,8°C und war damit im Gegensatz zur Temperatur in 20 cm Tiefe relativ konstant.

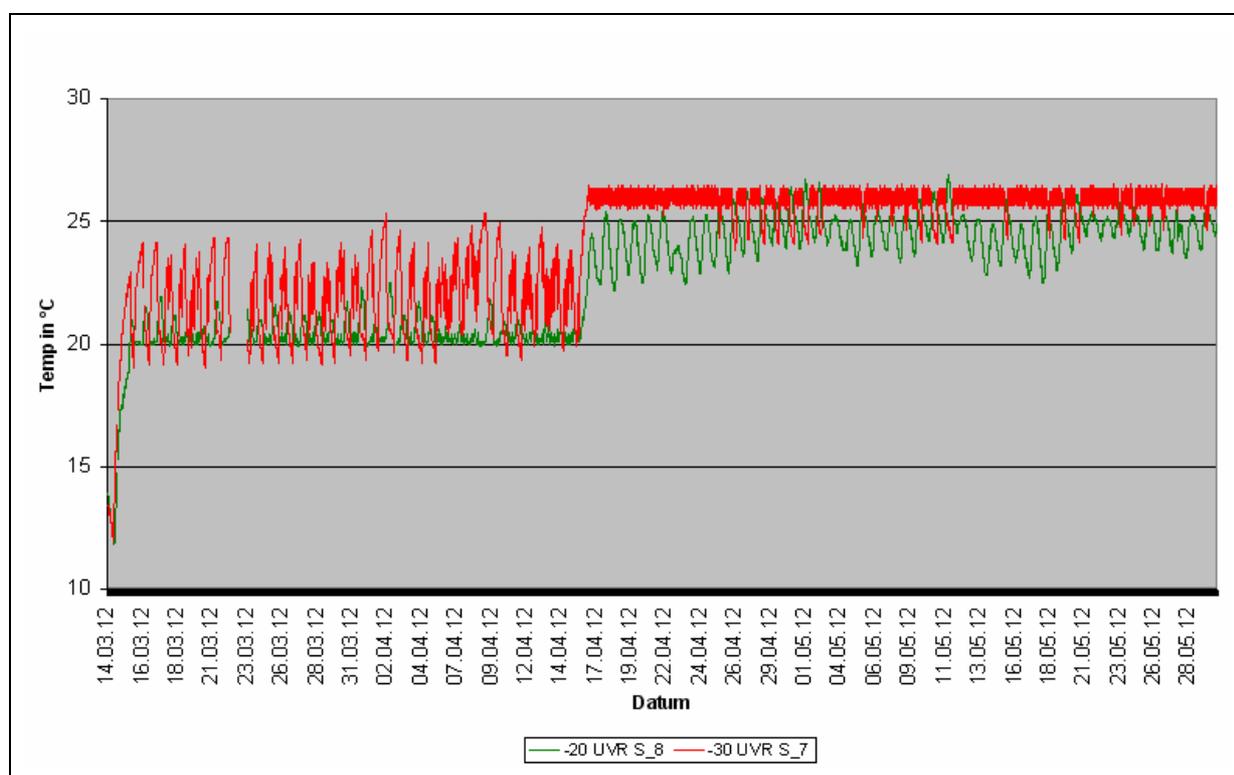


Abbildung 31: Vergleich der Temperaturen bei Elektroheizung in 20 cm und 30 cm Tiefe

Bezeichnung der Sensoren siehe Tabelle 8

Detailbetrachtung 14.03.2012 bis 15.04.2012, Solltemperatur 20°C / 25°C

An sonnigen Tagen steigt die Temperatur in 20 cm Tiefe tagsüber ohne Wärmezufuhr vom Heizkabel über die Solltemperatur von 20°C. Während der Nachtstunden und an Tagen ohne ausreichend Sonnenstrahlung schwankt die Temperatur im Rhythmus der Thermostatschaltungen, die während dieses Zeitraums bis auf zwei Ausnahmen am 02.04.2012 und am 10.04.2012 nur vom Regler für die Temperatur in 20 cm Tiefe ausgelöst wurden. Ein typischer Tagesgang für diesen Zeitraum ist in Abbildung 32 zu sehen. In den Nachtstunden

heizt sich der Bereich in 30 cm Tiefe auf. Die Wärmewelle führt zu einem langsamen Ansteigen der Temperatur in 20 cm Tiefe. Dieser Anstieg beschleunigt sich nach einigen Stunden und löst bei Erreichen der Solltemperatur von $20,4^{\circ}\text{C}$ ($20^{\circ}\text{C} + 0,4^{\circ}\text{C}$ Hysterese) ein Unterbrechen des Stromkreises durch den Regler aus. Man kann gut erkennen, dass die Temperatur in 20 cm Tiefe noch einige Zeit lang konstant bleibt, da noch Wärme aus 30 cm Tiefe aufsteigt, bevor sie dann wieder abfällt und sich bei 20°C , nach neuerlichem Aktivieren der Heizung, einpendelt. Bei Sonneneinstrahlung deaktiviert sich die Heizung ebenfalls bei $20,4^{\circ}\text{C}$, die Temperatur steigt ähnlich wie in der Nacht auf Grund der Wärmewelle aus der Tiefe weiter an, allerdings höher, da bereits Globalstrahlung auf das Beet wirkt. Nachdem die Temperatur in 30 cm Tiefe weiter sinkt und die Wärmezufuhr durch die Globalstrahlung erst

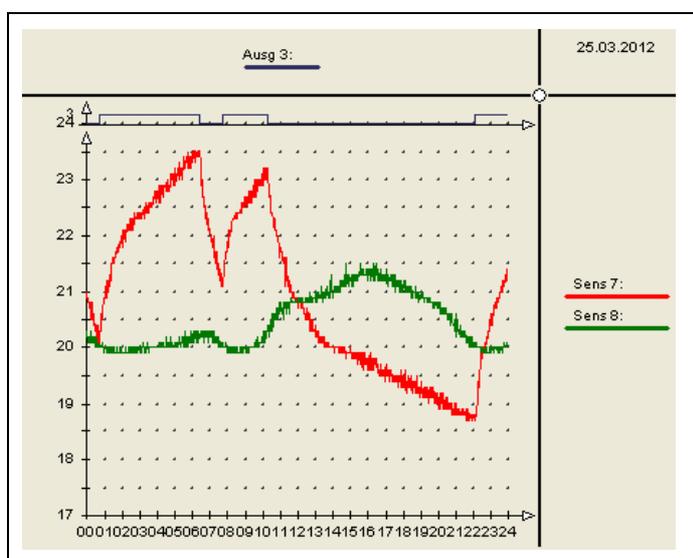


Abbildung 32: Tagesgang der Temperatur (y-Achse) bei Elektroheizung in 20 cm (grün) und 30 cm (rot) Tiefe am 25.03.2012 im Tagesverlauf (x-Achse)

20 cm Tiefe erreichen muss, pendelt sich die Temperatur bei ca. 21°C ein, um dann am Nachmittag, wenn die Wärmewelle von oben ankommt, weit über die Solltemperatur anzusteigen. In den Abendstunden fallen die Temperaturen wieder in beiden Tiefen, bis in 20 cm Tiefe die Mindesttemperatur von 20°C erreicht wird. Dann startet der Heizzyklus wieder wie oben beschrieben.

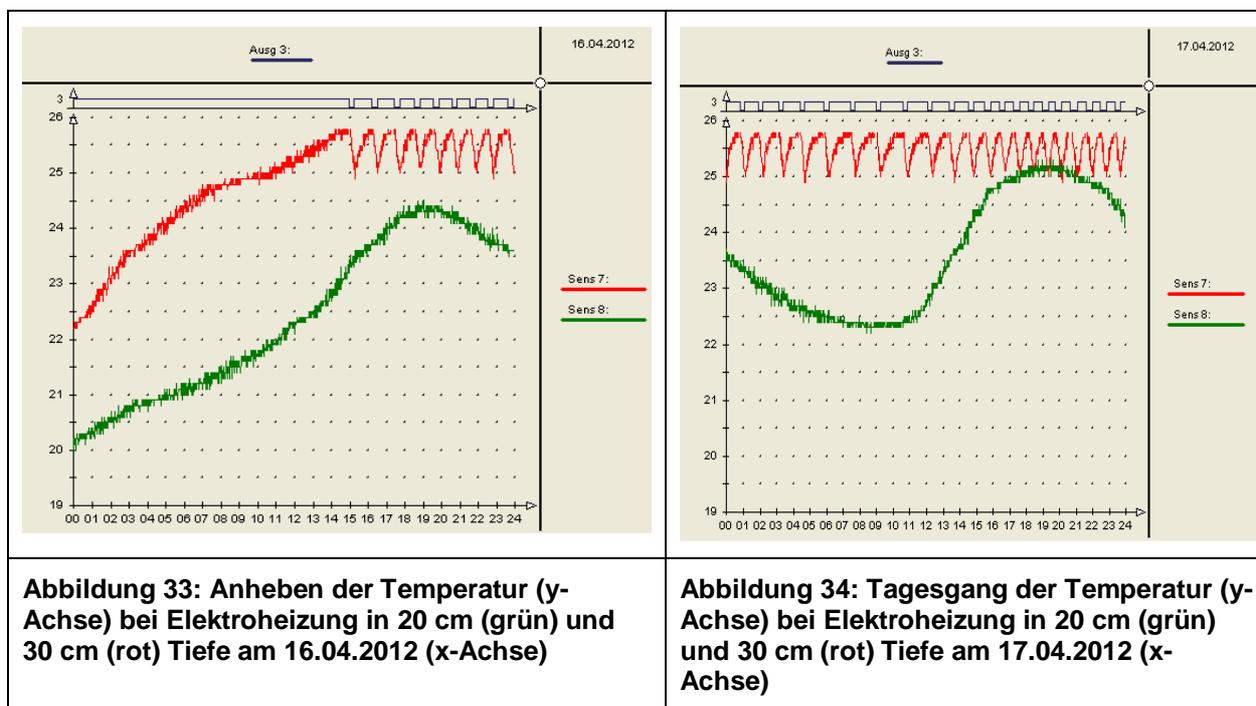
Dieses Muster ist an allen sonnigen Märztagen erkennbar, die einzelnen Werte und Schaltzeiten variieren je nach Globalstrahlungsverhältnissen

von einer bis zu drei Schaltvorgängen pro Tag. An Tagen mit schwacher Globalstrahlung fehlt die Temperaturspitze in 20 cm Tiefe und die Temperatur in 30 cm Tiefe schwankt auch tagsüber ungefähr in dem Bereich der Schwankungen der Nachtstunden.

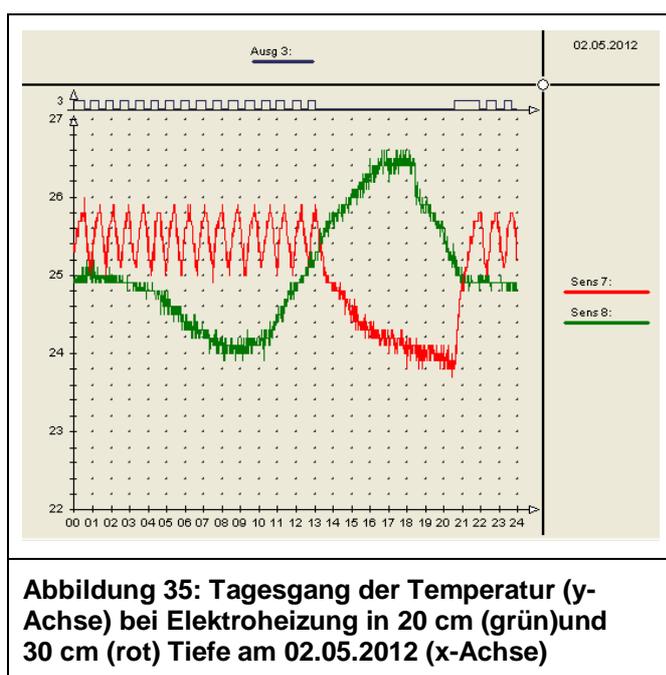
Detailbetrachtung 15.04.2012 bis 17.04.2012: Anheben auf das höhere Temperaturniveau

Am 15.04.2012 wurde die Solltemperatur in 20 cm Tiefe auf 25°C angehoben, die Referenztemperatur in 30 cm Tiefe auf knapp 26°C . Wie in Abbildung 33 ersichtlich, wurden die neuen Einstellungen erst einen Tag später, am 16.04.2012, erreicht. Die rote Linie der Temperatur in 30 cm Tiefe steigt bis auf $25,8^{\circ}\text{C}$ an und pendelt sich in Abbildung 34 im neuen Muster innerhalb der Hysterese zwischen $25,0^{\circ}\text{C}$ und $25,8^{\circ}\text{C}$ ein. Das neue Schaltmuster setzt sich

aus langen Heizphasen zusammen, die jeweils für einige Minuten unterbrochen werden. Die Solltemperatur, dargestellt durch die grüne Linie, wird mit diesen Einstellungen lediglich in den späten Nachmittagsstunden, in denen die Wärmewelle der Globalstrahlung in 20 cm Tiefe ankommt, erreicht. Bis Ende April schwankt die Temperatur in 20 cm Tiefe zwischen 22,0°C und 25,5°C an sonnigen Tagen. An Tagen mit wenig Globalstrahlung wird die Zieltemperatur von 25°C nicht erreicht.



Detailbetrachtung Ende April / Mai 2012, Solltemperatur 25°C / 26°C



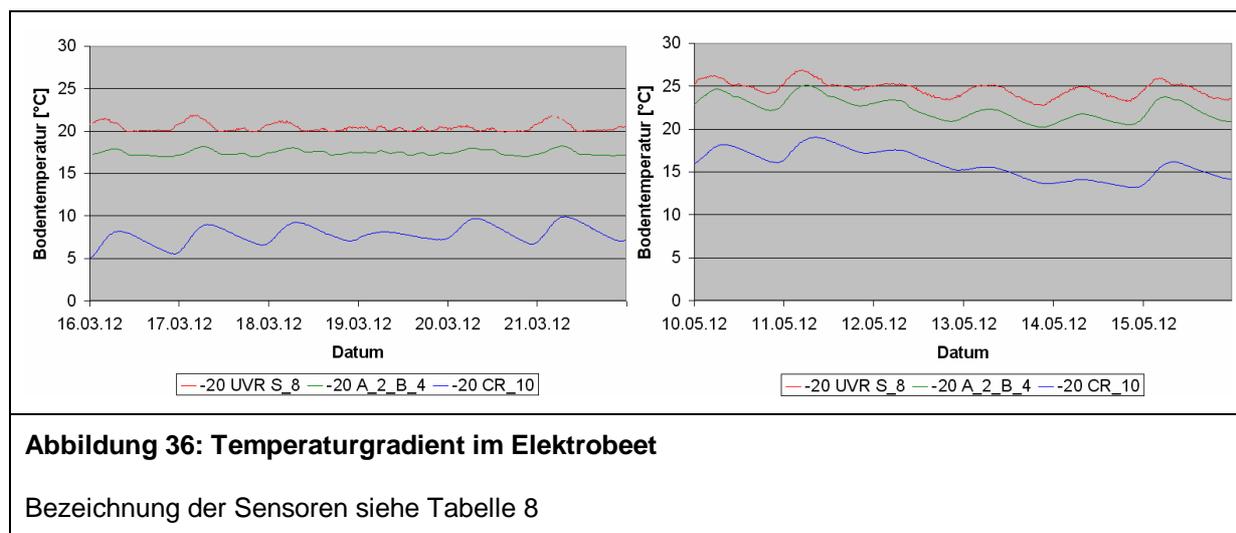
Im Mai kann die Temperatur in 20 cm Tiefe über längere Zeiträume über 25°C gehalten werden. In **Abbildung 35** ist der Abfall in den frühen Morgenstunden auf 24°C gut erkennbar. In den Nachtstunden reicht die auf 25,8°C begrenzte Heizung in 30 cm Tiefe immer noch nicht aus, um genügend Wärme nachzuliefern. Die Temperatur in 20 cm Tiefe sinkt daher bis zum Vormittag ab, bis sie an sonnigen Tagen am späten Nachmittag die Tages Spitze erreicht, die höher als 25°C liegt. Das hat zur Folge, dass keine Heizung notwendig ist und daher die Temperatur

in 30 cm Tiefe unter 25°C fällt. An Tagen mit schwacher Globalstrahlung schwankt die Tem-

peratur zwischen 23°C und 25°C in 20 cm Tiefe und die Temperatur in 30 cm Tiefe bleibt auf Grund der fast durchgängigen Beheizung konstant zwischen 25°C und 25,8°C.

3.2.1.2 Temperaturgradient im Elektrobeet

Wie im Kapitel „Elektroheizungssystem“ beschrieben, ist an den Rändern eine niedrigere Temperatur zu erwarten, als in der Beetmitte. Die Ergebnisse bestätigen diese Annahme:



Die rote Linie ist die Begrenzungstemperatur in 20 cm Tiefe, die in der Mitte des Beets gemessen wird. In grün ist die Temperatur dargestellt, die ebenfalls in 20 cm Tiefe, allerdings am Beetrand unmittelbar an der Innenseite der Isolierung, gemessen wurde. Die Bodentemperatur in 20 cm Tiefe außerhalb des Beets wurde in 1,2 Meter Abstand zu den Versuchsbeeten gemessen und ist in Abbildung 36 blau dargestellt.

Der Temperaturgradient in 20 cm Tiefe im Elektrobeet hängt hauptsächlich von der Außentemperatur in 20 cm Tiefe ab. Ist der Temperaturgradient zwischen Innen und Außen hoch, wird mehr Wärme nach Außen abgegeben. Zu Beginn des Versuchs herrschen außerhalb des Beetes lediglich Temperaturen zwischen 5°C und 10°C. Das bewirkt einen Temperaturgradient von ca. 3°C. Gegen Ende des Versuchs, wo die Bodentemperatur außerhalb der Beete zwischen 15°C und 20°C schwankt, ist der Gradient mit Werten zwischen 0,5°C und 3°C etwas geringer. Deutlich erkennbar ist die größer werdende Differenz, wenn die Außentemperatur von 11.05. bis 15.05.2012 abfällt.

3.2.2 Temperaturprofile Solarheizung

Zu Beginn des Versuchs steigen die Temperaturen aller drei Bodentiefen im Rhythmus der Globalstrahlung an. Tiefere Bodenschichten reagieren verzögert auf die Globalstrahlung. Über die gesamte Versuchsdauer sind alle Schichten starken Temperaturschwankungen ausgesetzt, wie in Abbildung 37 dargestellt.

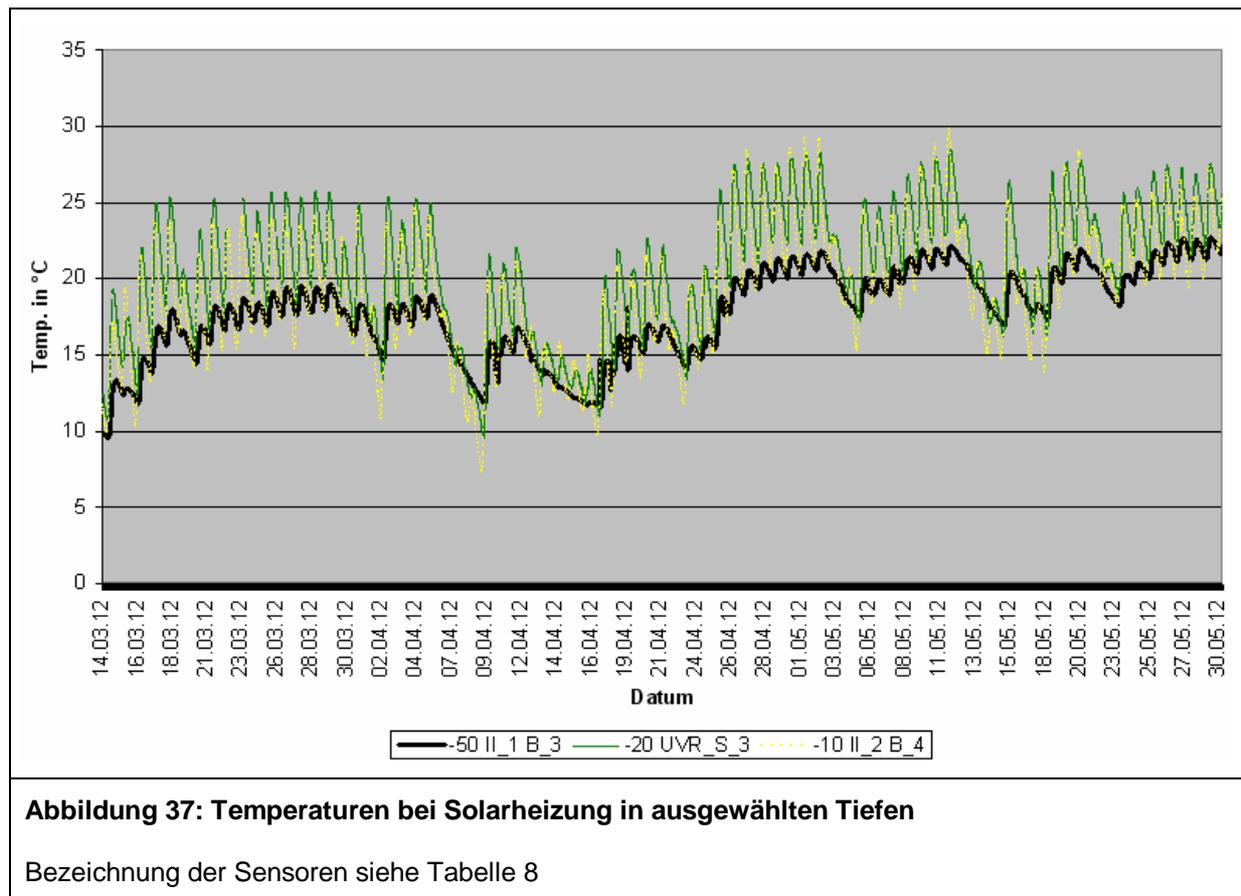
50 cm Tiefe

Im Gegensatz zum elektrisch beheizten Beet ist die Temperatur in 50 cm Tiefe (schwarze Linie) stärkeren Schwankungen ausgesetzt. Die täglichen Schwankungen sind größer und die starken Temperaturrückgänge in Schlechtwetterperioden sind im Gegensatz zum Elektrobeet deutlich ausgeprägt. Die Aufwärmphase zu Beginn des Versuchs dauert deutlich länger, danach steigen die Temperaturen bis zum 29.03.2012 auf knapp 20°C an. Die Aufwärmphase auf das höhere Temperaturniveau dauert ebenfalls einige Tage länger. Danach steigt die Temperatur auf bis zu 22,7°C am 29.05.2012 an, unterbrochen von Temperaturrückgängen in Schlechtwetterphasen auf bis zu 16,9°C am 16.05.2012.

20 cm / 10 cm Tiefe

Beide Tiefen sind stark von der Globalstrahlung beeinflusst und schwanken in der 20°C Solltemperaturphase (bis zum 15.04.2012) an Tagen starker Globalstrahlung mit Tagesamplituden bis zu 10°C. Sie steigen tagsüber auf bis zu 25°C an und sinken in den Nachtstunden auf unter 20°C ab. An Tagen mit wenig Globalstrahlung fällt die Temperatur deutlich unter den Sollwert. Großteils liegen die Temperaturen über 20°C. Nach der Aufwärmphase kann die Solltemperatur von 25°C nur in Zeiten starker Globalstrahlung erreicht werden.

In 10 cm Tiefe (gelbe Linie) sind die Schwankungen sowohl nach oben als auch nach unten stärker ausgeprägt. So kühlt diese Schicht schneller und tiefer ab, erhitzt sich aber auch schneller und höher als die Schicht in 20 cm Tiefe (grüne Linie).



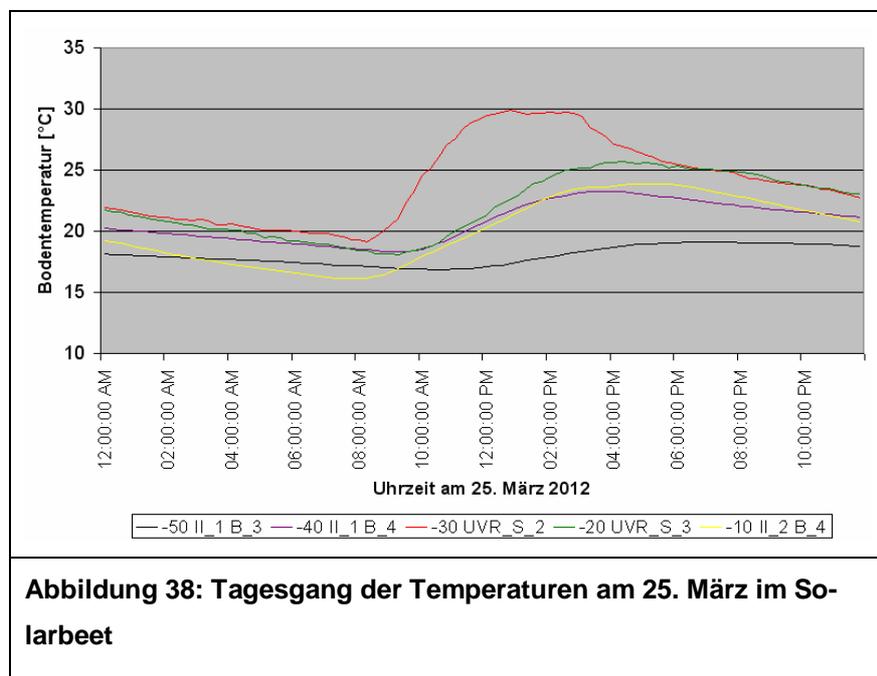
3.2.2.1 Detailbetrachtungen bestimmter Zeiträume im Solarbeet

Das Temperaturverhalten im Solarbeet weist charakteristische Verläufe auf, die von der jeweiligen Witterung abhängen. Nachfolgend sind die Wesentlichsten beschrieben.

Detailbetrachtung 14.03.2012 bis 15.04.2012, Solltemperatur 25°C / 30°C

Am 14.03. konnte die Temperatur auf Grund starker Sonneneinstrahlung innerhalb von 7 Stunden auf knapp 20°C um 17:00 Uhr in 20 cm Tiefe gebracht werden. Diese Temperatur konnte während der folgenden Nachtstunden nicht gehalten werden. Erst innerhalb der nächsten Tage zeichnete sich ein Bild wie in Abbildung 38 ab. An sonnigen Tagen werden 20°C in 20 cm Tiefe (grüne Linie) nur während weniger Stunden zu Tagesbeginn unterschritten. Nach Sonnenaufgang kommt es zu einem raschen Anstieg der Temperatur in 30 cm Tiefe (rote Linie) auf die Solltemperatur von 30°C. Diese Wärme kommt ca. zwei Stunden später in 20 cm Tiefe an und erwärmt diese Schicht bis zur Maximaltemperatur von 25°C. Dieses Temperaturniveau wird einige Stunden gehalten, bis die Temperatur in der Nacht wieder auf unter 20°C abfällt.

Die Temperaturen in 10 cm Tiefe (gelbe Linie) beginnen etwa zur gleichen Zeit deutlich zu steigen, zu der auch die Solaranlage in Betrieb geht. Der Anstieg ist aber nicht so schnell und nicht so hoch wie in 30 cm Tiefe.



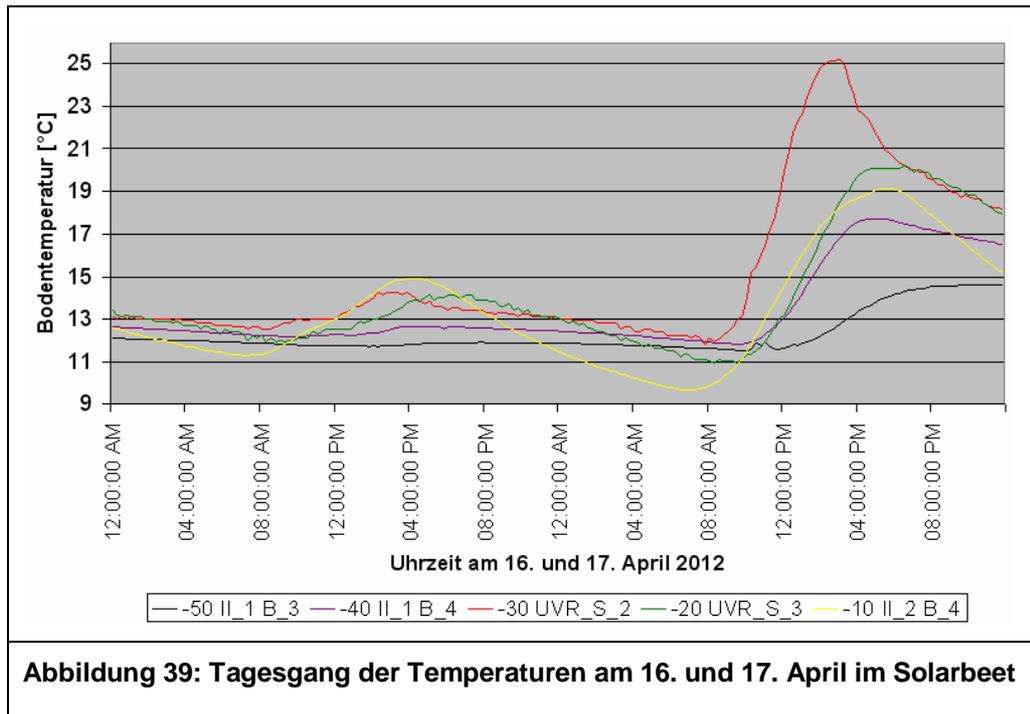
Die Temperatur in 40 cm Tiefe (violette Linie) beginnt zur selben Zeit zu steigen, wie die Temperatur in 20 cm Tiefe, erreicht aber nicht so ein hohes Niveau und kühlt tagsüber auch früher wieder ab, da in dieser Tiefe die Globalstrahlung schwächer wirkt. In den Nachtstunden ist es aber deutlich wärmer als in 20 cm Tiefe, es kommt

also die Speicherwirkung in dieser tieferen Bodenschicht zur Geltung.

In 50 cm Tiefe (schwarze Linie) kommt die Wärme erst in den Mittagsstunden an, sodass die Tiefsttemperatur ca. um 11:00 Uhr auftritt und die Höchsttemperatur ca. um 19:00 Uhr. Während der Nachtstunden ist es hier oft deutlich wärmer als in den obersten Bodenschichten. Der Speichereffekt wirkt auch hier.

Detailbetrachtung 15.04.2012 bis 17.04.2012: Anheben auf höheres Temperaturniveau

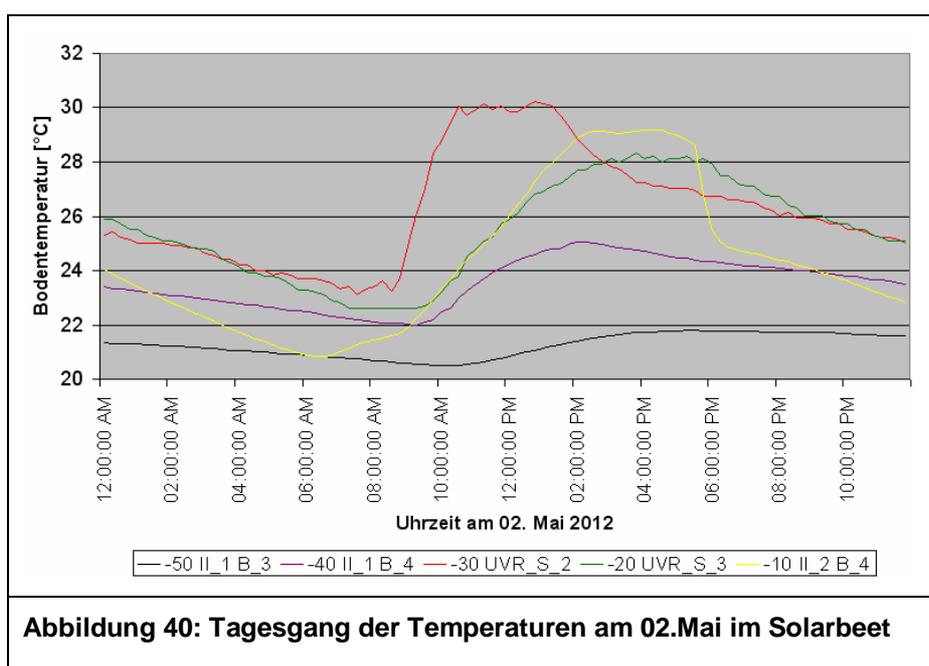
An sonnigen Tagen wäre es auch schon im März möglich gewesen, die höhere Zieltemperatur von 27°C in 20 cm Tiefe zu erreichen. An dem Tag, als die Beete auf die höhere Solltemperatur in 20 cm Tiefe gebracht werden sollten, war die Globalstrahlung schwach. Abbildung 39 zeigt, dass sich die Temperaturen in allen Tiefen am 16.04.2012 um 8:00 Uhr innerhalb einer Spanne von nur 2°C bewegen. Zu bemerken ist, dass es in 10 cm Tiefe am kältesten ist. Die unteren Schichten profitieren noch etwas von der Speicherwirkung des Bodens. Bei Sonnenstrahlung steigen wieder zuerst die Temperaturen in 30 cm und 10 cm Tiefe an, danach die Temperaturen in den übrigen Tiefen. Auch in den folgenden Tagen reichte die Leistung der Solaranlage nicht aus, das neue Temperaturniveau zu erreichen. Erst ab Ende April 2012 stabilisierten sich die Temperaturen an sonnigen Tagen im Bereich des neuen Temperaturniveaus (Beispielhaft dargestellt in Abbildung 40 mit den für das Solarbeet typischen Schwankungen).



Detailbetrachtung Ende April / Mai 2012, Solltemperatur 27°C / 30°C

Die zeitlich unterschiedlich auftretenden Wendepunkte der Temperaturkurven in 40 und 50 cm Tiefe werden durch die verzögerte Weitergabe der Wärme von der Solarheizung verursacht. Diese Schichten werden daher mehr von der Heizung beeinflusst als von der direkten Globalstrahlung.

In Abbildung 40 zeigt sich jetzt deutlich, dass am Nachmittag die direkt auf die Bodenober-

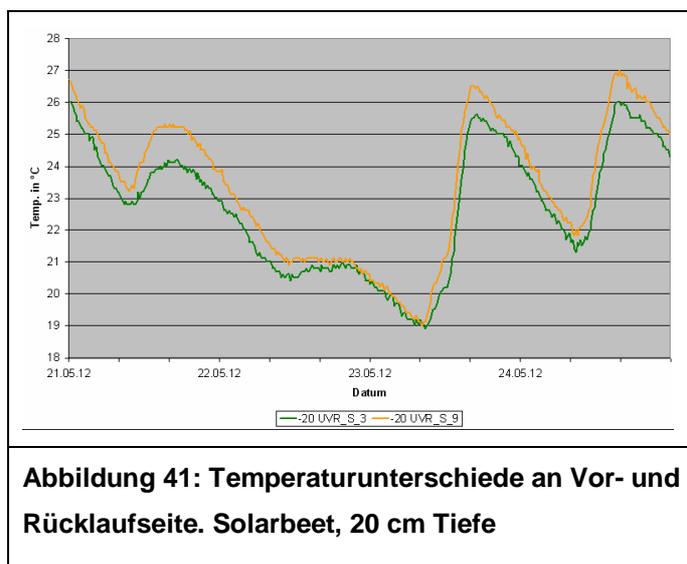


fläche wirkende Globalstrahlung die Beheizung der Schicht in 20 cm Tiefe übernimmt, da in 10 cm Tiefe ab 14.00 Uhr höhere Temperaturen herrschen, als in den darunter liegenden Schichten. Die Solarheizung stellt bereits ab 13:00 die Umwälzung ein, da um diese Tageszeit

die Solltemperatur 27°C in 20 cm Tiefe beträgt. Von diesem Zeitpunkt an, erfolgt die Wärmezufuhr in 20 cm Tiefe sowohl von oben als auch von unten. Ab 15:00 sinken die Temperaturen der beheizten Tiefe unter die der Zielschicht ab und die Wärmezufuhr erfolgt nur mehr von oben. Nach Sonnenuntergang fällt die Temperatur in 10 cm Tiefe schnell wieder unter das Niveau in 20 cm Tiefe, wo ab hier wieder der Einfluss der darunter liegenden Bodenschichten für eine verlangsamte Abkühlung sorgt.

3.2.2.2 Temperaturgradient im Solarbeet

Bei der elektrischen Heizung hat das Heizmedium auf der gesamten Länge die selbe Temperatur. Der Wärmeträger der solarthermischen Heizung kühlt beim Durchfluss durch die im Beet verlegten Rohrleitungen ab. Sensor „UVR_S_9“ (orange Linie) befindet sich in der linken Beethälfte (Vorlaufseite), während Sensor „UVR_S_3“ (grüne Linie) in der rechten Beethälfte (Rücklaufseite) in ca. 1 m Abstand positioniert ist. Besonders in Phasen starker



Beheizung entsteht so bei paralleler Verlegung der Heizungsrohre zwangsläufig ein Temperaturgradient im Beet, der stark von der Differenz zwischen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur abhängig ist. Abbildung 41 zeigt, dass nach einer längeren Abkühlungsphase beide Beethälften am 23.05.2012 eine ähnliche Temperatur aufweisen, während in den Heizphasen Temperaturunterschiede von mehr als 1°C auftreten.

3.2.3 Temperaturprofile Außenbereich

Die Datenlogger für 20 cm (grüne Linie) und 50 cm Tiefen (schwarze Linie) zeichnen im Zeitraum von 19.04.2012 bis 01.05.2012 keine Daten auf. Man kann aber davon ausgehen, dass die Temperatur in 50 cm Tiefe in der langen Erwärmungsphase wie in den anderen Erwärmungsphasen auch, am unteren Rand mit der gelben Linie stetig ansteigt. Da der Außenbereich nur von der Globalstrahlung erwärmt wird, liegen die Temperaturen in allen Bodenschichten unter denen der beheizten Beete. Die Daten in Abbildung 42 enthalten keine außergewöhnlichen Charakteristika und wurden nur für Vergleichszwecke erhoben.

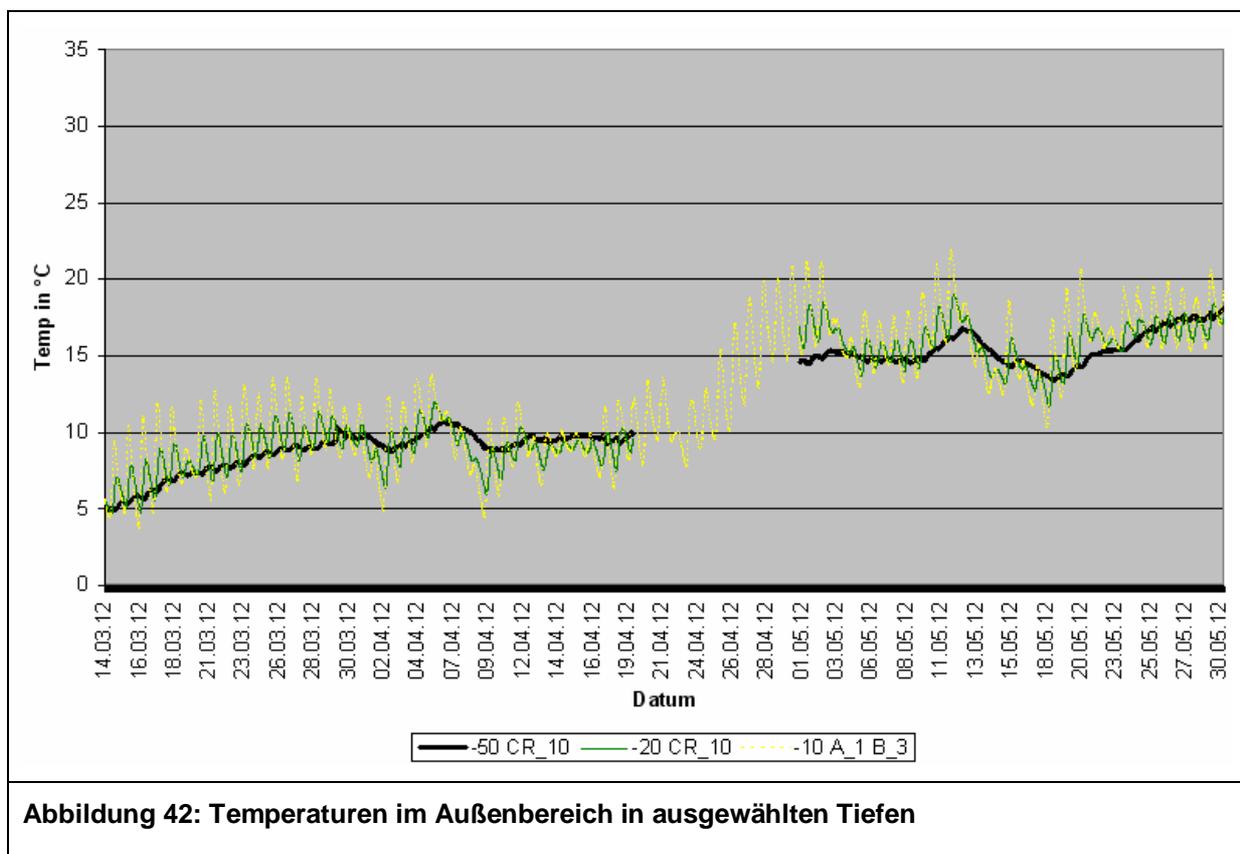


Abbildung 42: Temperaturen im Außenbereich in ausgewählten Tiefen

3.3 Bodentemperatursummen

In beiden beheizten Beeten sind die Bodentemperaturen in 30 cm Tiefe höher als in 20 cm Tiefe, da der aktive Wärmeeintrag in dieser Tiefe erfolgt. Für den Pflanzenertrag ist die Temperatursumme in 20 cm Tiefe relevant. Dort liegen die Temperatursummen im Vergleich zum Außenbeet im Solarbeet um 69,5% und im Elektrobeet um 84% höher. Das

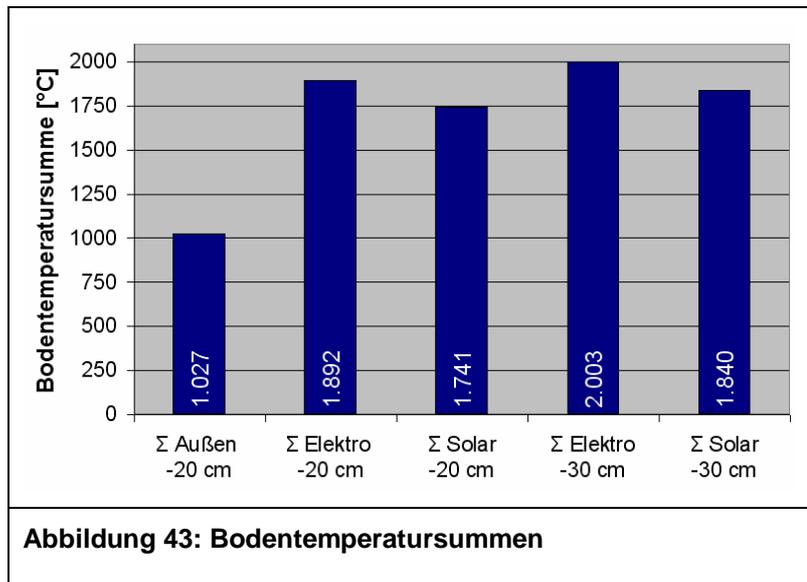


Abbildung 43: Bodentemperatursummen

Elektrobeet hat sich in 20 cm Tiefe mit einer Temperatursumme von 1.892°C um 8,7% stärker erwärmt als das Solarbeet. In 30 cm Tiefe liegt die Temperatursumme des Elektrobeets mit 2.003°C um 8,9% höher als im Solarbeet. Die im Diagramm in Abbildung 43 zusammengefassten Daten entwickelten sich im Zeitverlauf, der in Abbildung 44 dargestellt ist.

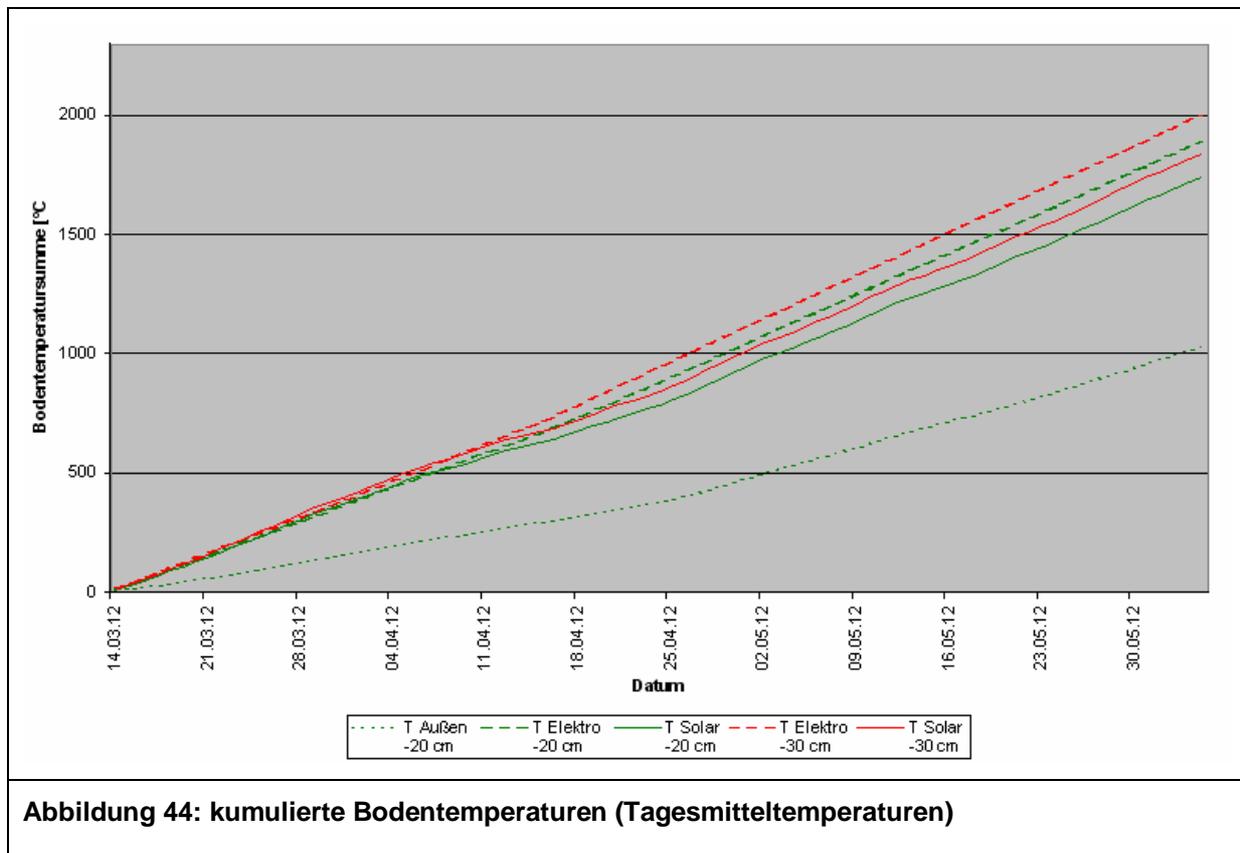


Abbildung 44: kumulierte Bodentemperaturen (Tagesmitteltemperaturen)

In 10 cm Tiefe liegen die Daten lediglich für den Zeitraum von Versuchsbeginn bis zum 29.05.2012 vor und sind damit nicht in der Grafik angeführt. Sie betragen im Elektrobeet 1609°C und im Solarbeet 1512°C. Das entspricht einer Abweichung von 6,0%.

3.3.1 Zeitliche Entwicklung der Bodentemperatursummen

Die jeweiligen Versuchsmonate zeigten sehr unterschiedliche Verläufe:

März:

Abbildung 45 zeigt die Entwicklung der Bodentemperatursummen und die Globalstrahlung. Gleich von Beginn an erkennt man, dass die Bodentemperatursumme beider Beete in 30 cm Tiefe über der in 20 cm Tiefe liegt. Ab 23.03.2012 steigt die Bodentemperatursumme des Solarbeets in 30 cm Tiefe (rote Linie) sogar über die des Elektrobeets hinaus. Ab 26.03.2012 übertrifft auch die Bodentemperatursumme in 20 cm Tiefe (grüne Linie) die des Elektrobeets. Da der Boden im Solarbeet höher als die Solltemperatur von 20°C aufgeheizt wird, um Energie für die Nacht zu speichern, wird durch die fast täglich im ausreichenden Maß zur Verfügung stehende Globalstrahlung der Boden im Solarbeet in dieser Zeit stärker erhitzt als im Elektrobeet.

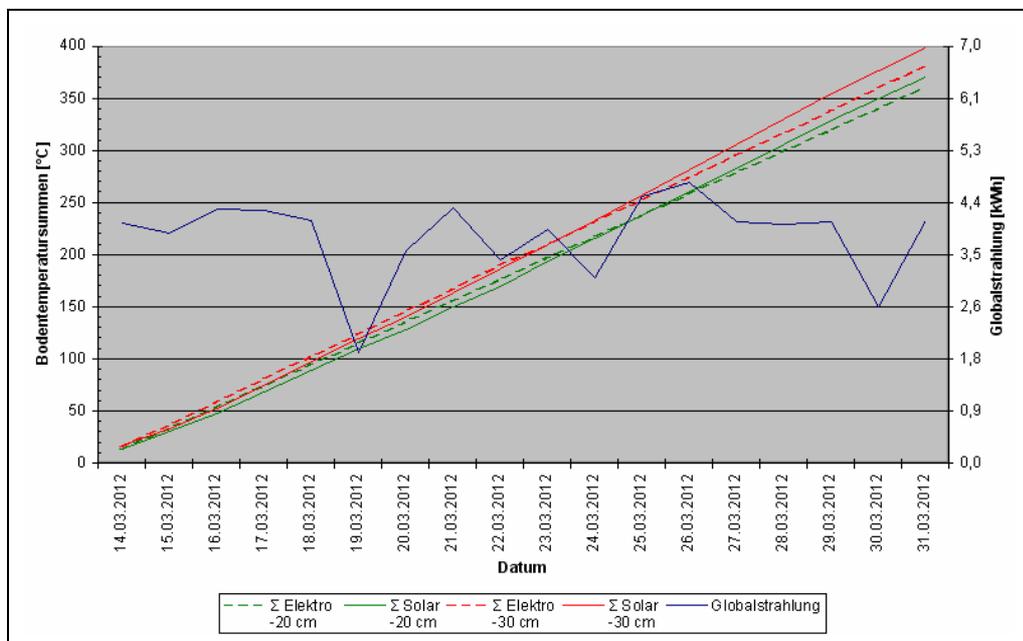


Abbildung 45: Bodentemperatursumme und Globalstrahlung März

April:

Anfang April hält die Entwicklung wie im März einige Tage an. Erst eine 3-tägige Phase mit geringer Globalstrahlung (blaue Linie) ab 06.04.2012 kehrt die Verhältnisse wieder um. Ab 08.04.2012 liegen die Bodentemperatursummen in 20 cm Tiefe (grüne Striche) im Elektrobeet wieder über denen im Solarbeet, während sie in 30 cm Tiefe (rote Striche) erst am 09.04.2012 über denen im Solarbeet liegen. Vom 12.04.2012 bis 17.04.2012 verstärkt sich der Trend, dass das Solarbeet weniger Energiezufuhr erhält als das Elektrobeet, aus zwei Gründen. Erstens fehlt ausreichend Globalstrahlung und zweitens wurde am 15.04.2012 die Solltemperatur von 20°C auf 25°C in 20 cm Tiefe erhöht. Die Elektroheizung bringt ab diesem Zeitpunkt noch mehr Energie in den Boden ein, während die Solaranlage wegen der fehlenden Globalstrahlung nicht entsprechend heizen kann. Erst gegen Ende April, wo die Globalstrahlung wieder ansteigt, pendeln sich die Energieeinträge ins Solarbeet wieder auf ein ähnliches Niveau ein wie im Elektrobeet. Diese Entwicklung ist in Abbildung 46 gut an den fast parallel verlaufenden Linien von Elektro- und Solarbeet in beiden Tiefen erkennbar.

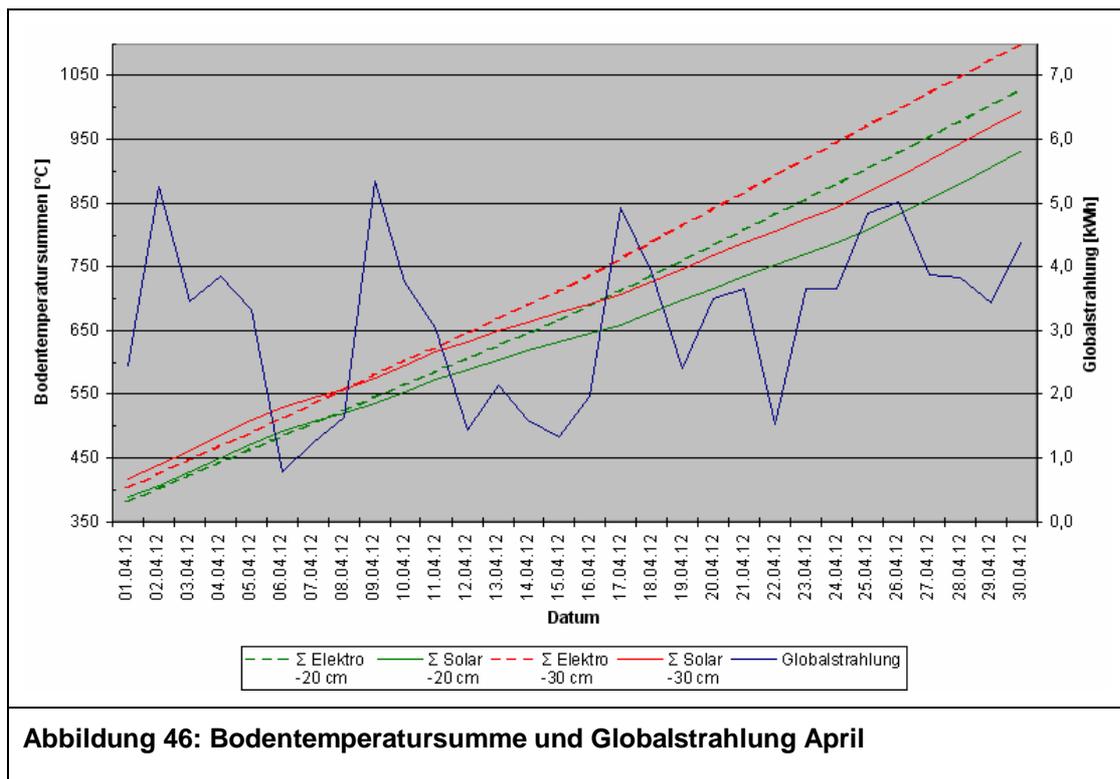


Abbildung 46: Bodentemperatursumme und Globalstrahlung April

Mai

Die fehlenden Energieeinträge im April können auch im Mai nicht mehr aufgeholt werden. Im Gegensatz zum März, wo die Solarheizung mit der Elektroheizung mithalten konnte, sind die maximalen Globalstrahlungswerte im Mai zwar höher, allerdings gibt es auch mehr Tage mit geringerer Globalstrahlung als im März. Die Bodentemperaturprofile verlaufen bis auf die Phasen geringer Globalstrahlung weiter fast parallel. An Tagen mit geringer Globalstrahlung flachen sich die Steigungen der Linien des Solarbeets jedes Mal etwas ab, um dann bei ausreichender Globalstrahlung wieder fast parallel zu denen im Elektrobeet zu verlaufen. Abbildung 47 endet am 31.05.2012. Bis zur Ernte am 04.06.2012 steigerten sich die Bodentemperatursummen noch etwas, am Verhältnis zwischen Elektrobeet und Solarbeet änderte das aber nichts mehr.

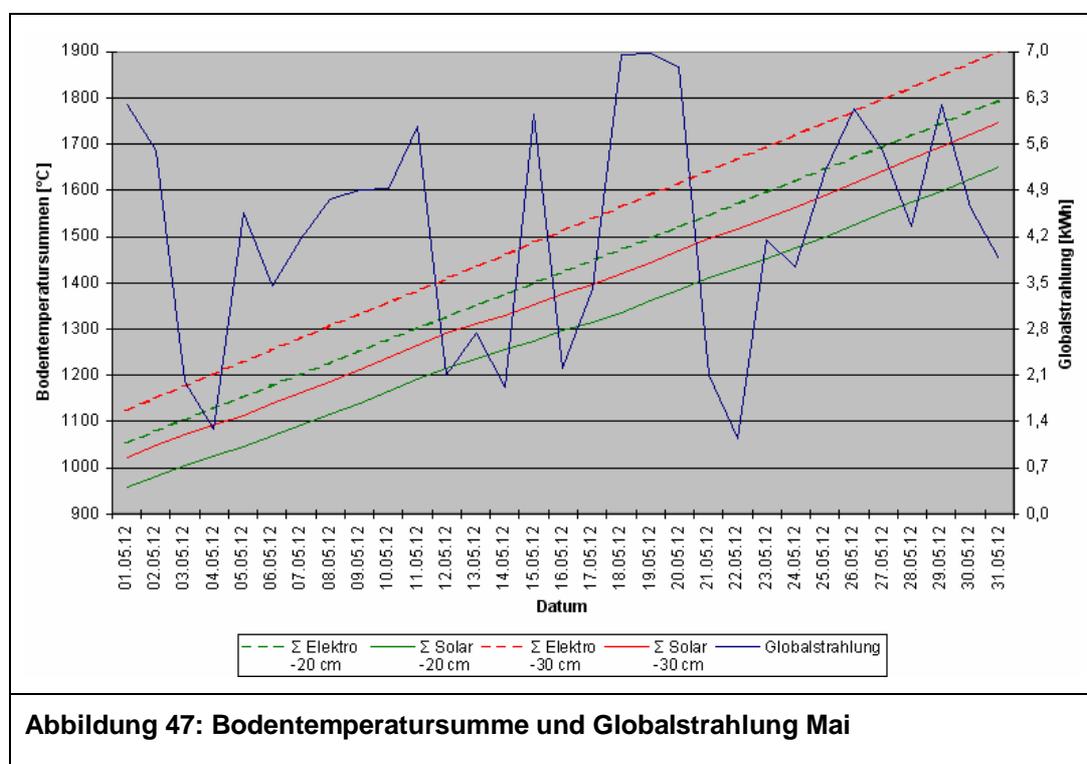
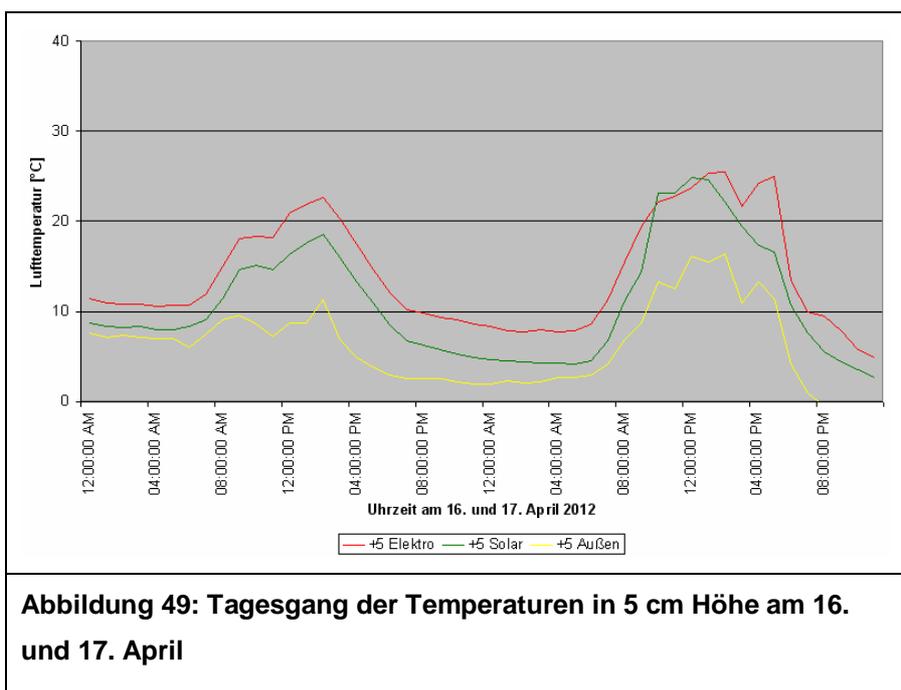
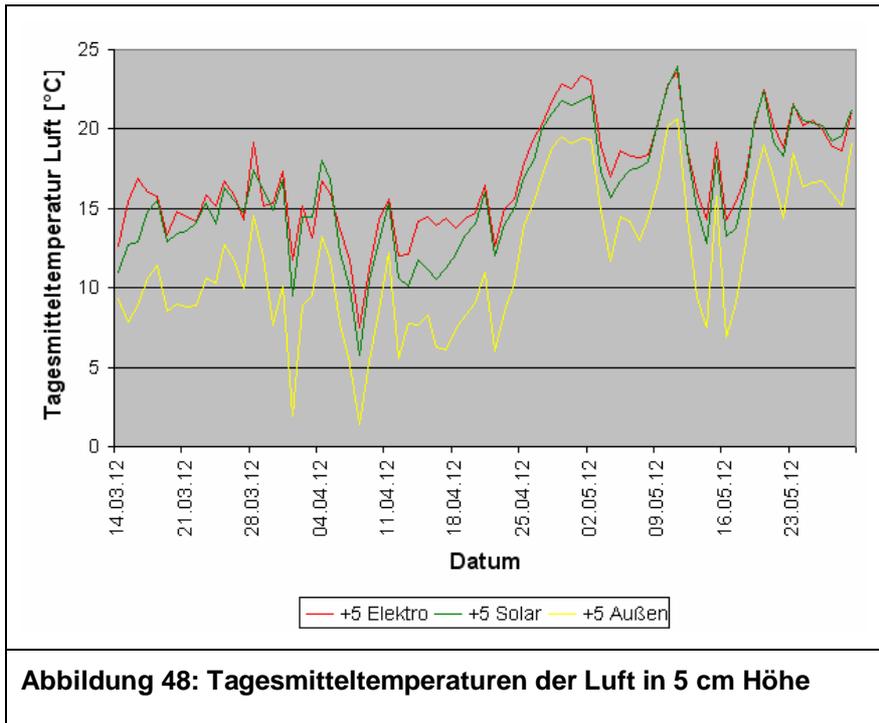


Abbildung 47: Bodentemperatursumme und Globalstrahlung Mai

3.4 Lufttemperaturprofile

In Abbildung 48 sind die Tagesmitteltemperaturen der Luft in 5 cm Höhe während der Versuchsdauer dargestellt. Die Temperaturen in den beiden Versuchsbeeten liegen immer über den Werten des Außenbereichs. Bis auf einige Ausnahmen liegen auch die Temperaturen im Elektrobeet über denen im Solarbeet. Erst gegen Ende des Versuchs gleichen sich die Temperaturen in Elektro- und Solarbeet während der Tagesstunden an, in der Nacht ist es im Solarbeet nach wie vor meistens kälter.



Während der Aufheizphase auf 25°C in 20 cm Tiefe ist der Einfluss der Bodenheizung auf die Lufttemperaturen im Glashaus in Abbildung 49 deutlich erkennbar. Am 16. April lagen die Temperaturen im Elektrobeet während der Nacht und während des Tages um bis zu 4°C über denen im Solarbeet, die sich in den frühen Morgenstunden fast auf Außentemperaturen abkühlen. Am 17. April war die Aufheizphase im Elektrobeet abgeschlossen und die Mittagstemperaturen beider Beete glichen sich wieder an.

In Abbildung 50 erkennt man, dass im Mai während des Tages die Lufttemperaturen im Außenbereich ähnlich hoch sind wie die innerhalb der Glashäuser. Lediglich in den Nachtstunden sinken die Außentemperaturen weiter ab. Durch die höheren Bodentemperaturen kommt es also zu einer Wärmeabgabe, die durch die Glashäuser zur Erhöhung der Lufttemperaturen im Glashaus führt.

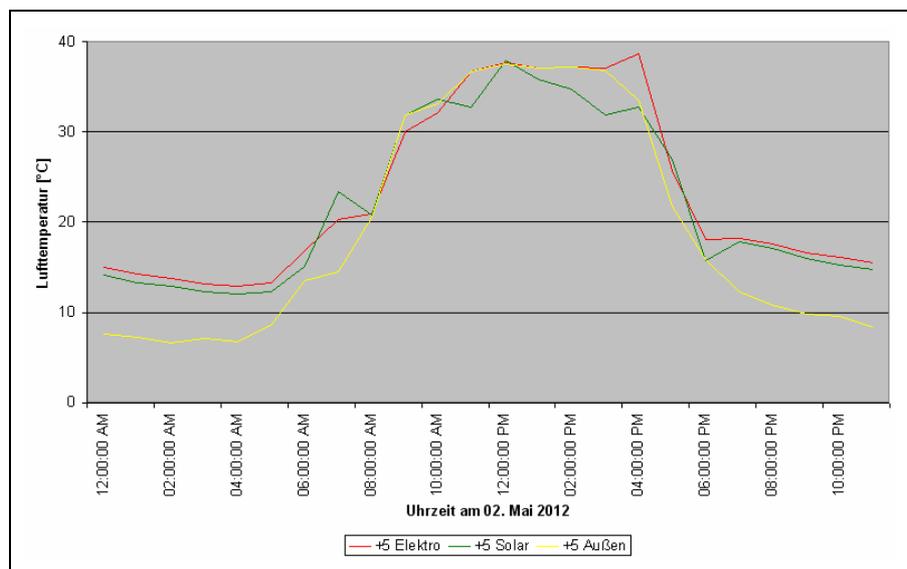


Abbildung 50: Tagesgang der Temperaturen in 5 cm Höhe am 02. Mai

3.5 Lufttemperatursummen

Die individuellen Lufttemperaturprofile zeichnen sich auch in den Lufttemperatursummen in Abbildung 51 ab. Im Kapitel Prinzip der Beurteilung anhand von Temperatursummen wurde die Lufttemperatursumme zur Beurteilung von Pflanzenbeständen beschrieben.

Höhere Tagesspitzen und die Wärmeabstrahlung des Bodens während der Nachtstunden führen zu den jeweils größeren Temperatursummen 5 cm über dem Boden. Bei Sonnenschein heizt sich die Bodenoberfläche stärker auf als die Luft und gibt Wärmestrahlung ab. In der Nacht kühlt die Luft im Glashaus schneller ab als der Boden und es kommt ebenfalls zu einer Wärmeabstrahlung, die je Messort unterschiedlich stark ausfällt. Die Temperatursumme in +5 cm ist im Elektrobeet um 6,6%, im Solarbeet um 3,1% und im Außenbereich um 4,9% höher als in +30 cm. Um die Mittagszeit liegen die Temperaturen im Außenbereich in +5 cm deutlich höher als in +30 cm, während sie in den Nachtstunden teilweise sogar leicht darunter liegen. Im Elektro- und Solarbeet liegen die Temperaturen in +5 cm fast die gesamte

Zeit über denen in +30 cm, im Solarbeet entsprechend weniger.

Vergleicht man die Temperaturen in 5 cm Höhe fällt auf, dass die Lufttemperatursumme im Elektrobeet um 4,6% höher als im Solarbeet ist. Besonders an kalten oder sonnenarmen Tagen können im Glashaus höhere Temperaturen erzielt werden, wie zum

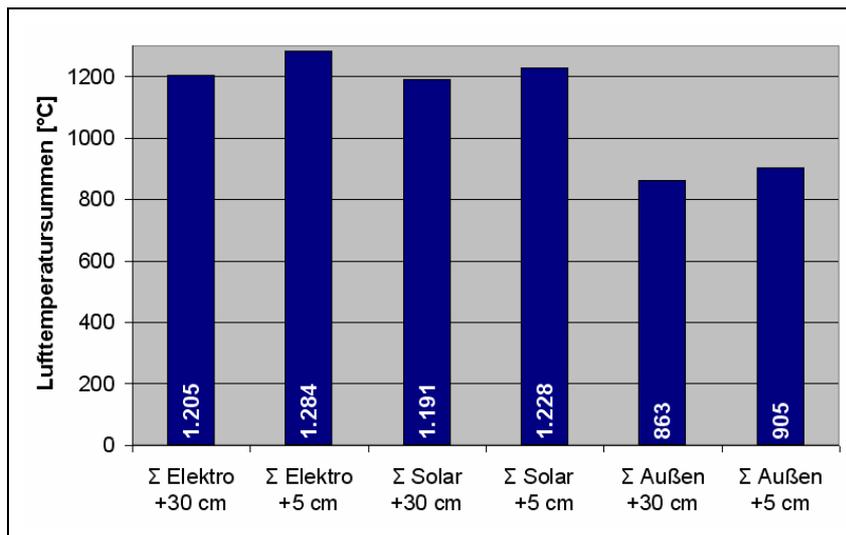


Abbildung 51: Lufttemperatursummen

Beispiel am 16. April in Abbildung 49. Daher sind auch die Lufttemperatursummen im Elektrobeet +41,9% und im Solarbeet +35,7% höher als im Außenbereich. Der Vergleich der Lufttemperatursummen in 30 cm Höhe zeigt, dass diese Lufttemperatursumme im Elektrobeet nur um 1,2% höher ist, als im Solarbeet. Im Vergleich zum Außenbereich liegen sie im Elektrobeet um 39,6% und im Solarbeet 38% höher.

3.6 Biomasseertrag



Abbildung 52: Aufwuchs mit Elektroheizung



Abbildung 53: Aufwuchs mit Solarheizung

Aussagen über den erzielten Ertrag werden nachstehend aus unterschiedlichen Blickwinkeln getroffen. Es erfolgen Auswertungen mittels optischen Eindrucks, Zählung der Individuen, Messung des Frischgewichts und Messung des Trockengewichts.

3.6.1 Optischer Eindruck:

Beim visuellen Vergleich der beiden Beete in Abbildung 52 und 53 fällt sofort auf, dass im solar beheizten Beet deutlich mehr Ausfälle zu verzeichnen sind. Im Raster ist gut zu erkennen, dass einige Pflanzstellen leer sind bzw. einige Pflanzen sehr klein geblieben sind. Allerdings sind einige Pflanzen am West- bzw. Südrand durchwegs so üppig gewachsen, wie die generell stark entwickelten Pflanzen im elektrisch beheizten Beet. Darüber hinaus weisen die klein gebliebenen Pflanzen im Solarbeet Fraßschäden an Wurzelansätzen und Blättern auf, wie in Abbildung 54 und 55 zu erkennen ist. Die Totalausfälle sind großteils am Wurzelansatz abgeknickt.



Abbildung 54: Fraßschäden an Wurzelansätzen



Abbildung 55: Fraßschäden an Blättern

Das elektrisch beheizte Beet macht einen üppigeren optischen Eindruck. Man sieht sofort, dass es weniger Ausfälle gibt und sich die Pflanzen besser entwickelt haben. Auch zwischen den Pflanzen am Rand und in der Mitte des Beets ist kein Unterschied erkennbar. Die Pflanzen weisen weder an den Blättern noch an den Wurzelansätzen Fraßschäden auf.

Wurzellänge:

Einige Pflanzen wurden sorgfältig ausgegraben, um die Länge der Wurzeln zu bestimmen. Die längsten Wurzeln der gut entwickelten Pflanzen reichen durchwegs tiefer als 20 cm, der Grossteil der Wurzelmasse befindet sich aber in geringeren Tiefen als 20 cm.

3.6.2 Zählung der Individuen:

Das Ergebnis der Zählung in Tabelle 11 bestätigt den optischen Eindruck, dass es im Solarbeet zu mehr Totalausfällen kam. In Hälfte 1 und 2 in beiden Beeten wurden jeweils 48 Pflanzen gesetzt. Im Elektrobeet konnten in Hälfte 1 44 und in Hälfte 2 45 Pflanzen geerntet werden, während es im Solarbeet in Hälfte 1 nur 41 und in Hälfte 2 sogar nur 34 Pflanzen waren.

Tabelle 11: Individuenzahlen der geernteten Pflanzen

Norden															
Beet 1: Elektrobeet								Beet 2: Solarbeet							
2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	0	2	1	0
2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
1	1	2	0	1	2	2	1	1	2	2	0	1	0	0	0
2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Hälfte 1								Hälfte 2							
Süden															

3.6.3 Frisch- und Trockengewicht:

Vergleicht man die Daten aus Tabelle 12 fällt auf, dass der Gesamtertrag an Trockenmasse im Elektrobeet um 85% höher liegt als im Solarbeet.

Tabelle 12: Frisch- und Trockengewicht der geernteten Pflanzen

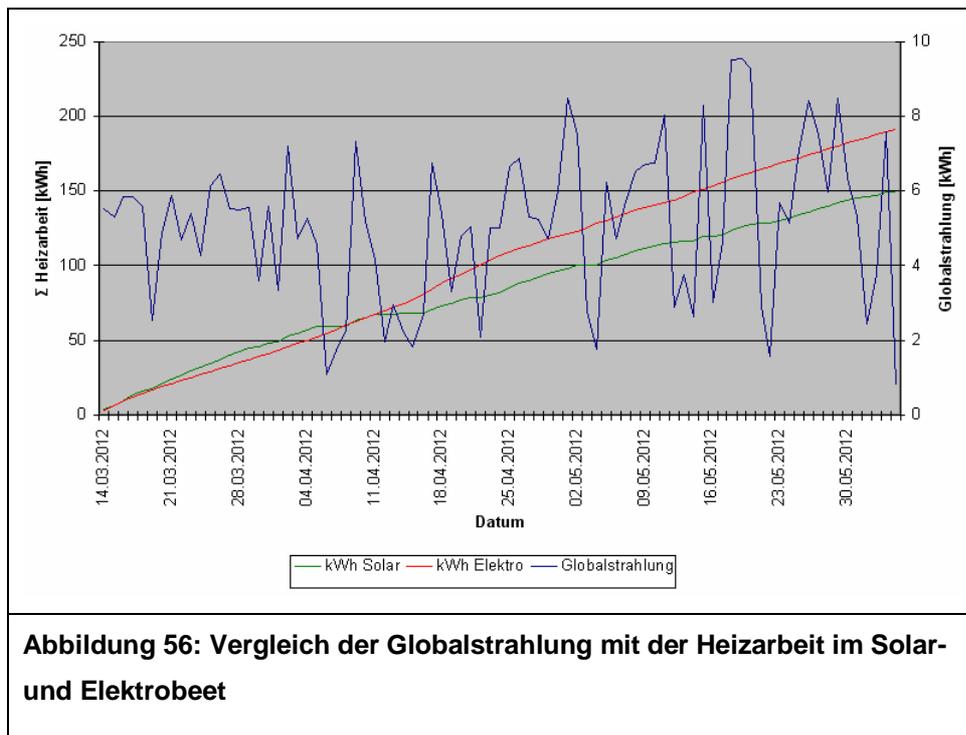
Gewicht in g	Elektrobeet			Solarbeet		
	1	2	Ges.	1	2	Ges.
Anzahl geerntet	44	45	89	41	34	75
Anzahl ausgepflanzt	48	48	96	48	48	96
Anteil Ausfälle	8,3%	6,3%	7,3%	14,6%	29,2%	21,9%
Frischgewicht Σ	321,00	415,00	736,00	280,00	114,00	394,00
Frischgewicht \emptyset	7,30	9,22	8,27	6,83	3,35	5,25
Trockengewicht Σ	31,20	42,10	73,30	27,40	12,20	39,60
Trockengewicht \emptyset	0,71	0,94	0,82	0,67	0,36	0,53
Trockenmassenanteil	9,72%	10,14%	9,96%	9,79%	10,70%	10,05%

3.6.4 Nährstoffversorgung:

Um eine unterschiedliche Nährstoffversorgung der Pflanzen in den beiden Beeten auszuschließen, wurden Bodenproben zur Analyse gezogen. Die Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede in den beiden Beeten, die einen unterschiedlichen Ertrag auf Grund der Nährstoffversorgung verursachen hätten können. (siehe Anhang). Beide Beete weisen zwar durchwegs unterschiedliche Parameter auf, diese liegen aber in einem Bereich, dass sie als Ursache für Ertragsunterschiede ausgeschlossen werden können. (Dersch, 2013)

3.7 Energie

Im folgenden Kapitel werden die energetischen Ergebnisse der Elektro- und der Solarheizung beschrieben. Für die Solarheizung wird zusätzlich dargestellt, wie der Boden als Speicher wirkte, wie die Solarregelung wirkte und welche Ergebnisse die PID-Regelung und die Mischerregelung erzielten.



In Abbildung 56 sind die Heizarbeiten der beiden Anlagen dargestellt. Ähnlich den Temperatursummen liegt die Summe der Heizarbeit der Solaranlage zu Beginn des Versuchs über der der Elektroheizung und bleibt ab Mitte April hinter der

Abbildung 56: Vergleich der Globalstrahlung mit der Heizarbeit im Solar- und Elektrobeet

Heizarbeit der Elektroheizung zurück. Gemeinsam mit der Globalstrahlung (blaue Linie) betrachtet erkennt man gut die Stagnation der grünen Linie der Solarheizung an Tagen mit geringer Strahlung.

Die Elektroheizung transferierte während der Versuchsdauer 191 kWh, die Solaranlage transferierte insgesamt 149 kWh in den Boden. Summiert man die Werte der Globalstrahlung in Abbildung 56, ergibt das eine Summe von 422 kWh Globalstrahlung, die auf der 1,37 m² großen Kollektorfläche eintrafen. Über die gesamte Versuchsdauer gemittelt konnten somit 35,3% der auftreffenden Globalstrahlung durch die Solarheizung genutzt werden. Weitere Details zum Wirkungsgrad der Solaranlage sind im Kapitel Wirkungsgrad der Solaranlage beschrieben.

3.7.1 Speicherverhalten des Bodens bei Solarheizung

Das Speicherverhalten wird von der Wärmekapazität des Bodens und der Wärmeleitfähigkeit beeinflusst. Temperaturunterschiede werden im Boden nur langsam weitergegeben. Bei

Wärmeeinwirkung wird diese erst allmählich an die angrenzenden Bodenschichten weitergeleitet. Abbildung 57 zeigt in der linken Grafik eine Vergrößerung des Zeitraums von 8:00 bis 9:00 Uhr. Die Umwälzung beginnt um ca. 8:06 Uhr, da zu dieser Zeit die Kollektortemperatur über die Referenztemperatur ansteigt. Zunächst fällt die Vorlauftemperatur (Sens 5, schwarze Linie) etwas ab, während die Rücklauftemperatur (Sens 6, rosa Linie) leicht ansteigt. Die Temperatur, die den Beginn der Umwälzung auslöst, ist die Kollektortemperatur (Sens 1, rote Linie). Der Kollektor ist auf Grund seiner thermischen Eigenschaften schneller aufgeheizt als die isolierten Rohrleitungen, die sich noch auf dem Temperaturniveau der kalten Nacht befinden. Der umgewälzte Wärmeträger muss also zunächst die Rohrleitungen erwärmen, bis er für einen wärmeren Heizungsvorlauf sorgen kann. Zu Beginn der Umwälzung wird das Beet also für einen kurzen Moment in geringem Ausmaß abgekühlt. Deswegen steigt auch die Temperatur des Heizungsrücklaufs gleich nach Beginn der Umwälzung an, da der Boden (Sens 2, dunkelgrüne Linie) wärmer ist, als die Rohrleitungen. Erst danach steigt die Temperatur des Vorlaufs über die des Bodens an und der Speicher - Bodentemperatur in 30 cm Tiefe (Sens 2, dunkelgrüne Linie) – wird „geladen“. Erst wenn der Speicher ein höheres Temperaturniveau erreicht und die Wärme nach oben geleitet wird, erwärmt sich auch der Boden in 20 cm Tiefe (Sens 3, blaue Linie bzw. Sens 9 hellgrüne Linie).

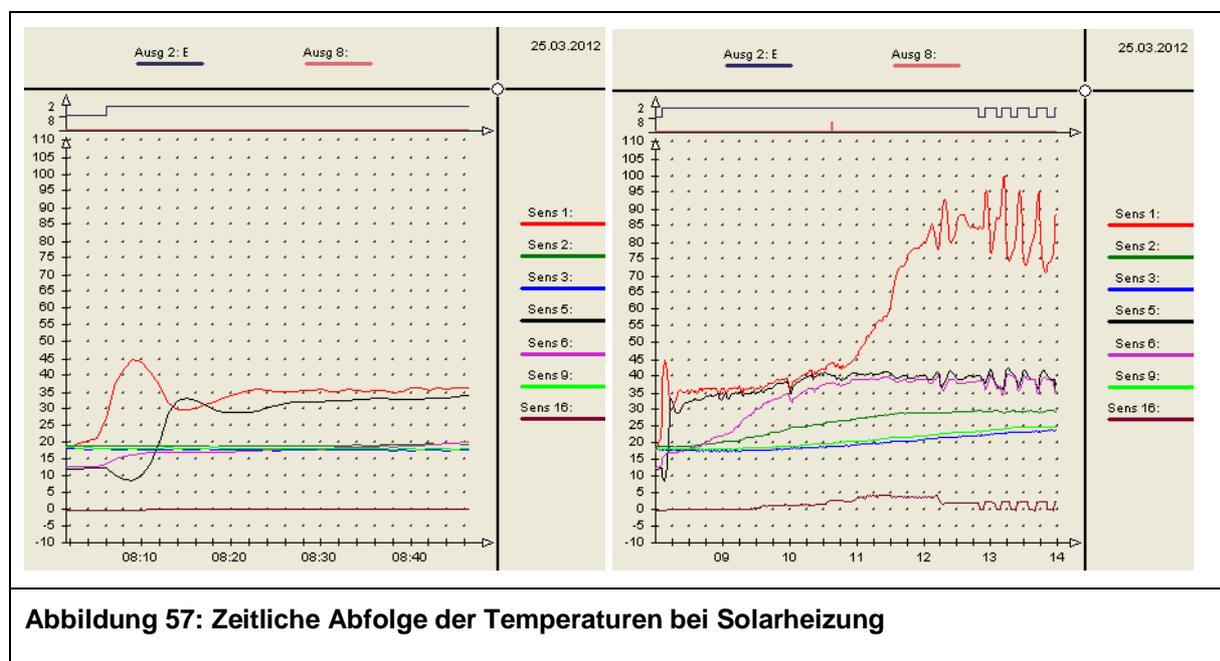


Abbildung 57: Zeitliche Abfolge der Temperaturen bei Solarheizung

Tag-Nacht-Verhalten

An sonnigen Tagen, im ersten Versuchsabschnitt (33 Tage) vor der Erhöhung des Temperaturniveaus am 16.04.2012, verhielten sich die Temperaturen ähnlich wie in Abbildung 38 exemplarisch dargestellt. Unter diesen Umständen speichert der Boden also genug Wärme

während des Tages, um in den Nachstunden nicht zu lange unter 20°C in 20 cm Tiefe abzukühlen. An 13 von 33 Tagen funktionierte der Speicher also sehr gut. An weiteren 12 Tagen verliefen die Temperaturen cirka 5°C unter den Niveaus in Abbildung 38 und an 7 Tagen cirka 10°C darunter. Diese 7 Tage traten in Schlechtwetterperioden auf. Für den zweiten Versuchsabschnitt (43 Tage) bis 30.05.2012 wurde wie in Abbildung 40 exemplarisch dargestellt der 02.05.2012 gewählt. An 22 Tagen fiel die Temperatur während der Auskühlungsphasen nicht unter 20°C mit Tagesspitzen über 25°C. An 17 Tagen blieb die Temperatur auch nach Auskühlungsphasen oberhalb von 15°C. Lediglich an 4 Tagen, sank die Tiefsttemperatur im Versuchsbeet kurzfristig unter 15°C.

Schlechtwetterverhalten

Der Zeitraum von 05.04.2012 bis 09.04.2012 steht exemplarisch für die Darstellung des Schlechtwetterverhaltens. In Abbildung 58 erkennt man das Speicherverhalten, das aus-

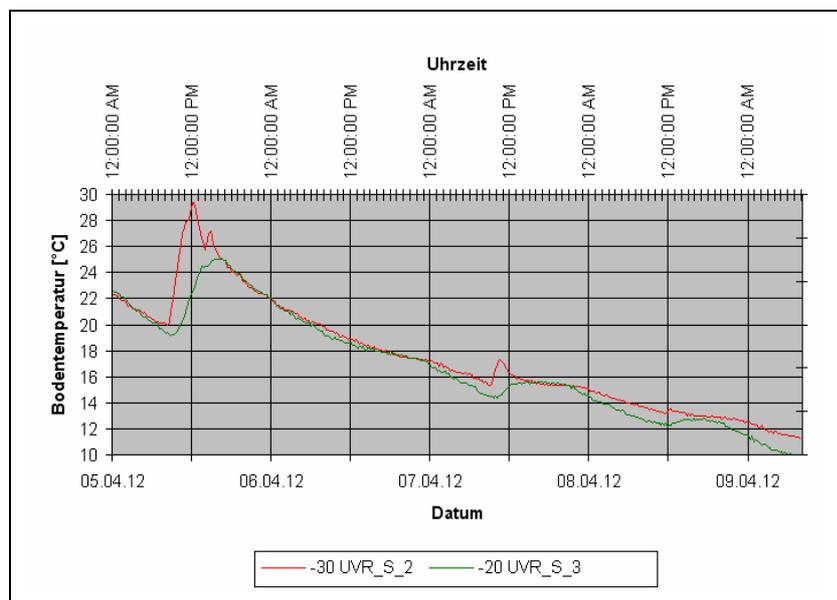


Abbildung 58: Speicherverhalten des Bodens bei Solarheizung

reicht, die auf 25°C erwärmte Bodenschicht in 20 cm Tiefe bis zum Vormittag des übernächsten Tages über 15°C zu halten. In Abbildung 48 ist die zu dieser Zeit herrschende Tagesmitteltemperatur der Luft in 5 cm Höhe in den Glashäusern und im Außenbereich dargestellt. Kommt es dann zu keinen nennenswerten Strahlungsmengen, sinkt die Temperatur bis auf 10°C

weiter ab. Während des Tages verlangsamt sich der Rückgang deutlich, auch wenn die Solaranlage keine Wärmegewinne bringt. Die in Abbildung 42 dargestellten Temperaturen im Außenbereich in 20 cm Tiefe liegen während des gesamten Zeitraums unter 10°C und sinken bis zum 09.04.2012 auf ca. 6°C. Der Speicher reicht also für 2 Nächte und 1 Tag ohne Wärmeeintrag aus, die Temperaturen über 15°C zu halten. Nach insgesamt 4 Nächten und 3 Tagen ist noch immer genug Wärme im Speicher um die Temperaturen zumindest über 10°C zu halten.

3.7.2 Wirkungsgrad der Solaranlage

Für die Beurteilung des Wirkungsgrads ist auch der Energieverbrauch der Pumpe relevant. In diesem Kapitel erfolgt eine Darstellung, welche Wirkungsgrade mit der Solaranlage möglich waren.

Energieverbrauch Pumpe:

Eine Anlage im Zwangsumlauf benötigt Energie für die Pumparbeit. Wie im Kapitel Messung des Stromverbrauchs der Solarpumpe beschreiben, ist der Energieverbrauch während der Versuchsdauer von der Dauer und von der Intensität des Pumpvorgangs abhängig und kann mit Hilfe der aufgezeichneten Daten berechnet werden. Während der Versuchsdauer war die Differenztemperatur zwischen Referenztemperatur im Boden und Kollektortemperatur sehr gering eingestellt, um praktische Daten über die unteren Temperaturgrenzen einer ökonomischen Energieübertragungsmenge zwischen Wärmeträger und beheiztem Medium zu erhalten. Insgesamt wurden 15,28kWh während der Versuchsdauer verbraucht. Für einen ökonomischen Betrieb der Anlage, muss eine geeignete Differenztemperatur gewählt werden. Bei der Analyse der Pumpenarbeit im Kapitel Optimierung der Pumpenarbeit werden Zeiten identifiziert, in denen die Pumpe nicht fördern sollte, da keine nennenswerten Energiemengen transferiert wurden, bzw. die Pumpe mehr Energie verbraucht, als durch die Solaranlage in den Boden gefördert wird.

Anlagenwirkungsgrad der Solarheizung

In Abbildung 59 ist die Energieausbeute im Vergleich zur eingestrahlten Globalstrahlung dargestellt. Daraus lassen sich die Wirkungsgrade an den einzelnen Tagen ableiten. Abbildung 60 zeigt, dass die Anlagenwirkungsgrade (grüne Punkte) während der Versuchsdauer auch bei hoher Globalstrahlung (blaue Linie) abnehmen. Zu Beginn kann die von der Solaranlage gesammelte Energie zur Gänze in den Boden transferiert werden, während später auf Grund der Regulierung der Vorlauftemperatur und durch das zeitweilige Erreichen der Solltemperaturen Energie ungenutzt bleibt. Diese Ereignisse reduzieren den an diesen Tagen erzielten Wirkungsgrad. In Abbildung 60 sind die Aktivitäten des Mischers (rote Dreiecke) ebenfalls eingetragen, um die jeweiligen Wirkungsgrade besser beurteilen zu können. Ist das rote Dreieck am oberen Rand des Diagramms, war der Mischer zumindest einmal an diesem Tag aktiv.

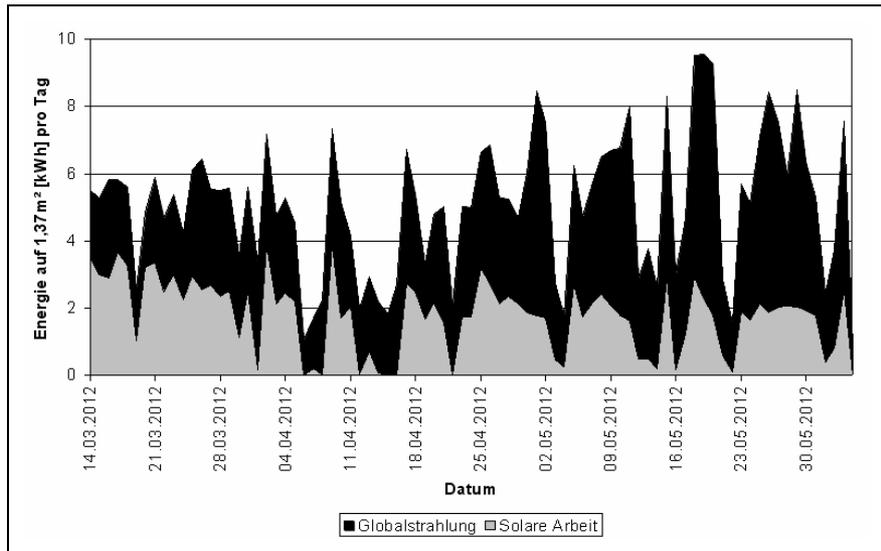


Abbildung 59: Energieausbeute der Solaranlage

Der maximale thermische Wirkungsgrad, der während der gesamten Versuchsdauer errechnet wurde, war am 20.03.2012, zu Beginn der Versuchsperiode, als der Boden noch kühl war und viel Heizbedarf herrschte. An diesem Tag konnten 66,2% der ankommenden Globalstrahlung (4,86 kW/h) in den Boden transferiert

werden (3,22 kW/h). Unter Berücksichtigung einer Pumparbeit von 0,3kW/h reduziert sich der Anlagenwirkungsgrad auf 60,1%.

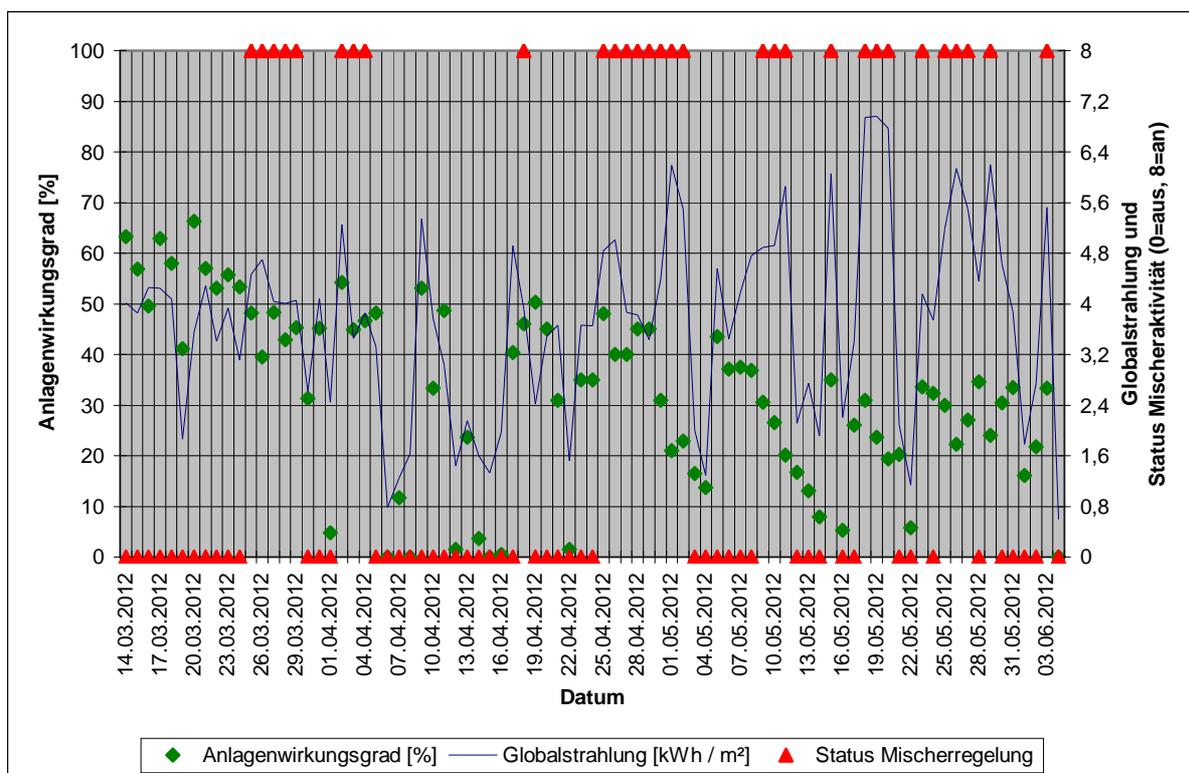


Abbildung 60: Anlagenwirkungsgrad der Solaranlage und Status der Mischerregelung

3.7.3 Wirkung der PID-Regelung und der Mischerregelung

Für die spätere Beurteilung, wie viel Regelbedarf besteht und mit welchen Methoden dieser umgesetzt werden kann, um die Beheizung in einem pflanzenverträglichen Rahmen zu führen, werden in diesem Kapitel die Wirkung der PID Regelung und des Mischers beschrieben. Abbildung 57 zeigt am Beispiel des 25. März 2012 typische Verläufe für Tage mit hoher Globalstrahlung. Die Erhöhung der Drehzahl (Sens 16, weinrote Linie) reicht zunächst aus, die Vorlauftemperatur zu begrenzen. Die Kollektortemperatur und die Vorlauftemperatur steigen mehr oder weniger parallel an. Erst gegen 10:30 Uhr entkoppelt sich die Kollektortemperatur von der Vorlauftemperatur und steigt stärker an. Der Mischer (Ausg 8, cremefarbene Linie) mischt ab diesem Zeitpunkt kühleren Heizungsrücklauf bei und reduziert so die Wärmemenge die aus dem Kollektorkreislauf entnommen wird. In der Grafik stimmt der Zeitpunkt des Beginns der Mischung nicht mit dem Ausschlag des Ausgangs 8 überein, weil das Aufzeichnungsintervall des Dataloggings nicht auf die zeitliche Veränderung der Stellgröße des Mischers abgestimmt werden kann. Erst nachdem die Mischung schon begonnen hat, fiel einmal eine Mischerverstellung mit der minütlichen Aufzeichnungsperiode zusammen und ein Wert wurde registriert.

In Zeiten der Mischung – Abbildung 60 zeigt, an welchen Tagen Mischerbedarf herrschte – erhöht sich die Durchflussmenge weiter bei gleich bleibender Pumpleistung, je nachdem wie viel Wärmeträger noch dem Kollektor entnommen wird. Der Wärmeträger zirkuliert dann hauptsächlich in den Rohren im Boden und nicht mehr durch den Kollektor, was einen geringeren Strömungswiderstand zu Folge hat. Dadurch werden unnötig hohe Durchflussmengen im Heizpaneel zirkuliert, die Spitze lag am 25.03.2012 bei 476 Liter pro Stunde. „Sens16, weinrote Linie“ wird in Abbildung 57 ebenfalls auf der Temperaturskala dargestellt, die Werte sind daher mit 100 zu multiplizieren.

4 Schlussfolgerungen

Nachstehend werden anhand der Beurteilung der pflanzlichen und energetischen Erträge die Ergebnisse zusammengefasst. Es werden Anregungen gegeben, wie eine solare Frühbeetheizung praktisch umsetzbar wäre. Der Versuch wurde bisher noch nicht wiederholt, er stellt also eine Momentaufnahme dar.

4.1 Ertragsbeurteilungen anhand der gesammelten Ergebnisse

Der Ertrag an Pflanzenmasse des Elektrobeets lag um 85% über dem des Solarbeets. Dieses Kapitel geht den Gründen für diesen Unterschied nach.

4.1.1 Witterung und Temperatur

Das Ergebnis wurde stark von der Witterung während der Versuchsperiode geprägt. Wie im Kapitel Witterungsverlauf beschrieben, beträgt die Sonnenstundendifferenz im März 2012/2013 bis zu 100 Stunden. Im März 2013 schien die Sonne also um ca. 40% weniger als im März 2012. Die Temperaturen lagen daher viel höher. Da die Luft in den Glashäusern nicht beheizt wurde, lag damit ein begrenzender Wachstumsfaktor während der Versuchsdauer deutlich höher als im Durchschnitt und beeinflusste den Ertrag positiv. Auch die Bodentemperaturen im Außenbereich waren ebenfalls durch die überdurchschnittlichen Globalstrahlungsmengen höher. Diese Tatsachen sind aber keine Gründe für die unterschiedlichen Erträge der beiden Beete, sie wirkten sich positiv auf den Ertrag beider Beete aus. Wie man an der Sonnenstundendifferenz erkennt, würden die Ergebnisse des Versuchs je nach Witterung im Versuchsjahr unterschiedlich ausfallen. Die gesammelten Ergebnisse sind eine Momentaufnahme aus dem Frühjahr 2012.

Interpretation der Temperaturprofile

Lauch benötigt für das Wachstum Temperaturen über 5°C. Das Temperaturprofil in Abbildung 37 zeigt, dass die Temperaturen während der gesamten Versuchsperiode sogar oberhalb von 10°C lagen. Sie befanden sich damit immer in Bereichen in denen ein Wachstum der Lauchpflanzen möglich war. Im Gegensatz dazu fielen die Temperaturen im Außenbereich auf weniger als 5°C und erreichten nur zu Tagesspitzen mehr als 10°C. In Abbildung 42 erkennt man, dass die Temperaturniveaus erst Ende April höhere Niveaus erreichen. Rückschlüsse auf den Einfluss der Temperaturschwankungen im Solarbeet auf den Biomasseer-

trag können auch anhand der Ergebnisse im Kapitel Speicherverhalten des Bodens bei Solarheizung gezogen werden. Die Schwankungen des Tag-Nacht-Verhaltens zeigen, dass größtenteils Verhältnisse gehalten wurden, in denen – vorausgesetzt ein anderer Wachstumsfaktor ist nicht der Begrenzende – gutes Wachstum möglich wäre. Auch die Schlechtwetterphasen zogen keine derartigen Temperaturstürze nach sich, welche die hohen Ausfälle im Solarbeet begründen würden.

Interpretation der Temperatursummen

Die Bodentemperatursummen im Elektrobeet liegen in 30 cm Tiefe um 8,9%, in 20 cm Tiefe um 8,7% und in 10 cm Tiefe um 6,0% höher als im Solarbeet. Die Lufttemperatursummen sind in beiden beheizten Beeten im Vergleich zum Außenbereich annähernd gleich. In 30 cm Höhe liegen sie im Elektrobeet um 1,2% höher als im Solarbeet, in 5 cm Höhe um 4,6%.

Schlussfolgerungen bezüglich der Temperaturen:

Bezogen auf die Temperaturansprüche von Lauch, befanden sich die Temperaturprofile ständig in Bereichen, in denen eine Entwicklung bei Lauch möglich gewesen wäre. Temperaturschwankungen können das Pflanzenwachstum beeinflussen, aber nicht so stark wie die Ertragsabweichungen. Somit können auch die geringen Temperatursummenabweichungen nicht Ursache für einen um 85% höheren Ertrag im Elektrobeet sein.

4.1.2 Auswirkung der Schädlinge

Viele Anzeichen deuten darauf hin, dass die Bodentemperaturschwankungen des Solarbeets nicht der einzige Grund für den geringeren Ertrag war. Temperaturschwankungen im Boden treten auch im Mai auf, wo auch schon im Außenbereich Gemüseanbau ohne Heizung betrieben werden kann, auf. Die Lufttemperaturen, die ebenfalls in Abbildung 61 dargestellt werden, weichen nur sehr gering zwischen Elektro-, Solarbeet und Außenbereich ab.

Die Temperatursummen in Abbildung 43 weichen geringer von einander ab, als die Erträge. Wie im Kapitel Bodentemperatursummen beschrieben, hat sich das Elektrobeet in 20 cm Tiefe mit einer Temperatursumme von 1.892°C um 8,7% stärker erwärmt als das Solarbeet mit 1.741°C. Dem gegenüber steht ein Ertragsunterschied, wie im Kapitel Frisch- und Trockengewicht erwähnt, von 85%. Auch die Auszählung der Individuen ergab, dass im Solarbeet mehr Totalausfälle zu verzeichnen waren als im Elektrobeet.

Die Bodenanalysen aus dem Kapitel Nährstoffe zeigen, dass auch unterschiedliche Nährstoffversorgungen für die Ertragsunterschiede ausgeschlossen werden können. Fraßschä-

den sind nur an den Pflanzen im Solarbeet erkennbar. Eventuell wurde der Bestand im Solarbeet durch Schädlingsfraß so stark dezimiert. Für diese Annahme spricht, dass es auch im Solarbeet einige Individuen gab, die so groß wie die Pflanzen im Elektrobeet waren. Diese Individuen befinden sich noch dazu größtenteils im Randbereich, wo die Temperaturen sogar noch niedriger waren, als am Messort.

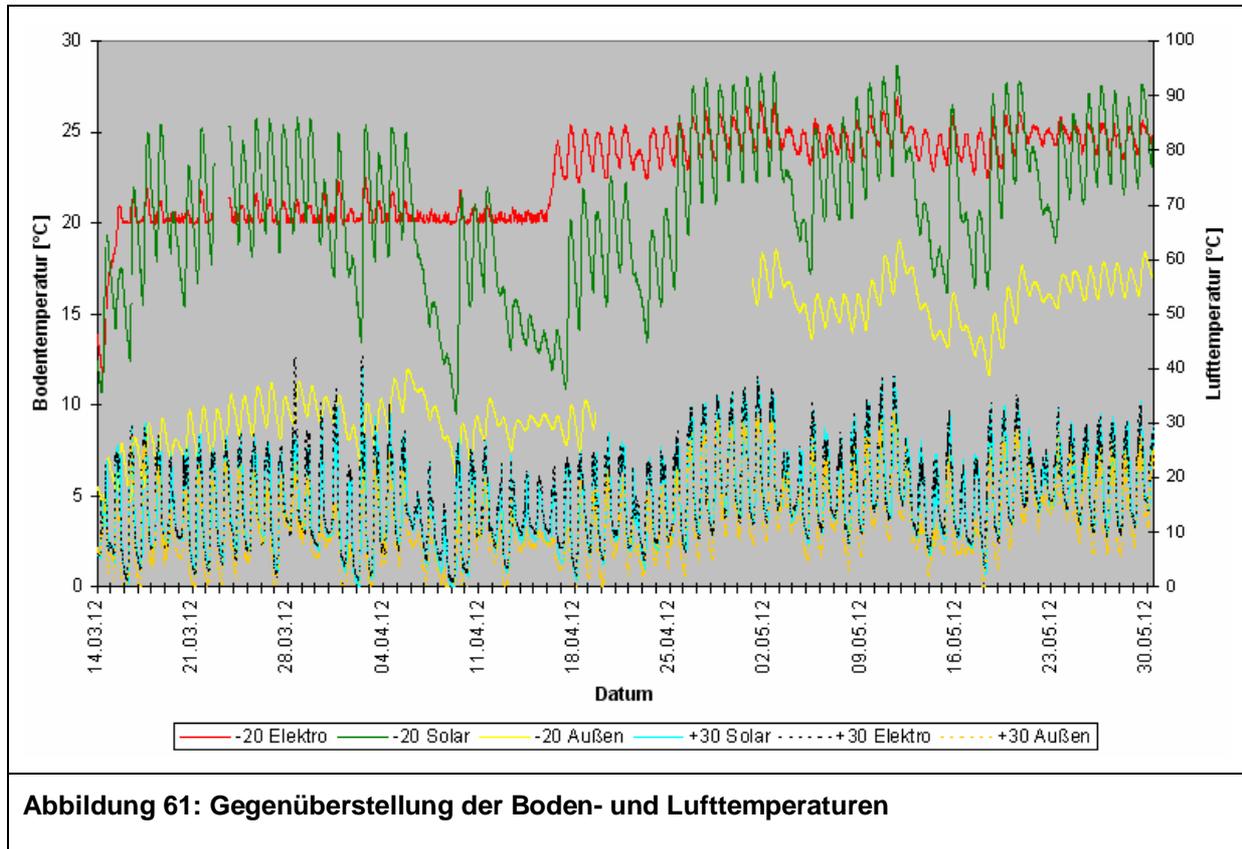


Abbildung 61: Gegenüberstellung der Boden- und Lufttemperaturen

4.2 Energetische Beurteilungen

In der ersten Versuchsphase betrug die Zieltemperatur 20°C in 20 cm Tiefe. Die Temperaturen schwankten im Solarbeet um diesen Wert, da der Boden als Speicher benutzt wurde. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Solaranlage diesen Anspruch bis auf Schlechtwetterperioden gut erfüllte. Die Elektroheizung als Referenz hielt diesen Wert fast exakt konstant.

Die in der zweiten Versuchsphase gewählte höhere Zieltemperatur von 25°C diente dazu, die Leistungsfähigkeit der Anlagen zu testen. Es wäre unter sehr hohem Energieaufwand möglich, die Temperaturen in der Zieltiefe von 20 cm im Elektrobeet auf 25°C zu halten. Sofern genügend Globalstrahlung vorhanden, ist das auch mit der Solaranlage möglich. Diese hohen Temperaturen sind für den Anwendungsfall in der Praxis zu hoch gewählt und energetisch nicht gerechtfertigt. Wie oben erwähnt, liegen andere begrenzende Wachstumsfaktoren wie niedrige Lufttemperaturen vor, sodass eine noch höhere Bodentemperatur keine positiven Effekte auf den Ertrag haben würde. Darüber hinaus steigen die Temperaturen im Solarbeet auf Grund der Speicherwirkung bei hohen Energieeinträgen in der Heizschicht auf über 30°C, was sich bereits negativ auf die Bodenfauna auswirken könnte.

Als maximale Zieltemperatur können somit 20°C angegeben werden. So kann man ausschließen, dass die Bodentemperatur der für die Pflanzen begrenzende Wachstumsfaktor im Frühbeet ist. Wie gut passten die Leistungsangaben aus der verwendeten Literatur um dieses Ziel zu erreichen?

4.2.1 Beurteilung der Literaturangaben für diesen Versuch

Im Kapitel Dimensionierung der Anlagen wurden Richtwerte für die Leistungsdaten der Anlagen festgelegt. Ziel war es, die Temperaturen stets um 10°C über den Temperaturen in der entsprechenden Bodentiefe im Außenbereich zu halten. Literaturangaben geben die nötige Leistung in Watt pro Quadratmeter und Kelvin an. Als Basis für Vergleiche dienen die angenommenen 10K Temperaturerhöhung über der durchschnittlichen Bodentemperatur.

Für die Elektroheizung war weniger Leistung nötig als vorgeschlagen, da die Temperaturen in Abbildung 61 immer 10K höher liegen als im unbeheizten Bereich. Teilt man die für die Heizung nötigen Kilowattstunden durch die Betriebsdauer in Stunden (2196 h) erhält man eine durchschnittliche Leistung von 87 Watt, was bei einer Beetfläche von 1,98m² einer Leistung von 43,9 Watt pro Quadratmeter entspricht. Unter den Versuchsbedingungen mit dem Glashaus und der seitlichen thermischen Isolierung haben also weniger Leistung (4,4 W/m²K) als die zitierten 10W/m²K ausgereicht.

Auch im Solarbeet war auf Grund der Versuchsbedingungen oft ein weit höheres Temperaturniveau möglich als 10 K über dem Außenbereich. Im Gegensatz dazu entspricht die Leistung der Solaranlage, auf die Betriebsstunden gemittelt, 34,3 Watt pro Quadratmeter und liegt mit 3,4 W/m²K etwa im Bereich der vorgeschlagenen 4 W/m²K.

Die veranschlagte Vorlauftemperatur von 30°C-35°C stellte sich als zu gering heraus, da für eine entsprechende Speicherwirkung des Bodens und damit Bodentemperaturen von bis zu 30°C in der beheizten Schicht, auch höhere Vorlauftemperaturen von bis zu 40°C erforderlich waren.

Um den Temperaturgradient zwischen Vorlauf- und Rücklaufseite gering zu halten stellten 3°C eine Maximaltemperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf dar.

Für die Speicherwirkung des Bodens stellte sich die Verlegungstiefe von 30 cm als ausreichend dar, während eine noch tiefere Verlegung bis in 50 cm Tiefe zu viel Wärme in tiefen Bodenschichten ergeben würde und zu wenig an die oberen Bodenschichten gelangen würde, wo sich die Wurzeln von Jungpflanzen in diesem Entwicklungsstadium befinden. Im Kapitel Verlegungstiefe wird dieses Thema noch genauer behandelt.

4.2.2 Tauglichkeit des Bodens als Speicher

Die Ergebnisse im Kapitel Speicherverhalten zeigen, dass die gespeicherte Wärme zwar ausreicht, um das Temperaturniveau für eine Nacht auf einem für das Pflanzenwachstum günstigen Wert zu halten. Bei aufeinander folgenden Schlechtwettertagen sinken die Temperaturen nach 2 Tagen auf Werte ähnlich denen im Außenbereich ab. Der Speicher reicht also für 2 Nächte und 1 Tag ohne Wärmeeintrag aus, die Temperaturen über 15°C zu halten

Die Temperaturschwankungen, die üblicherweise in unbeheiztem Boden auftreten, werden bei der Verwendung des Bodens als Speicher noch verstärkt. In Abbildung 61 sind die Temperaturamplituden im Solarbeet viel größer als im Außenbereich. Ab 25.03.2012 war sogar schon zu viel Sonnenenergie vorhanden, als für das Halten der vorgegebenen Regeltemperaturen nötig gewesen wäre. Die aktive Mischerregelung und das Abschalten wegen Erreichen der Solltemperatur ist in Abbildung 57 dargestellt. Der Versuch hat also gezeigt, wo der Erdboden als Speicher an seine Grenzen stößt.

Um die Solarenergie effizienter nutzen zu können, könnte ein externer Speicher verwendet werden. Welche Dimensionen müsste so ein Speicher haben?

4.2.2.1 Speichersimulation

Um die Temperatur auch mit der Solaranlage besser regeln zu können, kann ein externer Speicher verwendet werden. Die Tag- und Nachtschwankungen könnten damit in Perioden schönen Wetters größtenteils ausgeglichen werden. Langfristige Temperaturrückgänge zu Beginn von Schlechtwetterphasen könnten zumindest hinausgezögert werden.

Die Simulation geht von der elektrischen Leistung mal der Zeit aus, in der für die Aufrechterhaltung der Solltemperatur elektrisch geheizt wurde. In diesem Rhythmus der Schaltungen der Elektroheizung werden die Entnahmen aus dem Speicher energetisch veranschlagt.

Es werden zwei Phasen simuliert, am Anfang und am Ende der Versuchsperiode. Im April trat eine Wetterlage auf, in der insgesamt zu wenig Globalstrahlung vorhanden war und daher auch die Heizung unter Verwendung eines Speichers nicht möglich gewesen wäre. Durch die langen Abkühlungsphasen würde die Bodentemperatur weit unter den Sollwert sinken. Die zusätzliche Energie, die zum neuerlichen starken Aufheizen aufgebracht werden müsste, ist in diesem Modell nicht berücksichtigt. In Abbildung 37 sind diese Perioden am 7., 8. und 9. April und vom 13. bis zum 17. April an den Temperaturrückgängen gut zu erkennen. Für die Speichersimulation wurden daher die zwei Perioden am Anfang bzw. am Ende der Versuchsdauer gewählt. Die erste Periode simuliert den Zeitraum von 14.03.2012 bis zum 06.04.2012, die zweite Periode simuliert den Zeitraum von 01.05.2012 bis 31.05.2012.

Es werden 3 unterschiedliche Kollektorgrößen simuliert. Zuerst wird mit der verwendeten Fläche von 1,37m² gerechnet. Für die Beurteilung der Notwendigkeit größerer Kollektoren für eine zufrieden stellende Beheizung werden weiters 2m² (Kollektorfläche = Beetfläche) und die doppelte verwendete Kollektorfläche (2,74m²) für die Simulation verwendet. Es soll jeweils herausgefunden werden, welche Speichergröße unter den originalen Witterungsbedingungen, wie sie während der Versuchsdauer aufgezeichnet wurden, ideal gewesen wäre.

4.2.2.2 Grundeinstellungen für die Simulation

Für sämtliche Berechnungen werden Stundenmittelwerte der Datenloggerdaten verwendet. In Abbildung 62 grau hinterlegt sind die aus dem Versuch hervorgegangenen Messdaten und Erfahrungswerte, die der Simulation als Berechnungsgrundlage dienen.

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Speicherinhalt [l]	260	Temp. Speicher Start [°C]	30,000	Verlust Speicher [W/K]	1,587							
2	Kollektorfläche [m²]	2,000	Wärmekapazität [kWh/K]	0,276				Σ Globalstrahlung [kWh]	Σ Input Solar [kWh]	Σ Verluste [kWh]		Σ Output Solar [kWh]	Σ Output Elektro [kWh]
3	Wirkungsgrad	67%	Energieinhalt Start [kWh]	8,294	min. Vorlauf-temp. [°C]	25,000		184,951	76,698	25,506		52,800	55,600
4													
5	Datum	Uhrzeit	kWh Elektro	Außen-temp.	Kollektortemp.	Speichertemperatur	Globalstrlg. [kW]	Input Speicher	Verlust Speicher	Output Speicher	Energieinhalt Speicher	Elektroheizung	Solarheizung
6	14.03.2012	00:03:40	0	6,6	5,5	29,866	0,000	0,000	0,037	0,000	8,247	0	0,000
7	14.03.2012	00:58:40	0	6,8	5,3	29,733	0,000	0,000	0,037	0,000	8,211	0	0,000
8	14.03.2012	01:03:40	0	6,7	5,3	29,888	0,000	0,000	0,037	0,000	8,174	0	0,000

Abbildung 62: Screenshot der Speichersimulation

Speicherinhalt:

In Feld B1 kann ein Speicherinhalt zwischen 100 Litern und 600 Litern eingegeben werden. Der Speicherinhalt ist mit dem Feld F1 „Verlust Speicher“ verknüpft, wo aus den Oberflächendaten und der daraus resultierender Wärmeabgabe die Verluste je K Temperaturunterschied berechnet werden. Durch iterative Eingabe verschiedener Speicherinhalte wird die Berechnung so lange durchgeführt, bis ein Maximalwert für „Output Speicher“ gefunden wurde.

Kollektorfläche:

Für die Simulation werden die Flächen von 1,37m², 2m² und 2,74m² eingegeben.

Wirkungsgrad:

Im Kapitel Wirkungsgrad der Solaranlage ist beschrieben, dass bei ausreichender Einstrahlung und genügend Abnahmepotential für die Wärme Wirkungsgrade bis zu 67% möglich sind. Dieser Wirkungsgrad wurde für die Simulation herangezogen, da in der Spalte „Input Speicher“ Zeiten ausgeschieden werden, in denen der Kollektor zu kalt im Vergleich zur Speichertemperatur ist, um diesen Wirkungsgrad zu erzielen.

Temperatur Speicher Start:

Der Wert kann frei eingegeben werden. Für die Simulation wird davon ausgegangen, dass der Speicher mit einer Temperatur von 30°C geladen ist.

Wärmekapazität:

Speicherinhalt mal Wärmekapazität pro Kilogramm mal Dichte des Wärmeträgers durch 1000.

$$=B1*1,02222*1,039/1000$$

(14)

Energieinhalt Start:

Dieser Wert ergibt sich aus der eingegebenen Temperatur und des Speichervolumens.

$$=E2*E1 \quad (15)$$

Verlustleistung Speicher:

Diese errechnet sich aus der Oberfläche des Speichers und den Wärmedämmeigenschaften der Isolierung. (siehe Anhang) Für diesen Versuch wurden Standardwerte aus der einschlägigen Literatur entnommen. Eine übliche Isolierung weist einen k-Wert von $k=0,65\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ auf. Damit können die Verluste eines Speichers durch Multiplikation mit der Speicheroberfläche berechnet werden. (vgl. Ladener und Späte, 2003, S. 79)

$$=\text{Speicheroberfläche}*\text{Wärmeverlustkoeffizient} \quad (16)$$

Minimum Vorlauftemperatur:

Dieser Wert kann auch frei eingegeben werden, für die Simulation wurde jeweils der Wert verwendet, der in der jeweiligen Versuchsphase angestrebt wurde.

Energiesummen:

Die Summen der Globalstrahlung, der solaren Inputs, der Verluste, sowie die Wärmeabgabe der Solarheizung und der Elektroheizung werden durch Aufsummierung der einzelnen Stundenwerte gebildet, hier exemplarisch für die Globalstrahlung:

$$=\text{SUMME}(H6:H581)*B2 \quad (17)$$

Input Speicher:

Der Speicher wird direkt be- und entladen. Die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Speicher kann also niedrig bei 2°C angesetzt, da die gesamte im Wasser enthaltene Wärme ohne Übertragungsverluste in den Speicher gelangt.

$$\text{Zeile 1} =\text{WENN}((F6-2)>E1; H6*\$B\$3*\$B\$2;0) \quad (18)$$

$$\text{Zeile 2ff} =\text{WENN}((F7-2)>G6; H7*\$B\$3*\$B\$2;0) \quad (19)$$

Verlust Speicher:

Die Verluste errechnen sich aus der Verlustleistung des Speichers, der Temperatur des Speicherinhalts und der zum jeweiligen Berechnungszeitpunkt herrschenden Außentemperatur. Je größer die Differenz zwischen Speicher und Außentemperatur ist, desto mehr Verluste ergeben sich.

$$\text{Zeile 1} =\$G\$1/1000*(E1-E6) \quad (20)$$

$$\text{Zeile 2ff} =\$G\$1/1000*(G6-E7) \quad (21)$$

Output Speicher:

Die Vorlauftemperatur ist auf die zu erreichende Bodentemperatur abgestimmt. Ist das Ziel, 20°C im Boden zu erreichen, muss die Speichertemperatur und somit die Vorlauftemperatur mindestens 25°C betragen um ausreichend Wärme transferieren zu können. Durch Vergleich, ob die Speichertemperatur höher als die minimale Vorlauftemperatur ist, wird in der

Simulation entschieden, ob ein Output aus dem Speicher erfolgen kann.

=WENN(E1>\$G\$3; C6*0,2; 0) (22)

=WENN(G6>\$G\$3; C7*0,2; 0) (23)

Energieinhalt Speicher:

Dieser berechnet sich, in dem der Input zu dem Wert aus der Vorperiode addiert wird und Verlust und Output abgezogen werden.

=E3+I6-J6-K6 (24)

=L6+I7-J7-K7 (25)

4.2.2.3 Speichersimulationsergebnisse

Die gesammelten Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Je Phase wurde mit 3 unterschiedlichen Kollektorflächen gerechnet, die jeweils einen unterschiedlichen optimalen Speicherinhalt erfordern.

Phase 1, vom 14.03.2012 bis 06.04.2012, Vorlauf mindestens 25°C.

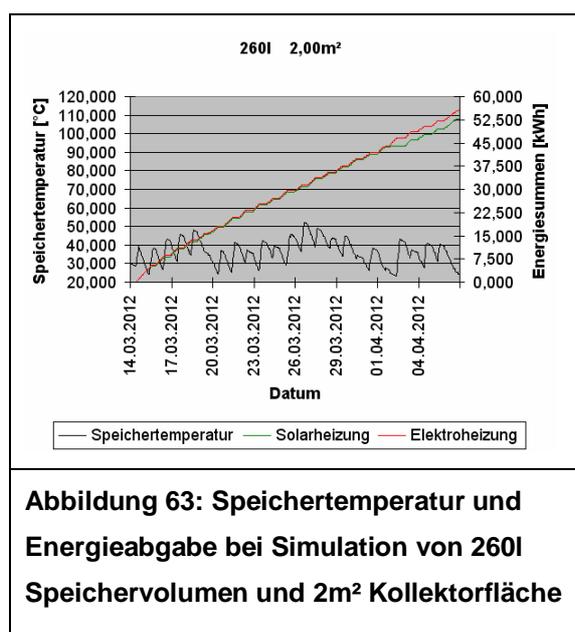
Für den Versuch standen 1,37m² Kollektorfläche zur Verfügung. Die optimale Speichergröße für den Zeitraum dieser Phase beträgt 180 Liter. In Summe würden 44,6kWh (bei Speicher-verlusten von 16,8kWh) durch die Solaranlage, das sind 80% der Energie der Elektroheizung, in den Boden befördert werden. Die Elektroheizung leitete im selben Zeitraum 55,6kWh in den Boden. Bei größeren Speichervolumen steigen die Verluste im Vergleich zur Heizleistung der Solaranlage an. Der Speicherwirkungsgrad sinkt von 74,3 % mit 1,37m² Kollektor und 180 Liter Speicherinhalt auf 53,1% bei 2,74m² und 560 Liter Speicherinhalt. Das heißt, dass fast die Hälfte der gesammelten Solarenergie als Verluste wieder an die Umgebung abgegeben werden würde. Bei kleineren Speichervolumen reduziert sich allerdings die Energiemenge, die in den Speicher gebracht werden kann. Ein zu kleiner Speicher wird bei starker Einstrahlung schnell heiß und benötigt immer höhere Vorlauftemperaturen um sich noch weiter aufzuheizen.

Die errechneten Energieeinträge in den Speicher betragen 60,1kWh im Vergleich zu 59kWh, die tatsächlich während des Betriebs bei einer Globalstrahlung von 126,7kWh in diesem Zeitraum gemessen wurden. (Aufsummieren der Heizarbeiten aus Abbildung 56 für die Phase 1 der Speichersimulation) Man kann also davon ausgehen, dass die Simulation bei Einhaltung der im Kapitel Grundeinstellung der Simulation beschriebenen Rahmenbedingungen plausible Ergebnisse liefert.

Auf Grund der geringeren aber gleichmäßigeren Wärmeeinträge würden die Temperaturen im Beet weniger Schwankungen aufweisen, allerdings auf niedrigeren Temperaturniveaus, da weniger Wärme in den Boden geleitet wurde, als ohne Verwendung eines externen Speichers. Erst bei größerer Kollektorfläche (2m²) und damit auch einem größeren Speicher (260l) hätten, wie in Abbildung 63 ersichtlich, lediglich mit einer Abweichung von 5% der zugeführten Energie, annähernd gleichwertige Ergebnisse erzielt werden können wie im Elektrobeet.

Tabelle 13: Speichersimulationsergebnisse

Phase	Minimale Vorlauftemperatur. [°C]	Speichervolumen [l]	Kollektorfläche [m ²]	Σ Globalstrahlung [kWh]	Σ Input Solar [kWh]	Σ Verluste [kWh]	Speicherwirkungsgrad	Σ Output Solar [kWh]	Solarer Deckungsgrad	Σ Output Elektro [kWh]
1	25	180	1,37	126,7	60,0	16,8	74,3 %	44,6	80,2%	55,6
1	25	260	2,00	185,0	77,0	25,5	68,6 %	52,8	95,0%	55,6
1	25	560	2,74	253,3	104,0	49,7	53,1 %	55,2	99,2%	55,6
2	30	210	1,37	197,0	69,8	22,8	67,0 %	46,8	70,7%	66,2
2	30	370	2,0	287,6	95,1	34,0	58,5 %	55,6	84,0%	66,2
2	30	440	2,74	394,1	114,1	50,6	53,6 %	61,2	92,4%	66,2



Phase 2, vom 01.05.2012 bis 31.05.2012, Vorlauf mindestens 30°C.

Die Speichersimulation in Phase 2 zeigt allerdings, dass die doppelte Kollektorfläche, als die im Versuch verwendete, mit entsprechend größerem Speicher benötigt werden würde, um eine ähnliche Energiesumme in den Boden zu leiten, wie die Elektroheizung. Grund dafür ist einerseits die in Phase 2 höher gewählte Vorlauftemperatur (30°C) die in den aufgetretenen längeren Schlechtwetterperioden nicht gehalten werden konnte. Die Energiesummen verlaufen daher von Beginn der Phase 2 an nicht parallel, sondern sind von regelmäßigen Rückschlägen geprägt. Andererseits zeigt sich auch hier, dass für die Aufrechterhaltung von 25°C in 20 cm Tiefe trotz der im Mai vorherrschenden höheren Außentemperaturen große Energiemengen nötig sind. Um diese zu erreichen, ist ein erheblicher Bauteilaufwand nötig, der zu einem hohen Investitionsaufwand führt.

Die Speichersimulation bestätigt somit ebenfalls, dass die in Phase 1 angestrebten 20°C Bodentemperatur die bessere Wahl als Zieltemperatur für eine ökonomische Beheizung eines Frühbeets sind.

4.2.3 Optimierung der Pumpleistung und der Verlegungstiefe

Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf Verbesserungspotentiale im Bereich der Pumpe und der Verlegungstiefe zu.

Optimierung der Pumpleistung:

Für eine Wärmeübertragung vom Heizpaneel an den Boden ist eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern nötig. Ist die Temperaturdifferenz allerdings sehr klein, oder die umgewälzten Wärmeträgermengen sind sehr gering, wird nur wenig Energie in den Boden befördert. Wenn die übertragene Energie kleiner ist als die Pumparbeit, die für die Umwälzung nötig ist, besteht kein Vorteil gegenüber einer elektrischen Beheizung. In diesem Versuch wurden Daten über das Ausmaß der unvorteilhaften Pumpenverwendung gesammelt. Es wurden die Zeiten ermittelt, in denen mehr Pumparbeit als solare Arbeit auftrat. Die in diesen Zeiten geleistete Pumparbeit wurde aufsummiert und von der über den gesamten Versuchszeitraum gemessenen Arbeit abgezogen. Die so korrigierten Pumparbeitswerte reduzieren sich von 15,28kWh auf 13,93kWh.

Generell war die Pumpe zu stark, da sie für Umwälzvolumen bis 4.000 Liter pro Stunde geeignet ist und im Versuchsbeet schon ca. 250 Liter pro Stunden ausreichend waren. Für den Versuch konnte keine leistungsschwächere Standard-Solarpumpe gefunden werden.

In Zeiten starker Rücklaufzumischung wäre ebenfalls weniger Pumpenleistung nötig gewesen, da hohe Durchflussniveaus und -spitzenwerte wie in Abbildung 57 ineffizient sind. Die Daten, die während der gesamten Versuchsperiode aufgezeichnet wurden, sollten über diesen Zeitraum vergleichbar sein. Daher wurde diese Einstellung an der Programmierung der Solaranlage nachträglich nicht verändert. Für weitere praktische Anwendungsfälle einer solarthermischen Frühbeetheizung kann eine schwächere Pumpe verwendet werden. Die Notwendigkeit der Drehzahlregelung an sich wird im Kapitel Anregungen für Anlagen in der praktischen Anwendung erörtert.

Optimierung der Verlegungstiefe

Wie die Ergebnisse zeigen, waren die Heizmedien zu tief verlegt, wenn der Boden nicht als Speicher genutzt werden sollte. Bei einer Heizform, die den Boden nicht als Speicher nutzt, wäre eine Verlegungstiefe von 10-15 cm besser geeignet gewesen. Erstens könnte man dadurch ein derart starkes Absinken der Temperaturen in 10 cm Tiefe (siehe Abbildungen 30 und 37) verhindern. Zweitens würde dadurch der Energiebedarf reduziert, da sich durch eine geringe Verlegungstiefe das beheizte Volumen verkleinert. Die Zieltemperatur würde dann in 10-15 cm Tiefe gemessen werden, in der sich auch die Wurzeln von Jungpflanzen befinden. Die ursprünglich gewählte größere Verlegungstiefe von 30 cm zielte auf ein für die Solarheizung großes Bodenvolumen ab, das als Speicher diente.

In 10 cm Tiefe, geschützt durch das Glashaus, sorgt die Globalstrahlung auf direktem Weg ebenso schnell für eine Erwärmung (siehe Abbildung 38), wie auf dem „Umweg“ über die Solaranlage in 30 cm Tiefe– die Erwärmung ist aber deutlich schwächer. Wenn höher verlegt werden würde, könnte der durchwurzelte Boden schneller auf eine höhere Temperatur gebracht werden.

Bei Nutzung des Bodens als Speicher könnten sowohl höhere Vorlauftemperaturen in 30 cm Tiefe verwendet werden, als auch eine höhere Solltemperatur für diese Tiefe gewählt werden. Das Wurzelwachstum während der Versuchsdauer wurde überschätzt, die Wurzeln drangen nicht bis in 30 cm Tiefe vor.

4.2.4 Anregungen für Anlagen in der praktischen Anwendung

Für die praktische Anwendung von solarthermischen Frühbeetheizungen werden nachstehend die Erkenntnisse aus dem Versuch zusammengefasst.

PID-Regelung

Ist die PID-Regelung nötig für einen pflanzenverträglichen Betrieb der Anlage? Der Grund für die Verwendung einer PID-Regelung war, die Kollektortemperatur und damit die Vorlauftemperatur auf einem pflanzenverträglichen Niveau zu halten. Außerdem sollte verhindert werden, dass durch zu hohe Vorlauftemperaturen ein stärkerer Temperaturgradient im Solarbeet herrscht. Abbildung 57 zeigt, dass der Temperaturgradient durch die Dauer der Beheizung stärker beeinflusst wird, als durch eine hohe Vorlauftemperatur bzw. eine geringe Drehzahl. Zwischen 9:00 und 10:00 Uhr beträgt der Temperaturgradient zwischen Vor- und Rücklauf stellenweise mehr als 10°C – bei geringen Durchflussmengen – während der Temperaturgradient in 20 cm Tiefe weniger als 1°C beträgt. Erst durch die fortwährende Beheizung in den nächsten Stunden steigt er langsam an. Eine Drehzahlregelung ist für die taugliche Beheizung eines Frühbeets nicht nötig.

Mischer:

Ist ein Mischer für die Regelung des Vorlaufs nötig? Die Kollektortemperaturen aus Abbildung 57 zeigen, dass wie oben angeführt zunächst die höhere Drehzahl für eine Begrenzung der Vorlauftemperatur ausreicht, allerdings nur bis ca. 10:30 Uhr. Danach und für den restlichen Tag übernimmt der Mischer die Regelung, da die Erhöhung der Drehzahl nicht mehr ausreicht. Der Mischer hat einen stärkeren Effekt da ohne Mischung Vorlauftemperaturen zu Stande kämen, die für die Bodenbiologie nachteilig wären. Der Mischer ist also nötig, da er in diesem Anwendungsfall die Aufgabe besser erfüllen kann, als eine PID-Regelung.

Freistehende Anlage für die Praxis:

Für den Versuch wurde eine Anlage gebaut, deren umfangreiche Regelungstechnik hauptsächlich für die Auswertung der Ergebnisse benötigt wurde. Für eine Anlage, die lediglich der Beheizung dient, ist weniger Technik erforderlich. Man benötigt einen motorlosen Mischer, der die Vorlauftemperatur auf ein pflanzenverträgliches Niveau begrenzt, einen Zweipunktregler, der die Umwälzung unterbricht wenn die Zieltemperatur erreicht ist und einen Regler der überprüft, ob die Kollektortemperatur über der Bodentemperatur liegt, um die Umwälzung zu starten.

Integration in eine bestehende oder geplante Solaranlage

Die in der Praxis verwendeten Anlagen für die Brauchwassererwärmung oder für die (teil)solare Raumheizung könnten für die zusätzliche Beheizung eines Frühbeets verwendet werden. Der Speicher der Hausanlage kann mitbenutzt werden und das Heizpaneel im Boden könnte wie ein Radiator der Raumheizung oder wie eine Fußbodenheizung angeschlossen

werden. Die Solarpumpe der Hausanlage könnte mitgenützt werden. Um den Durchfluss zu steuern, bietet der Fachhandel Heizungsventile an, die auf die jeweilige Heizpaneelgröße abgestimmt sind. Somit besteht kein zusätzlicher Regelaufwand für den Durchfluss. Die Vorlauftemperatur könnte – wenn nötig – mit einem motorlosen Mischer geregelt werden, der automatisch Vor- und Rücklauf mischt, falls der Heizungskreislauf im Haus zu hohe Temperaturen liefert. Wenn die Hausheizungsanlage mit Wand- oder Fußbodenheizungen arbeitet könnte der Mischer sogar entfallen, da die Vorlauftemperatur für Flächenheizungen im Haushalt ähnlich der Vorlauftemperatur im Frühbeet ist.

Die zusätzlich benötigte Kollektorfläche liegt laut den Ergebnissen und der Speichersimulation zwischen 0,5 m² und 1 m² pro Quadratmeter Beetfläche, der Speicher müsste zusätzlich 100 Liter pro m² Beetfläche fassen.

5 Literaturverzeichnis

- AustroSaat, 2009, Saatgutkatalog 2010, AustroSaat AG, Wien
- Braun, H., 2009, Vorlesung Mess- und Regeltechnik I, Teil 1 Messtechnik und Teil 2 Steuer- und Regeltechnik, BOKU, Wien
- Balas, J., 2011, Assistenzprofessor an der Universität für Bodenkultur, Abteilung Gartenbau, persönliches Gespräch am 21.10.2011, Wien
- Busch, P., 1999, Elementare Regelungstechnik: allgemein gültige Darstellung ohne höhere Mathematik, Vogel Buchverlag, Würzburg
- Campbell Scientific, 2012, Solar Radiation Sensors, verfügbar in:
<http://www.campbellsci.com/solar-radiation>, [abgerufen am 23.06.2012]
- Campbell, G., Normann, J., 1998, An Introduction to Environmental Biophysics, Springer Verlag, New York
- Dersch, G., 2013, AGES, Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, Telefonat am 27.02.2013, Wien
- Fichtenbauer, K., 2012, Geschäftsführer Technische Alternative, persönliches Gespräch am 20.02.2012, Amaliendorf
- Fritz, D., Stolz, W., 1980, Erwerbsgemüsebau, Ulmer, Stuttgart
- Fug-Verlag, 2011, Wurzeltiefen verschiedener Gemüsearten (nach Krug et al, 2002), verfügbar in: <http://www.fug-verlag.de/on1744&bildanzeige=5252>, [abgerufen am 20.12.2011]
- Grabenweger, P., 2011, Calculation of soil temperature including freezing/thawing effect of soil water, Institut für Meteorologie, BOKU, Wien
- Harreither, M., 2011, Harreither GmbH, mündliche Mitteilung, Telefonat am 15.11.2011, Wien
- Krug, H., Liebig, H-P., Stützel, H., 2002, Gemüseproduktion, Ulmer, Stuttgart
- Krug, H., 2012, emeritierter Professor am Institut für biologische Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, Telefonat am 08.02.2012, 15:30 Uhr, Wien
- Ladener, H., Späte F., 2003, Solaranlagen, ökobuch, Staufen bei Freiburg
- Mückenhausen, E., 1993, Die Bodenkunde, DLG-Verlag, Frankfurt / Main
- Müller, H., Preising, F., 1971, Unterglasgemüsebau, Paul Barey, Berlin und Hamburg
- Orlowski, P., 1999, Praktische Regeltechnik, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

- Rossmann, A., Hayden, N., Rizzo, D., 2006, Low-Temperature Soil Heating Using Renewable Energy, Journal of Environmental Engineering, Vol. 132, No. 5, Reston
- Roth, G., 2001, Regelungstechnik: Wirkungsweisen, Anwendungen und systemorientierte Grundlagen, in anschaulicher Darstellung, Hüthig, Heidelberg
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.P., 2010, Lehrbuch der Bodenkunde, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Schreiber, H., 1973, Ist die Temperatursumme eine konstante Größe?, Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien
- Schreier, S., 2010, Variabilität der Bewölkung und Auswirkungen auf die Solarstrahlung in Wien, Diplomarbeit, Universität Wien
- Tantau, H-J., 1983, Heizungsanlagen im Gartenbau, Ulmer, Stuttgart
- Technische Alternative, 2011, Handbuch UVR 1611, Eigenverlag, Amaliendorf
- Technische Alternative, TAPPS und Winsol Software, Eigenverlag, Amaliendorf
- Trauner, W., 2012, emeritierter Lektor am Institut für Erneuerbare Energie, FH Technikum Wien, persönliches Gespräch am 18.01.2012, Wien
- UBRM Curriculum, 2011, Universität für Bodenkultur, Studiengang Umwelt und Bioressourcenmanagement, Wien
- von Zabeltitz, C., 1986, Gewächshäuser, Ulmer, Stuttgart
- Weingartmann, H., 2011, A.o. Universitätsprofessor, Universität für Bodenkultur, Institut für Landtechnik, persönliches Gespräch am 07.11.2011, Wien
- Weise, K., Wöger, W., 1999, Messunsicherheit und Messdatenauswertung, Wiley-Vch Verlag, Weinheim
- Wetzel, R., 1975, Limnology, Saunders Verlag, Philadelphia
- ZAMG 1, 2012, Datenbankabfrage, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien
- ZAMG 2, 2012, Witterungsübersicht März, April, Mai 2012, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien
- Zang, H.-F., Ge, X.-S., Ye, H., Jiao, D.-S., 2006, Heat conduction and heat storage of characteristics of soils, Elsevier,

5.1 zitierte Normen

ÖNORM M7701, Solnentchnische Anlagen - Näherungsverfahren zur Bemessung von Flachkollektoren in Warmwasser-Aufbereitungsanlagen

6 Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan Versuchsstandort (bing.maps, 2013)	12
Abbildung 2: Lageplan Versuchsaufbau (bing.maps, 2013)	16
Abbildung 3: Skizze der Versuchsbeete	17
Abbildung 4: Wurzeltiefen (fug-Verlag, 2011)	17
Abbildung 5: Optimale Keimtemperatur Lauch (Austrosaat, 2010).....	20
Abbildung 6: Schaltschema aktive solarthermische Nutzung (Ladener u. Späte, 2003, S21)23	
Abbildung 7: Grundplatte mit Rahmen und Nut.....	27
Abbildung 8: eingebauter Absorber mit Isolierung und Abdeckglas	27
Abbildung 9: Schaltplan Solarheizungssystem	28
Abbildung 10: Solarheizpaneel.....	30
Abbildung 11: Schaltplan Elektroheizungssystem.....	32
Abbildung 12: Elektroheizkabel mit Tiefenreferenz	32
Abbildung 13: Kennlinie Zweipunktregler.....	34
Abbildung 14: Sprungantwort P-Regler (Busch, 1999, S. 35)	37
Abbildung 15: Sprungantwort I-Regler (Busch, 1999, S. 39).....	38
Abbildung 16: Sprungantwort D-Regler (Busch, 1999, S. 46)	39
Abbildung 17: Sprungantwort PID-Regler (Busch, 1999, S. 49).....	39
Abbildung 18: Temperatursensoren Solarheizung.....	41
Abbildung 19: Temperatursensoren Elektroheizung	41
Abbildung 20: Programme der Elektroheizung.....	43
Abbildung 21: Parameter Elektroheizungsregelung	44
Abbildung 22: Programme der Solarheizung	45
Abbildung 23: Parameter Solarregelung.....	45
Abbildung 24: Parameter PID-Regelung.....	47
Abbildung 25: Parameter Mischerregelung.....	48

Abbildung 26: Messstab Temperatursensoren.....	52
Abbildung 27: Referenzmessung außerhalb der Beete.....	52
Abbildung 28: Programm Wärmemengenmessung	57
Abbildung 29: Parameter Wärmemengenzählung	58
Abbildung 30: Temperaturen bei Elektroheizung in 50, 20 und 10 cm Tiefe	62
Abbildung 31: Vergleich der Temperaturen bei Elektroheizung in 20 cm und 30 cm Tiefe ...	63
Abbildung 32: Tagesgang der Temperatur (y-Achse) bei Elektroheizung in 20 cm (grün) und 30 cm (rot) Tiefe am 25.03.2012 im Tagesverlauf (x-Achse)	64
Abbildung 33: Anheben der Temperatur (y-Achse) bei Elektroheizung in 20 cm (grün) und 30 cm (rot) Tiefe am 16.04.2012 (x-Achse)	65
Abbildung 34: Tagesgang der Temperatur (y-Achse) bei Elektroheizung in 20 cm (grün) und 30 cm (rot) Tiefe am 17.04.2012 (x-Achse)	65
Abbildung 35: Tagesgang der Temperatur (y-Achse) bei Elektroheizung in 20 cm (grün) und 30 cm (rot) Tiefe am 02.05.2012 (x-Achse)	65
Abbildung 36: Temperaturgradient im Elektrobeet.....	66
Abbildung 37: Temperaturen bei Solarheizung in ausgewählten Tiefen.....	68
Abbildung 38: Tagesgang der Temperaturen am 25. März im Solarbeet	69
Abbildung 39: Tagesgang der Temperaturen am 16. und 17. April im Solarbeet	70
Abbildung 40: Tagesgang der Temperaturen am 02.Mai im Solarbeet	70
Abbildung 41: Temperaturunterschiede an Vor- und Rücklaufseite. Solarbeet, 20 cm Tiefe	71
Abbildung 42: Temperaturen im Außenbereich in ausgewählten Tiefen	72
Abbildung 43: Bodentemperatursummen.....	73
Abbildung 44: kumulierte Bodentemperaturen (Tagesmitteltemperaturen)	73
Abbildung 45: Bodentemperatursumme und Globalstrahlung März	74
Abbildung 46: Bodentemperatursumme und Globalstrahlung April	75
Abbildung 47: Bodentemperatursumme und Globalstrahlung Mai	76
Abbildung 48: Tagesmitteltemperaturen der Luft in 5 cm Höhe	77
Abbildung 49: Tagesgang der Temperaturen in 5 cm Höhe am 16. und 17. April	77
Abbildung 50: Tagesgang der Temperaturen in 5 cm Höhe am 02. Mai	78
Abbildung 51: Lufttemperatursummen.....	79

Abbildung 52: Aufwuchs mit Elektroheizung	80
Abbildung 53: Aufwuchs mit Solarheizung.....	80
Abbildung 54: Fraßschäden an Wurzelansätzen	81
Abbildung 55: Fraßschäden an Blättern.....	81
Abbildung 56: Vergleich der Globalstrahlung mit der Heizarbeit im Solar- und Elektrobeet .	84
Abbildung 57: Zeitliche Abfolge der Temperaturen bei Solarheizung.....	85
Abbildung 58: Speicherverhalten des Bodens bei Solarheizung.....	86
Abbildung 59: Energieausbeute der Solaranlage.....	88
Abbildung 60: Anlagenwirkungsgrad der Solaranlage und Status der Mischerregelung.....	88
Abbildung 61: Gegenüberstellung der Boden- und Lufttemperaturen	92
Abbildung 62: Screenshot der Speichersimulation.....	96
Abbildung 63: Speichertemperatur und Energieabgabe bei Simulation von 260l Speichervolumen und 2m ² Kollektorfläche.....	99

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifische Wärme der wichtigsten Bestandteile des Bodens bei 20°C (J/g).....	13
Tabelle 2: Monatsmittelwerte der Bodentemperatur in 20cm Tiefe in °C, Reichenau / Rax.	14
Tabelle 3: Mittelwerte der Lufttemperatur (2 m) 8:00 - 16:00 Uhr in °C, Reichenau / Rax....	14
Tabelle 4: Mittlere Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/m ² , horizontale Ebene, Reichenau / Rax.....	15
Tabelle 5: Kulturdaten der Versuchspflanzen	20
Tabelle 6: Leistungsaufnahme Solarpumpe.....	31
Tabelle 7: Bezeichnung der Sensoren in der Steuercomputerprogrammierung	41
Tabelle 8: Auflistung der Sensoren.....	50
Tabelle 9: Auswertung der Kalibrierungsdaten der UVR1611 Sensoren.....	51
Tabelle 10: Auswertung der Kalibrierungsdaten der HOBO Sensoren.....	51
Tabelle 11: Individuenzahlen der geernteten Pflanzen	82
Tabelle 12: Frisch- und Trockengewicht der geernteten Pflanzen.....	83
Tabelle 13: Speichersimulationsergebnisse.....	99

6.3 Datensammlung

Anhang 1: Messung des Salzgehalts.....	109
Anhang 2: Kalibrierung der Temperatursensoren	110
Anhang 3: Leistungsaufnahme der Pumpe je Stellgröße	111
Anhang 4: Analysedaten der Bodenproben	112
Anhang 5: Verlustleistung Speicher.....	114
Anhang 6: Auszug aus den Berechnungsdaten der Speichersimulation in Phase 1	114

Anhang 1: Messung des Salzgehalts

Es handelt sich dabei nur um einen ungefähren Wert, da die Skala des Messgeräts in 140 ppm Abständen springt. Liegt der Salzgehalt genau zwischen zwei Werten blinken beide LEDs. Das



für die Kalibrierung der Messsonden verwendete Wasser wies einen Salzgehalt auf, der mit ca. 280 ppm keinen für diesen Versuch relevanten Einfluss auf die Kalibrierung der Sensoren hat.

Anhang 2: Kalibrierung der Temperatursensoren

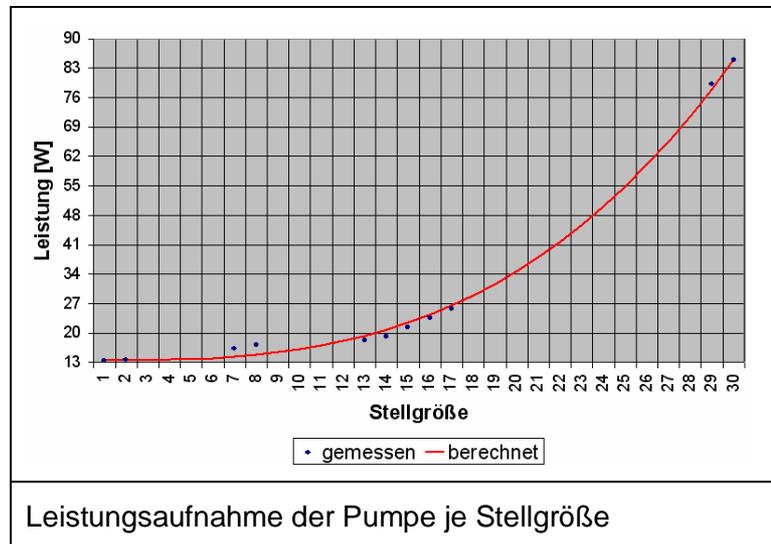
Der Kalibrierungsaufbau besteht aus zwei unterschiedlich großen Trinkgläsern, die mit entsprechenden Abstandshaltern ineinander gestellt werden können. Wie bei der Tripelpunktzelle sind die Messsonden so auch vor direktem Kontakt mit dem Eiswasser geschützt, in das die Trinkgläser mit den darin befestigten Sensoren getaucht werden. Nachdem sich die Werte mehr oder weniger eingependelt haben, wurde ein Durchschnittswert innerhalb von 10 Minuten errechnet und als Korrekturfaktor für die jeweiligen Sensoren herangezogen. Beispielhaft sind nachstehend die Werte für die Sensoren des UVR-Computers dargestellt. Mit den anderen Messgeräten wurde ebenso verfahren.

Messdaten der Kalibrierung in °C

Zeit / Sensor	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
18:18:50	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,1	-0,3	-0,6	-0,5
18:19:10	0	-0,1	-0,2	-0,6	-0,7	-0,5	-0,6	-0,1	-0,4	-0,5	-0,4
18:19:30	0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4
18:19:50	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,6	-0,6	-0,2	-0,3	-0,6	-0,4
18:20:10	0	-0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,5	-0,7	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4
18:20:30	0	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,1	-0,4	-0,6	-0,3
18:20:50	0	-0,2	-0,3	-0,6	-0,7	-0,5	-0,4	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4
18:21:10	0	-0,1	-0,2	-0,6	-0,7	-0,5	-0,5	0	-0,2	-0,6	-0,4
18:21:30	0	-0,1	-0,2	-0,7	-0,7	-0,4	-0,4	-0,1	-0,4	-0,6	-0,4
18:21:50	-0,1	-0,1	-0,2	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,1	-0,3	-0,6	-0,5
18:22:10	0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4
18:22:30	0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,5	-0,4	-0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4
18:22:50	0	-0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,4	-0,8	0	-0,4	-0,6	-0,3
18:23:10	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,7	-0,4	-0,5	-0,1	-0,4	-0,5	-0,5
18:23:30	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,4	-0,5	-0,1	-0,3	-0,6	-0,3
18:23:50	0	-0,1	-0,2	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,2	-0,2	-0,7	-0,3
18:24:10	0	-0,1	-0,1	-0,5	-0,7	-0,5	-0,5	-0,1	-0,4	-0,7	-0,4
18:24:30	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,4	-0,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4
18:24:50	0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,1	-0,4	-0,5	-0,4
18:25:10	0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,5	-0,4	-0,6	-0,1	-0,1	-0,5	-0,4
18:25:30	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,6	-0,4	-0,3	-0,1	-0,3	-0,4	-0,3
18:25:50	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	0	-0,2	-0,4	-0,2
18:26:10	0	-0,1	-0,1	-0,4	-0,6	-0,4	-0,5	0	-0,2	-0,5	-0,3
18:26:30	0	0	-0,1	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,1	-0,2	-0,5	-0,3
18:26:50	0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,5	-0,3	0	-0,2	-0,5	-0,2
Durchschnittliche Anzeige	-0,003	-0,117	-0,197	-0,517	-0,623	-0,480	-0,523	-0,090	-0,307	-0,560	-0,387
Korrekturwert für 0,01°C	-0,007	0,107	0,187	0,507	0,613	0,470	0,513	0,080	0,297	0,550	0,377

Anhang 3: Leistungsaufnahme der Pumpe je Stellgröße

Die PID-Regelung übermittelt die Stellgrößen, in dem der Steuerungscomputer die Pumpe gepulst betreibt. Die Pumpe wird sozusagen, je Stellgröße unterschiedlich, im Takt ein- und ausgeschaltet. Durch die Trägheit der Pumpe entsteht ein runder Lauf. Mit einem handelsüblichen Energiemessgerät ist die Bestimmung der exakten Leistung je Stellgröße sehr Zeit aufwendig. Die momentane Anzeige springt nämlich ständig auf und ab und zeigt keinen konstanten Wert an. Um zu einem konstanten Wert zu kommen, könnte die Pumpe je Stellgröße 1 Stunde betrieben werden und der Energieverbrauch könnte gemessen werden. Bei 30 Stellgrößen würde diese Methode mindestens 30 Stunden in Anspruch nehmen. Für den Versuch wurden daher nur einige Messwerte ermittelt und die restlichen Werte berechnet. Die Leistung einer Pumpe sollte je Stellgröße einer Funktion der dritten Potenz folgend steigen. Der geringste Wert bei Stellgröße 1 sind 13,55 Watt. Der höchste Wert bei Stellgröße 30 sind 85 Watt. Die Differenz von 74,45 Watt wird nun auf die dazwischen liegenden Stellgrößen aufteilt. Die Sprünge erfolgen proportional zur roten Kurve, die eine Funktion der dritten Potenz darstellt. Die einzelnen Werte der Stellgrößen sind in Tabelle 6 zusammengefasst.



Anhang 4: Analysedaten der Bodenproben

Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion
Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien
Leitung: Mag. Bernhard Föger



Akkreditierte Prüf- und Inspektionsstelle PSID Nr. 189
gemäß EN ISO/IEC 17025 und EN ISO/IEC 17020,
BMWA Bescheid GZl. 92714/70-IV/9/01

Martin Toner
Sonnleithnergasse 15/79
1100 Wien

Datum: 04.02.2013
Kontakt: Dipl.Ing.Dr. Georg Dersch
Tel.: +43(0)5 0555 34120
Fax: +43(0)5 0555 34101
E-Mail: georg.dersch@ages.at
Auftrag Nr.: 13003866
Dok. Nr.: D-2314171

PRÜFBERICHT Probestelle: Frühbeet S

Dieser Prüfbericht gilt nur für den/die Untersuchungsgegenstand/-gegenstände der gegenständlichen Auftragsnummer. Dieser Prüfbericht darf grundsätzlich nur im Gesamten vervielfältigt und nur mit Zustimmung der AGES weitergegeben oder veröffentlicht werden, weiters darf nichts hinzugefügt werden. Zu den Ausnahmen siehe AGB der AGES.

Probenart: Privat
Material: Boden
Probe eingelangt: 07.01.2013
Untersuchung von-bis: 09.01.2013 - 04.02.2013
Auftragskommentar: Die AGES hatte keinen Einfluss auf die Probenahme

LISA- Probennummer	Externe Kennung	Charge	Beprobungstiefe (cm) von - bis
13003866-002		06/03692	0 - 25

Prüfergebnisse

Parameter	Tiefe (cm)	Ergebnis	Einheit	Bewertung	N	U
pH-Wert: CaCl ₂	0 - 25	7,1		neutral		1
Phosphor (P): CAL	0 - 25	<20	mg/kg	A - sehr niedrig		2
Kalium (K): CAL	0 - 25	29	mg/kg	A - sehr niedrig		2
Magnesium (Mg): verfügbar	0 - 25	278	mg/kg	E - sehr hoch		3
Humusgehalt	0 - 25	4,7	%	mittel		4
Bor (B): pflanzenverfügbar	0 - 25	1,7	mg/kg	C - mittel		5
Eisen (Fe): EDTA	0 - 25	358	mg/kg	E - hoch		6
Mangan (Mn): EDTA	0 - 25	364	mg/kg	E - hoch		6
Kupfer (Cu): EDTA	0 - 25	13,8	mg/kg	C - mittel		6
Zink (Zn): EDTA	0 - 25	25,4	mg/kg	E - hoch		6
Leitfähigkeit	0 - 25	92	µS/cm	<200: niedrig; >500: sehr hoch		7

Allfällig verwendete Abkürzungen:
N ... Hinweis auf nicht akkreditiertes Verfahren
x ... Verfahren nicht akkreditiert
U ... Untersuchungsverfahren

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
Spargelfeldstraße 191 | A-1220 Wien
www.ages.at | DVR: 0014541 | Registergericht: Handelsgericht Wien | Firmenbuch: FN 223056z
UniCredit Bank Austria AG | IBAN: AT981200050670871601 | BIC: BKAUATWW | UID: ATU 54088605



1 von 2

Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion
Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien
Leitung: Mag. Bernhard Föger



Akkreditierte Prüf- und Inspektionsstelle PSID Nr. 189
gemäß EN ISO/IEC 17025 und EN ISO/IEC 17020,
BMWA Bescheid GZl. 92714/70-IV/9/01

Martin Toner
Sonnleithnergasse 15/79
1100 Wien

Datum: 04.02.2013
Kontakt: Dipl.Ing.Dr. Georg Dersch
Tel.: +43(0)5 0555 34120
Fax: +43(0)5 0555 34101
E-Mail: georg.dersch@ages.at
Auftrag Nr.: 13003866
Dok. Nr.: D-2314170

PRÜFBERICHT Probestelle: Frühbeet E

Dieser Prüfbericht gilt nur für den/die Untersuchungsgegenstand/-gegenstände der gegenständlichen Auftragsnummer. Dieser Prüfbericht darf grundsätzlich nur im Gesamten vervielfältigt und nur mit Zustimmung der AGES weitergegeben oder veröffentlicht werden, weiters darf nichts hinzugefügt werden. Zu den Ausnahmen siehe AGB der AGES.

Probenart: Privat
Material: Boden
Probe eingelangt: 07.01.2013
Untersuchung von-bis: 09.01.2013 - 04.02.2013
Auftragskommentar: Die AGES hatte keinen Einfluss auf die Probenahme

LISA- Probennummer	Externe Kennung	Charge	Beprobungstiefe (cm) von - bis
13003866-001		06/03691	0 - 25

Prüfergebnisse

Parameter	Tiefe (cm)	Ergebnis	Einheit	Bewertung	N	U
pH-Wert: CaCl ₂	0 - 25	7,2		neutral		1
Phosphor (P): CAL	0 - 25	<20	mg/kg	A - sehr niedrig		2
Kalium (K): CAL	0 - 25	30	mg/kg	A - sehr niedrig		2
Magnesium (Mg): verfügbar	0 - 25	278	mg/kg	E - sehr hoch		3
Humusgehalt	0 - 25	4,5	%	mittel		4
Bor (B): pflanzenverfügbar	0 - 25	1,4	mg/kg	C - mittel		5
Eisen (Fe): EDTA	0 - 25	343	mg/kg	E - hoch		6
Mangan (Mn): EDTA	0 - 25	357	mg/kg	E - hoch		6
Kupfer (Cu): EDTA	0 - 25	13,2	mg/kg	C - mittel		6
Zink (Zn): EDTA	0 - 25	21,2	mg/kg	E - hoch		6
Leitfähigkeit	0 - 25	103	µS/cm	<200: niedrig; >500: sehr hoch		7

Allfällig verwendete Abkürzungen:

N ... Hinweis auf nicht akkreditiertes Verfahren
x ... Verfahren nicht akkreditiert
U ... Untersuchungsverfahren

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
Spargelfeldstraße 191 | A-1220 Wien
www.ages.at | DVR: 0014541 | Registergericht: Handelsgericht Wien | Firmenbuch: FN 223056z
UniCredit Bank Austria AG | IBAN: AT981200050670871601 | BIC: BKAUATWW | UID: ATU 54088605



1 von 2

Anhang 5: Verlustleistung Speicher

Ladener und Späte geben für übliche Solarspeicher ab 250 Liter einen Wärmeverlustkoeffizienten von 0,65 W/m²K an. Dieser Wert wurde für die Berechnung der Verlustleistung des Speichers mit der jeweiligen Oberfläche des Speichers multipliziert. Als Basis für die Oberflächenberechnung diente eine Zylindergrundfläche von 0,2m² die je nach Inhalt mit der entsprechenden Höhe multipliziert wurde.

Anhang 6: Auszug aus den Berechnungsdaten der Speichersimulation in Phase 1

Speicherinhalt [l]	260	Temp. Speicher Start [°C]	30,000	Verlust Speicher [W/K]	1,587							
Kollektorfläche [m ²]	2,000	Wärmekapazität [kWh/K]	0,276				Σ Globalstrahlung [kWh]	Σ Input Solar [kWh]	Σ Verluste [kWh]		Σ Output Solar [kWh]	Σ Output Elektro [kWh]
Wirkungsgrad	67%	Energieinhalt Start [kWh]	8,284	min. Vorlauf-temp. [°C]	25,000		184,951	76,698	25,506		52,800	55,600
Datum	Uhrzeit	kWh Elektro	Außen-temp.	Kollektor-temp.	Speicher-temperatur	Globalstrlg. [kW]	Input Speicher	Verlust Speicher	Output Speicher	Energieinhalt Speicher	Elektroheizung	Solarheizung
14.03.2012	00:03:40	0	6,6	5,5	29,866	0,000	0,000	0,037	0,000	8,247	0	0,000
14.03.2012	00:58:40	0	6,8	5,3	29,733	0,000	0,000	0,037	0,000	8,211	0	0,000
14.03.2012	02:03:40	0	6,5	5,2	29,600	0,000	0,000	0,037	0,000	8,174	0	0,000
14.03.2012	03:03:40	0	6,6	5,1	29,467	0,000	0,000	0,036	0,000	8,137	0	0,000
14.03.2012	04:03:40	0	6,3	5	29,334	0,000	0,000	0,037	0,000	8,100	0	0,000
14.03.2012	05:03:40	0	6	4,7	29,200	0,000	0,000	0,037	0,000	8,063	0	0,000
14.03.2012	06:03:40	0	6	4,5	29,067	0,001	0,000	0,037	0,000	8,027	0	0,000
14.03.2012	07:03:40	0	5,8	6,1	28,933	0,047	0,000	0,037	0,000	7,990	0	0,000
14.03.2012	08:03:40	0	6,6	15,9	28,805	0,181	0,000	0,035	0,000	7,954	0	0,000
14.03.2012	09:03:40	0	7,6	25	28,683	0,380	0,000	0,034	0,000	7,921	0	0,000
14.03.2012	10:03:40	1	8,1	31,9	30,389	0,525	0,704	0,033	0,200	8,392	0,2	0,200
14.03.2012	11:03:40	1	9,7	36,8	32,621	0,634	0,849	0,033	0,200	9,008	0,4	0,400
14.03.2012	12:03:40	1	10,6	46,3	35,070	0,680	0,911	0,035	0,200	9,684	0,6	0,600
14.03.2012	13:03:40	1	12,2	54,3	37,423	0,661	0,886	0,036	0,200	10,334	0,8	0,800
14.03.2012	14:03:40	1	13,1	41,8	39,417	0,589	0,789	0,039	0,200	10,885	1	1,000
14.03.2012	15:03:40	1	12,9	27	38,541	0,066	0,000	0,042	0,200	10,643	1,2	1,200
14.03.2012	16:03:40	1	12	25	37,664	0,305	0,000	0,042	0,200	10,401	1,4	1,400
14.03.2012	17:04:50	1	11,8	23,3	36,791	0,115	0,000	0,041	0,200	10,160	1,6	1,600
14.03.2012	18:04:50	1	9,1	12,3	35,908	0,011	0,000	0,044	0,200	9,916	1,8	1,800
14.03.2012	19:04:50	1	7,6	7,9	35,021	0,000	0,000	0,045	0,200	9,671	2	2,000
14.03.2012	20:04:50	1	3,7	4,6	34,116	0,000	0,000	0,050	0,200	9,421	2,2	2,200
14.03.2012	21:04:50	1	3,3	1,9	33,215	0,000	0,000	0,049	0,200	9,172	2,4	2,400
14.03.2012	22:04:50	1	3,7	2,6	32,321	0,000	0,000	0,047	0,200	8,925	2,6	2,600
14.03.2012	23:04:50	1	5,3	4,3	31,442	0,000	0,000	0,043	0,200	8,682	2,8	2,800
15.03.2012	00:03:50	1	5,3	4,8	30,567	0,000	0,000	0,041	0,200	8,441	3	3,000

15.03.2012	01:03:50	1	5,2	4,9	29,697	0,000	0,000	0,040	0,200	8,201	3,2	3,200
15.03.2012	02:03:50	1	5,3	4,4	28,833	0,000	0,000	0,039	0,200	7,962	3,4	3,400
15.03.2012	03:03:50	1	5	4,5	27,972	0,000	0,000	0,038	0,200	7,724	3,6	3,600
15.03.2012	04:03:50	1	4,9	4,2	27,115	0,000	0,000	0,037	0,200	7,488	3,8	3,800
15.03.2012	05:03:50	1	4,3	3,5	26,259	0,000	0,000	0,036	0,200	7,251	4	4,000
15.03.2012	06:03:50	1	0,9	1,8	25,389	0,001	0,000	0,040	0,200	7,011	4,2	4,200
15.03.2012	07:03:50	1	0,9	1,2	24,524	0,039	0,000	0,039	0,200	6,772	4,4	4,400
15.03.2012	08:03:50	1	4,6	18,6	24,410	0,160	0,000	0,032	0,000	6,741	4,6	4,400
15.03.2012	09:03:50	1	7,2	31,9	26,080	0,365	0,488	0,027	0,000	7,202	4,8	4,400
15.03.2012	10:03:50	1	9,4	46,5	27,731	0,509	0,682	0,026	0,200	7,658	5	4,600
15.03.2012	11:03:50	1	10,2	82,7	29,900	0,617	0,827	0,028	0,200	8,257	5,2	4,800
15.03.2012	12:03:50	1	10,7	85,7	32,236	0,653	0,875	0,030	0,200	8,902	5,4	5,000
15.03.2012	13:03:50	1	12,8	84,8	34,421	0,623	0,834	0,031	0,200	9,505	5,6	5,200
15.03.2012	14:03:50	0	12,6	77,4	36,933	0,543	0,728	0,035	0,000	10,199	5,6	5,200
15.03.2012	15:03:50	0	11,9	48,3	37,395	0,125	0,167	0,040	0,000	10,326	5,6	5,200
15.03.2012	16:03:50	0	12,2	39,8	38,538	0,265	0,356	0,040	0,000	10,642	5,6	5,200
15.03.2012	17:03:50	0	9,4	25,3	38,371	0,097	0,000	0,046	0,000	10,596	5,6	5,200
15.03.2012	18:03:50	0	6	10,9	38,185	0,010	0,000	0,051	0,000	10,544	5,6	5,200
15.03.2012	19:03:50	0	3,4	4,3	37,985	0,000	0,000	0,055	0,000	10,489	5,6	5,200
15.03.2012	20:03:50	0	2	1,1	37,778	0,000	0,000	0,057	0,000	10,432	5,6	5,200
15.03.2012	21:03:50	1	1	-0,1	36,843	0,000	0,000	0,058	0,200	10,174	5,8	5,400
15.03.2012	22:03:50	1	-0,6	-1,9	35,903	0,000	0,000	0,059	0,200	9,914	6	5,600
15.03.2012	23:03:50	1	-0,1	-2,6	34,972	0,000	0,000	0,057	0,200	9,657	6,2	5,800
16.03.2012	00:04:50	1	-0,6	-2,8	34,044	0,000	0,000	0,056	0,200	9,401	6,4	6,000
16.03.2012	01:04:50	1	-1,5	-3,6	33,115	0,000	0,000	0,056	0,200	9,144	6,6	6,200
16.03.2012	02:04:50	1	-1,9	-3,9	32,190	0,000	0,000	0,056	0,200	8,889	6,8	6,400
16.03.2012	03:04:50	1	-2,3	-4,4	31,267	0,000	0,000	0,055	0,200	8,634	7	6,600
16.03.2012	04:04:50	1	-2,5	-4,4	30,349	0,000	0,000	0,054	0,200	8,381	7,2	6,800
16.03.2012	05:04:50	1	-2,8	-5	29,434	0,000	0,000	0,053	0,200	8,128	7,4	7,000
16.03.2012	06:04:50	1	-2,9	-5,2	28,524	0,000	0,000	0,051	0,200	7,877	7,6	7,200
16.03.2012	07:04:50	1	-0,3	-2,5	27,634	0,064	0,000	0,046	0,200	7,631	7,8	7,400
16.03.2012	08:04:50	1	6,1	15,6	26,786	0,243	0,000	0,034	0,200	7,397	8	7,600
16.03.2012	09:04:50	1	10,5	54,9	28,008	0,420	0,563	0,026	0,200	7,734	8,2	7,800
16.03.2012	10:04:50	1	14,9	37,7	29,972	0,569	0,763	0,021	0,200	8,276	8,4	8,000
16.03.2012	10:58:10	1	17,6	40,8	32,436	0,672	0,900	0,020	0,200	8,957	8,6	8,200
16.03.2012	12:04:00	0	20,9	52,9	35,796	0,706	0,946	0,018	0,000	9,885	8,6	8,200
16.03.2012	13:03:50	0	22,3	46,4	39,040	0,684	0,917	0,021	0,000	10,781	8,6	8,200
16.03.2012	13:59:20	0	21,6	45,5	41,861	0,602	0,807	0,028	0,000	11,560	8,6	8,200
16.03.2012	14:59:20	0	19,3	58	42,106	0,077	0,103	0,036	0,000	11,627	8,6	8,200
16.03.2012	15:59:20	0	19,1	48	43,398	0,294	0,393	0,037	0,000	11,984	8,6	8,200
16.03.2012	17:03:30	0	15,1	33,3	43,236	0,110	0,000	0,045	0,000	11,939	8,6	8,200
16.03.2012	18:03:30	0	8,5	15,2	43,036	0,010	0,000	0,055	0,000	11,884	8,6	8,200
16.03.2012	19:03:30	0	7,7	7,8	42,833	0,000	0,000	0,056	0,000	11,828	8,6	8,200
16.03.2012	20:03:30	0	5,9	5	42,621	0,000	0,000	0,059	0,000	11,769	8,6	8,200
16.03.2012	21:03:30	0	5	3,4	42,405	0,000	0,000	0,060	0,000	11,710	8,6	8,200
16.03.2012	22:03:30	1	3,8	1,9	41,459	0,000	0,000	0,061	0,200	11,449	8,8	8,400
16.03.2012	23:03:30	1	3,2	1,1	40,515	0,000	0,000	0,061	0,200	11,188	9	8,600
17.03.2012	00:03:30	1	3	0,4	39,575	0,000	0,000	0,060	0,200	10,928	9,2	8,800
17.03.2012	01:03:30	1	1,7	-0,2	38,633	0,000	0,000	0,060	0,200	10,668	9,4	9,000
17.03.2012	02:03:30	1	1,3	-1,2	37,694	0,000	0,000	0,059	0,200	10,409	9,6	9,200
17.03.2012	03:03:30	1	1,1	-1,5	36,760	0,000	0,000	0,058	0,200	10,151	9,8	9,400
17.03.2012	04:03:30	1	1	-1,6	35,830	0,000	0,000	0,057	0,200	9,894	10	9,600
17.03.2012	05:03:30	1	1	-1,8	34,906	0,000	0,000	0,055	0,200	9,639	10,2	9,800

17.03.2012	06:03:30	1	1	-1,9	33,986	0,001	0,000	0,054	0,200	9,385	10,4	10,000
17.03.2012	07:03:30	1	3,2	0,9	33,085	0,060	0,000	0,049	0,200	9,136	10,6	10,200
17.03.2012	08:03:30	1	9,8	18,5	32,227	0,252	0,000	0,037	0,200	8,899	10,8	10,400
17.03.2012	09:03:30	1	13,7	32,3	31,397	0,430	0,000	0,029	0,200	8,670	11	10,600
17.03.2012	10:03:30	1	16,8	40,2	33,415	0,582	0,781	0,023	0,200	9,227	11,2	10,800
17.03.2012	11:03:30	0	20,6	45,9	36,633	0,678	0,909	0,020	0,000	10,116	11,2	10,800
17.03.2012	12:03:30	0	21,9	64,7	39,994	0,710	0,951	0,023	0,000	11,044	11,2	10,800
17.03.2012	13:03:30	0	22,2	96,8	43,186	0,679	0,910	0,028	0,000	11,926	11,2	10,800
17.03.2012	14:03:30	0	21,1	63,4	45,925	0,591	0,791	0,035	0,000	12,682	11,2	10,800
17.03.2012	15:03:30	0	19,5	31,5	45,773	0,110	0,000	0,042	0,000	12,640	11,2	10,800
17.03.2012	16:03:30	0	18,7	32,1	45,617	0,263	0,000	0,043	0,000	12,597	11,2	10,800
17.03.2012	17:03:30	0	16,1	27,3	45,448	0,101	0,000	0,047	0,000	12,550	11,2	10,800
17.03.2012	18:03:30	0	9,5	15,3	45,241	0,009	0,000	0,057	0,000	12,493	11,2	10,800
17.03.2012	19:03:30	0	7,6	8,7	45,025	0,000	0,000	0,060	0,000	12,433	11,2	10,800
17.03.2012	20:03:30	0	6,2	5,4	44,802	0,000	0,000	0,062	0,000	12,372	11,2	10,800
17.03.2012	21:03:30	0	5,4	4	44,575	0,000	0,000	0,063	0,000	12,309	11,2	10,800
17.03.2012	22:03:30	1	4,6	3,1	43,621	0,000	0,000	0,063	0,200	12,046	11,4	11,000
17.03.2012	23:03:30	1	4,6	2,5	42,673	0,000	0,000	0,062	0,200	11,784	11,6	11,200
18.03.2012	00:02:30	1	5,5	2,8	41,735	0,000	0,000	0,059	0,200	11,525	11,8	11,400
18.03.2012	01:02:30	1	6,3	3,1	40,807	0,000	0,000	0,056	0,200	11,269	12	11,600
18.03.2012	02:02:30	1	5,4	2,5	39,880	0,000	0,000	0,056	0,200	11,012	12,2	11,800
18.03.2012	03:02:30	1	8,4	3,4	38,974	0,000	0,000	0,050	0,200	10,762	12,4	12,000
18.03.2012	04:02:30	1	6,7	4,5	38,065	0,000	0,000	0,051	0,200	10,511	12,6	12,200
18.03.2012	05:02:30	1	8,3	3,5	37,169	0,000	0,000	0,047	0,200	10,264	12,8	12,400
18.03.2012	06:02:30	0	7,5	4,6	36,999	0,002	0,000	0,047	0,000	10,217	12,8	12,400
18.03.2012	07:02:30	1	7,8	7,9	36,107	0,054	0,000	0,046	0,200	9,971	13	12,600
18.03.2012	08:02:30	1	11,8	22,3	35,243	0,205	0,000	0,039	0,200	9,732	13,2	12,800
18.03.2012	09:02:30	1	16,1	32,3	34,409	0,393	0,000	0,030	0,200	9,502	13,4	13,000
18.03.2012	10:02:30	1	15,9	37,7	36,120	0,524	0,702	0,029	0,200	9,974	13,6	13,200
18.03.2012	11:02:30	0	16,4	48,2	39,228	0,664	0,890	0,031	0,000	10,832	13,6	13,200
18.03.2012	12:02:30	0	17,1	69,2	42,551	0,711	0,953	0,035	0,000	11,750	13,6	13,200
18.03.2012	13:02:30	0	17,7	61,5	45,668	0,672	0,900	0,039	0,000	12,611	13,6	13,200
18.03.2012	14:02:30	0	18	52,1	48,194	0,553	0,741	0,044	0,000	13,309	13,6	13,200
18.03.2012	15:02:30	0	17,2	32,4	48,016	0,208	0,000	0,049	0,000	13,259	13,6	13,200
18.03.2012	16:02:30	0	17,4	45,2	47,840	0,302	0,000	0,049	0,000	13,211	13,6	13,200
18.03.2012	17:02:30	0	14,5	28,5	47,649	0,117	0,000	0,053	0,000	13,158	13,6	13,200
18.03.2012	18:02:30	0	10,4	14,6	47,435	0,013	0,000	0,059	0,000	13,099	13,6	13,200
18.03.2012	19:02:30	0	8,2	8,6	47,209	0,000	0,000	0,062	0,000	13,037	13,6	13,200
18.03.2012	20:02:30	0	9,3	6,6	46,992	0,000	0,000	0,060	0,000	12,976	13,6	13,200
18.03.2012	21:02:30	1	10,9	6,1	46,060	0,000	0,000	0,057	0,200	12,719	13,8	13,400
18.03.2012	22:02:30	1	6,3	5,6	45,107	0,000	0,000	0,063	0,200	12,456	14	13,600
18.03.2012	23:02:30	1	5,2	3,3	44,154	0,000	0,000	0,063	0,200	12,193	14,2	13,800
19.03.2012	00:02:30	1	6,1	2,2	43,211	0,000	0,000	0,060	0,200	11,932	14,4	14,000
19.03.2012	01:02:30	1	9,4	3,7	42,292	0,000	0,000	0,054	0,200	11,679	14,6	14,200
19.03.2012	02:02:30	0	8,9	6,1	42,100	0,000	0,000	0,053	0,000	11,626	14,6	14,200
19.03.2012	03:02:30	0	8,1	5,4	41,905	0,000	0,000	0,054	0,000	11,572	14,6	14,200
19.03.2012	04:02:30	1	5,2	4,9	40,970	0,000	0,000	0,058	0,200	11,313	14,8	14,400
19.03.2012	05:02:30	1	7,3	4,3	40,052	0,000	0,000	0,053	0,200	11,060	15	14,600
19.03.2012	06:02:30	1	7,6	5,4	39,141	0,002	0,000	0,051	0,200	10,809	15,2	14,800
19.03.2012	07:02:30	1	7,9	7,8	38,238	0,044	0,000	0,050	0,200	10,559	15,4	15,000
19.03.2012	08:02:30	1	8	12,4	37,340	0,085	0,000	0,048	0,200	10,311	15,6	15,200
19.03.2012	09:02:30	1	10,4	30,4	36,461	0,383	0,000	0,043	0,200	10,068	15,8	15,400
19.03.2012	10:02:30	0	9,6	31,9	36,306	0,359	0,000	0,043	0,000	10,026	15,8	15,400

19.03.2012	11:02:30	0	10,2	28,4	36,156	0,284	0,000	0,041	0,000	9,984	15,8	15,400
19.03.2012	12:02:30	0	9,6	21,4	36,004	0,135	0,000	0,042	0,000	9,942	15,8	15,400
19.03.2012	13:02:30	0	8,7	15,1	35,847	0,087	0,000	0,043	0,000	9,899	15,8	15,400
19.03.2012	14:02:30	0	8,7	15,2	35,691	0,155	0,000	0,043	0,000	9,856	15,8	15,400
19.03.2012	15:02:30	0	8,6	15	35,535	0,071	0,000	0,043	0,000	9,813	15,8	15,400
19.03.2012	16:02:30	1	8,2	14,3	34,654	0,101	0,000	0,043	0,200	9,569	16	15,600
19.03.2012	17:02:30	0	7,9	11,6	34,500	0,046	0,000	0,042	0,000	9,527	16	15,600
19.03.2012	18:02:30	0	7,7	9	34,346	0,002	0,000	0,043	0,000	9,484	16	15,600
19.03.2012	19:02:30	0	7,6	7,8	34,192	0,000	0,000	0,042	0,000	9,442	16	15,600
19.03.2012	20:02:30	1	7,5	7,3	33,315	0,000	0,000	0,042	0,200	9,200	16,2	15,800
19.03.2012	21:02:30	1	6	6,5	32,434	0,000	0,000	0,043	0,200	8,956	16,4	16,000
19.03.2012	22:02:30	1	5,3	5,4	31,553	0,000	0,000	0,043	0,200	8,713	16,6	16,200
19.03.2012	23:02:30	0	5,1	5	31,401	0,000	0,000	0,042	0,000	8,671	16,6	16,200
20.03.2012	00:03:30	0	4,6	4,7	31,247	0,000	0,000	0,043	0,000	8,629	16,6	16,200
20.03.2012	01:03:30	1	5	4,6	30,372	0,000	0,000	0,042	0,200	8,387	16,8	16,400
20.03.2012	02:03:30	1	4,8	4,6	29,501	0,000	0,000	0,041	0,200	8,147	17	16,600
20.03.2012	03:03:30	1	4,6	4,7	28,634	0,000	0,000	0,040	0,200	7,907	17,2	16,800
20.03.2012	04:03:30	1	4,8	4,6	27,773	0,000	0,000	0,038	0,200	7,669	17,4	17,000
20.03.2012	05:03:30	0	4,5	4,5	27,639	0,000	0,000	0,037	0,000	7,632	17,4	17,000
20.03.2012	06:03:30	1	4,5	4,4	26,782	0,001	0,000	0,037	0,200	7,396	17,6	17,200
20.03.2012	07:03:30	1	4,6	5	25,930	0,014	0,000	0,035	0,200	7,160	17,8	17,400
20.03.2012	08:03:30	1	4,7	7,6	25,084	0,060	0,000	0,034	0,200	6,927	18	17,600
20.03.2012	09:03:30	1	6,4	15,6	24,252	0,187	0,000	0,030	0,200	6,697	18,2	17,800
20.03.2012	10:03:30	0	9,3	27	26,276	0,435	0,583	0,024	0,000	7,256	18,2	17,800
20.03.2012	11:03:30	0	12,4	40,5	29,425	0,665	0,892	0,022	0,000	8,126	18,2	17,800
20.03.2012	12:03:30	0	13,6	34,1	30,929	0,329	0,440	0,025	0,000	8,541	18,2	17,800
20.03.2012	13:03:30	0	13,4	38,3	33,577	0,566	0,759	0,028	0,000	9,272	18,2	17,800
20.03.2012	14:03:30	0	15,1	42	36,950	0,717	0,961	0,029	0,000	10,204	18,2	17,800
20.03.2012	15:03:30	0	14,9	31,2	36,824	0,251	0,000	0,035	0,000	10,169	18,2	17,800
20.03.2012	16:03:30	0	14,6	32	36,696	0,319	0,000	0,035	0,000	10,133	18,2	17,800
20.03.2012	17:03:30	0	11,6	23,9	36,552	0,114	0,000	0,040	0,000	10,094	18,2	17,800
20.03.2012	18:03:30	0	6,4	12	36,379	0,014	0,000	0,048	0,000	10,046	18,2	17,800
20.03.2012	19:03:30	0	4,1	5,3	36,193	0,000	0,000	0,051	0,000	9,994	18,2	17,800
20.03.2012	20:03:30	1	3,4	2,4	35,280	0,000	0,000	0,052	0,200	9,742	18,4	18,000
20.03.2012	21:03:30	1	2,4	0,9	34,367	0,000	0,000	0,052	0,200	9,490	18,6	18,200
20.03.2012	22:03:30	1	1,8	0	33,456	0,000	0,000	0,052	0,200	9,239	18,8	18,400
20.03.2012	23:03:30	1	1,2	-0,6	32,546	0,000	0,000	0,051	0,200	8,987	19	18,600
21.03.2012	00:03:30	0	1	-1,2	32,365	0,000	0,000	0,050	0,000	8,937	19	18,600
21.03.2012	01:03:30	1	0,8	-1,6	31,459	0,000	0,000	0,050	0,200	8,687	19,2	18,800
21.03.2012	02:03:30	1	0,2	-1,9	30,555	0,000	0,000	0,050	0,200	8,438	19,4	19,000
21.03.2012	03:03:30	1	0,2	-1,9	29,657	0,000	0,000	0,048	0,200	8,190	19,6	19,200
21.03.2012	04:03:30	1	-0,7	-2,6	28,758	0,000	0,000	0,048	0,200	7,941	19,8	19,400
21.03.2012	05:03:30	1	-0,6	-2,9	27,865	0,000	0,000	0,047	0,200	7,695	20	19,600
21.03.2012	06:03:30	1	-1,4	-3,6	26,973	0,003	0,000	0,046	0,200	7,448	20,2	19,800
21.03.2012	07:03:30	1	1,4	0,2	26,102	0,074	0,000	0,041	0,200	7,208	20,4	20,000
21.03.2012	08:03:30	1	5,5	15,2	25,259	0,252	0,000	0,033	0,200	6,975	20,6	20,200
21.03.2012	09:03:30	1	10,5	32,3	26,592	0,441	0,591	0,023	0,200	7,343	20,8	20,400
21.03.2012	10:00:00	1	15,2	39,3	28,628	0,582	0,781	0,018	0,200	7,906	21	20,600
21.03.2012	11:00:00	0	16,7	50,9	31,866	0,681	0,913	0,019	0,000	8,800	21	20,600
21.03.2012	12:00:00	0	17,2	67,2	35,252	0,715	0,958	0,023	0,000	9,735	21	20,600
21.03.2012	13:00:30	0	17,7	69	38,441	0,678	0,908	0,028	0,000	10,615	21	20,600
21.03.2012	14:00:10	0	18,3	71,6	41,334	0,620	0,831	0,032	0,000	11,414	21	20,600
21.03.2012	15:00:20	0	17,8	32,9	41,199	0,168	0,000	0,037	0,000	11,377	21	20,600

21.03.2012	16:00:50	0	15,2	30,2	41,050	0,170	0,000	0,041	0,000	11,336	21	20,600
21.03.2012	17:00:50	0	12	20	40,883	0,090	0,000	0,046	0,000	11,289	21	20,600
21.03.2012	18:00:50	0	9,5	13,9	40,702	0,015	0,000	0,050	0,000	11,240	21	20,600
21.03.2012	19:00:10	0	6	7,5	40,503	0,000	0,000	0,055	0,000	11,185	21	20,600
21.03.2012	20:00:10	0	4,9	4,2	40,298	0,000	0,000	0,056	0,000	11,128	21	20,600
21.03.2012	21:00:10	0	3,8	2,2	40,089	0,000	0,000	0,058	0,000	11,070	21	20,600
21.03.2012	22:00:10	0	2,8	1,4	39,874	0,000	0,000	0,059	0,000	11,011	21	20,600
21.03.2012	23:00:10	1	2,7	0,6	38,937	0,000	0,000	0,059	0,200	10,752	21,2	20,800
22.03.2012	00:00:20	1	1,9	0	37,999	0,000	0,000	0,059	0,200	10,493	21,4	21,000
22.03.2012	01:00:20	1	1,4	-0,4	37,065	0,000	0,000	0,058	0,200	10,235	21,6	21,200
22.03.2012	02:00:20	1	1	-0,8	36,133	0,000	0,000	0,057	0,200	9,978	21,8	21,400
22.03.2012	03:00:20	1	0,3	-1	35,203	0,000	0,000	0,057	0,200	9,721	22	21,600
22.03.2012	04:00:20	1	-0,1	-1,7	34,276	0,000	0,000	0,056	0,200	9,465	22,2	21,800
22.03.2012	05:00:20	1	-0,7	-2,5	33,351	0,000	0,000	0,055	0,200	9,210	22,4	22,000
22.03.2012	06:00:20	1	-1,1	-3,1	32,429	0,004	0,000	0,055	0,200	8,955	22,6	22,200
22.03.2012	07:00:20	1	1,5	0,7	31,527	0,079	0,000	0,049	0,200	8,706	22,8	22,400
22.03.2012	08:00:20	1	6,9	14,8	30,661	0,213	0,000	0,039	0,200	8,467	23	22,600
22.03.2012	09:00:20	1	11,4	35,8	31,627	0,371	0,497	0,031	0,200	8,733	23,2	22,800
22.03.2012	10:00:20	0	15,2	38,3	34,203	0,550	0,737	0,026	0,000	9,445	23,2	22,800
22.03.2012	11:00:20	0	15,7	46,6	37,281	0,656	0,879	0,029	0,000	10,295	23,2	22,800
22.03.2012	12:00:20	0	15,3	36,8	37,155	0,428	0,000	0,035	0,000	10,260	23,2	22,800
22.03.2012	13:00:40	0	17	38,9	37,039	0,477	0,000	0,032	0,000	10,228	23,2	22,800
22.03.2012	14:00:20	0		35	36,826	0,295	0,000	0,059	0,000	10,169	23,2	22,800
22.03.2012	15:00:20	0		35	36,615	0,217	0,000	0,058	0,000	10,111	23,2	22,800
22.03.2012	16:00:20	0		25	36,404	0,156	0,000	0,058	0,000	10,053	23,2	22,800
22.03.2012	17:00:20	0		20	36,195	0,081	0,000	0,058	0,000	9,995	23,2	22,800
22.03.2012	18:00:20	0	9,5	13,9	36,042	0,013	0,000	0,042	0,000	9,953	23,2	22,800
22.03.2012	19:00:20	0	6	7,5	35,869	0,000	0,000	0,048	0,000	9,905	23,2	22,800
22.03.2012	20:00:20	0	4,9	4,2	35,691	0,000	0,000	0,049	0,000	9,856	23,2	22,800
22.03.2012	21:00:20	0	3,8	2,2	35,508	0,000	0,000	0,051	0,000	9,805	23,2	22,800
22.03.2012	22:00:20	0	2,8	1,4	35,320	0,000	0,000	0,052	0,000	9,753	23,2	22,800
22.03.2012	23:00:20	1	2,7	0,6	34,408	0,000	0,000	0,052	0,200	9,502	23,4	23,000
23.03.2012	00:00:20	1	1,9	0	33,497	0,000	0,000	0,052	0,200	9,250	23,6	23,200
23.03.2012	01:00:20	1	1,4	-0,4	32,589	0,000	0,000	0,051	0,200	8,999	23,8	23,400
23.03.2012	02:00:20	1	1	-0,8	31,683	0,000	0,000	0,050	0,200	8,749	24	23,600
23.03.2012	03:00:20	1	0,3	-1	30,778	0,000	0,000	0,050	0,200	8,499	24,2	23,800
23.03.2012	04:00:20	1	-0,1	-1,7	29,877	0,000	0,000	0,049	0,200	8,250	24,4	24,000
23.03.2012	05:00:20	1	-0,7	-2,5	28,977	0,000	0,000	0,049	0,200	8,002	24,6	24,200
23.03.2012	06:00:20	1	1	-3,6	28,092	0,004	0,000	0,044	0,200	7,757	24,8	24,400
23.03.2012	07:00:20	1	4	0,2	27,229	0,068	0,000	0,038	0,200	7,519	25	24,600
23.03.2012	08:00:20	1	7	15,2	26,389	0,225	0,000	0,032	0,200	7,287	25,2	24,800
23.03.2012	09:00:20	1	10	32,3	27,629	0,424	0,569	0,026	0,200	7,630	25,4	25,000
23.03.2012	10:00:20	0	14	39,3	30,319	0,570	0,764	0,022	0,000	8,372	25,4	25,000
23.03.2012	11:00:20	0	18	50,9	33,455	0,661	0,885	0,020	0,000	9,238	25,4	25,000
23.03.2012	12:00:20	0	20	67,2	36,504	0,644	0,863	0,021	0,000	10,080	25,4	25,000
23.03.2012	13:00:20	0	19	69	39,702	0,680	0,911	0,028	0,000	10,963	25,4	25,000
23.03.2012	14:00:20	0	17	71,6	42,418	0,586	0,786	0,036	0,000	11,713	25,4	25,000
23.03.2012	15:00:20	0	16	32,9	42,266	0,225	0,000	0,042	0,000	11,671	25,4	25,000
23.03.2012	16:00:20	0	15,5	30,2	42,112	0,110	0,000	0,042	0,000	11,629	25,4	25,000
23.03.2012	17:00:00	0	14,4	22,2	41,953	0,075	0,000	0,044	0,000	11,585	25,4	25,000
23.03.2012	18:00:00	0	12,4	16,2	41,783	0,016	0,000	0,047	0,000	11,538	25,4	25,000
23.03.2012	19:00:00	0	9,4	10,1	41,597	0,000	0,000	0,051	0,000	11,487	25,4	25,000
23.03.2012	20:00:00	0	8,3	7,9	41,406	0,000	0,000	0,053	0,000	11,434	25,4	25,000

23.03.2012	21:00:00	0	7,6	7,4	41,212	0,000	0,000	0,054	0,000	11,380	25,4	25,000
23.03.2012	22:00:00	0	7,7	6,7	41,019	0,000	0,000	0,053	0,000	11,327	25,4	25,000
23.03.2012	23:00:00	1	6,9	6,1	40,099	0,000	0,000	0,054	0,200	11,073	25,6	25,200
24.03.2012	00:00:00	1	7,2	5,9	39,185	0,000	0,000	0,052	0,200	10,821	25,8	25,400
24.03.2012	01:00:00	1	6	4,9	38,270	0,000	0,000	0,053	0,200	10,568	26	25,600
24.03.2012	02:00:00	0	3,9	3,1	38,073	0,000	0,000	0,055	0,000	10,514	26	25,600
24.03.2012	03:00:00	0	3,4	1,9	37,874	0,000	0,000	0,055	0,000	10,459	26	25,600
24.03.2012	04:00:00	1	2,6	1,2	36,947	0,000	0,000	0,056	0,200	10,203	26,2	25,800
24.03.2012	05:00:00	1	2	0,5	36,022	0,000	0,000	0,055	0,200	9,947	26,4	26,000
24.03.2012	06:00:00	1	1,6	0	35,100	0,004	0,000	0,055	0,200	9,693	26,6	26,200
24.03.2012	07:00:00	1	3,4	2,9	34,193	0,068	0,000	0,050	0,200	9,442	26,8	26,400
24.03.2012	08:00:00	1	8	13,5	33,319	0,211	0,000	0,042	0,200	9,201	27	26,600
24.03.2012	09:00:00	1	11,4	36,3	34,430	0,404	0,542	0,035	0,200	9,508	27,2	26,800
24.03.2012	10:00:00	0	16,9	36,6	36,578	0,463	0,621	0,028	0,000	10,101	27,2	26,800
24.03.2012	11:00:00	0	19,1	46,4	39,558	0,635	0,850	0,028	0,000	10,924	27,2	26,800
24.03.2012	12:00:00	0	15,3	29,6	39,418	0,187	0,000	0,038	0,000	10,885	27,2	26,800
24.03.2012	13:00:00	0	15,9	30,3	39,283	0,241	0,000	0,037	0,000	10,848	27,2	26,800
24.03.2012	14:00:00	0	18,7	40,4	39,165	0,629	0,000	0,033	0,000	10,815	27,2	26,800
24.03.2012	15:00:00	0	18	34,2	39,043	0,341	0,000	0,034	0,000	10,782	27,2	26,800
24.03.2012	16:00:00	0	11,7	27,6	38,886	0,111	0,000	0,043	0,000	10,738	27,2	26,800
24.03.2012	17:00:00	0	11,3	16,1	38,728	0,097	0,000	0,044	0,000	10,694	27,2	26,800
24.03.2012	18:00:00	0	9,5	12,4	38,560	0,013	0,000	0,046	0,000	10,648	27,2	26,800
24.03.2012	19:00:00	0	10	9,3	38,396	0,000	0,000	0,045	0,000	10,603	27,2	26,800
24.03.2012	20:00:00	0	6,7	6,9	38,214	0,000	0,000	0,050	0,000	10,552	27,2	26,800
24.03.2012	21:00:00	1	6,1	5,3	37,305	0,000	0,000	0,051	0,200	10,301	27,4	27,000
24.03.2012	22:00:00	1	5	3,8	36,395	0,000	0,000	0,051	0,200	10,050	27,6	27,200
24.03.2012	23:00:00	1	5	3,6	35,490	0,000	0,000	0,050	0,200	9,800	27,8	27,400
25.03.2012	00:00:10	0	4,8	3,3	35,314	0,000	0,000	0,049	0,000	9,752	27,8	27,400
25.03.2012	01:00:10	1	4,7	3,4	34,414	0,000	0,000	0,049	0,200	9,503	28	27,600
25.03.2012	02:00:10	1	4,5	2,9	33,518	0,000	0,000	0,047	0,200	9,256	28,2	27,800
25.03.2012	03:00:10	1	4,8	3,4	32,628	0,000	0,000	0,046	0,200	9,010	28,4	28,000
25.03.2012	04:00:10	1	5,4	3,4	31,748	0,000	0,000	0,043	0,200	8,767	28,6	28,200
25.03.2012	05:00:10	1	3,9	2,6	30,863	0,000	0,000	0,044	0,200	8,523	28,8	28,400
25.03.2012	06:00:10	1	4,8	3,7	29,989	0,005	0,000	0,041	0,200	8,281	29	28,600
25.03.2012	07:00:10	0	6,5	6,5	29,854	0,076	0,000	0,037	0,000	8,244	29	28,600
25.03.2012	08:00:10	1	11,2	17,8	29,023	0,217	0,000	0,030	0,200	8,014	29,2	28,800
25.03.2012	09:00:10	1	13,7	36,7	30,077	0,385	0,515	0,024	0,200	8,306	29,4	29,000
25.03.2012	10:00:10	1	14,9	37,9	31,985	0,560	0,751	0,024	0,200	8,832	29,6	29,200
25.03.2012	11:00:10	0	16,3	45,9	35,079	0,656	0,879	0,025	0,000	9,687	29,6	29,200
25.03.2012	12:00:10	0	17,2	79,8	38,486	0,723	0,969	0,028	0,000	10,627	29,6	29,200
25.03.2012	13:00:10	0	17,2	80,9	41,740	0,696	0,933	0,034	0,000	11,526	29,6	29,200
25.03.2012	14:00:10	0	17,6	88,4	44,592	0,616	0,826	0,038	0,000	12,314	29,6	29,200
25.03.2012	15:00:10	0	17	33,9	44,433	0,248	0,000	0,044	0,000	12,270	29,6	29,200
25.03.2012	16:00:10	0	17	47,4	45,863	0,327	0,438	0,044	0,000	12,665	29,6	29,200
25.03.2012	17:00:10	0	15,8	30,4	45,690	0,159	0,000	0,048	0,000	12,617	29,6	29,200
25.03.2012	18:00:10	0	14,1	17,1	45,509	0,019	0,000	0,050	0,000	12,567	29,6	29,200
25.03.2012	19:00:10	0	13,6	13,2	45,325	0,000	0,000	0,051	0,000	12,516	29,6	29,200
25.03.2012	20:00:10	0	12,1	11,9	45,134	0,000	0,000	0,053	0,000	12,464	29,6	29,200
25.03.2012	21:00:10	0	11,6	9,6	44,942	0,000	0,000	0,053	0,000	12,410	29,6	29,200
25.03.2012	22:00:10	0	12	9,8	44,752	0,000	0,000	0,052	0,000	12,358	29,6	29,200
25.03.2012	23:00:10	1	11,2	8,5	43,835	0,000	0,000	0,053	0,200	12,105	29,8	29,400
26.03.2012	00:00:10	0	10,5	8	43,644	0,000	0,000	0,053	0,000	12,052	29,8	29,400
26.03.2012	01:00:10	0	10	7	43,450	0,000	0,000	0,053	0,000	11,999	29,8	29,400

26.03.2012	02:00:10	1	9,8	7,8	42,533	0,000	0,000	0,053	0,200	11,745	30	29,600
26.03.2012	03:00:10	0	9,1	6,7	42,341	0,000	0,000	0,053	0,000	11,692	30	29,600
26.03.2012	04:00:10	1	8,5	6,8	41,422	0,000	0,000	0,054	0,200	11,438	30,2	29,800
26.03.2012	05:00:10	1	7,9	5,6	40,505	0,000	0,000	0,053	0,200	11,185	30,4	30,000
26.03.2012	06:00:10	1	7,9	5,9	39,594	0,007	0,000	0,052	0,200	10,933	30,6	30,200
26.03.2012	07:00:10	1	7,7	6,1	38,686	0,070	0,000	0,051	0,200	10,683	30,8	30,400
26.03.2012	08:00:10	1	7,9	9,3	37,785	0,300	0,000	0,049	0,200	10,434	31	30,600
26.03.2012	09:00:10	0	9,6	20,3	37,623	0,471	0,000	0,045	0,000	10,389	31	30,600
26.03.2012	10:00:10	1	10,3	36,4	36,742	0,621	0,000	0,043	0,200	10,146	31,2	30,800
26.03.2012	11:00:10	1	11,4	41,1	39,334	0,714	0,956	0,040	0,200	10,862	31,4	31,000
26.03.2012	12:00:10	0	12	57	42,805	0,748	1,002	0,043	0,000	11,820	31,4	31,000
26.03.2012	13:00:10	0	14,4	89,7	46,136	0,720	0,965	0,045	0,000	12,740	31,4	31,000
26.03.2012	14:00:10	0	15	81,9	49,052	0,638	0,855	0,049	0,000	13,545	31,4	31,000
26.03.2012	15:00:10	0	15,1	90	50,309	0,299	0,401	0,054	0,000	13,892	31,4	31,000
26.03.2012	16:00:10	0	15,1	57,4	51,878	0,365	0,489	0,056	0,000	14,326	31,4	31,000
26.03.2012	17:00:10	0	14,7	60,2	52,148	0,100	0,133	0,059	0,000	14,400	31,4	31,000
26.03.2012	18:00:10	0	13	32,1	51,923	0,018	0,000	0,062	0,000	14,338	31,4	31,000
26.03.2012	19:00:10	0	11,4	15,1	51,690	0,000	0,000	0,064	0,000	14,274	31,4	31,000
26.03.2012	20:00:10	0	9,3	10	51,446	0,000	0,000	0,067	0,000	14,207	31,4	31,000
26.03.2012	21:00:10	0	7,3	7,3	51,193	0,000	0,000	0,070	0,000	14,136	31,4	31,000
26.03.2012	22:00:10	0	5,7	5,7	50,931	0,000	0,000	0,072	0,000	14,064	31,4	31,000
26.03.2012	23:00:10	1	5,2	4,3	49,944	0,000	0,000	0,073	0,200	13,792	31,6	31,200
27.03.2012	00:00:20	1	2,9	1,6	48,950	0,000	0,000	0,075	0,200	13,517	31,8	31,400
27.03.2012	01:00:20	1	0,7	0	47,948	0,000	0,000	0,077	0,200	13,241	32	31,600
27.03.2012	02:00:20	1	0,8	-1,1	46,953	0,000	0,000	0,075	0,200	12,966	32,2	31,800
27.03.2012	03:00:20	1	0,1	-1,6	45,960	0,000	0,000	0,074	0,200	12,691	32,4	32,000
27.03.2012	04:00:20	0	-1,5	-2,8	45,687	0,000	0,000	0,075	0,000	12,616	32,4	32,000
27.03.2012	05:00:20	1	-1,1	-3,2	44,694	0,000	0,000	0,074	0,200	12,342	32,6	32,200
27.03.2012	06:00:20	1	-1,5	-3,2	43,704	0,006	0,000	0,073	0,200	12,069	32,8	32,400
27.03.2012	07:00:20	1	-1,5	-3,8	42,720	0,071	0,000	0,072	0,200	11,797	33	32,600
27.03.2012	08:00:20	1	0,9	0,1	41,756	0,261	0,000	0,066	0,200	11,530	33,2	32,800
27.03.2012	09:00:20	1	7,4	19,7	40,834	0,460	0,000	0,055	0,200	11,276	33,4	33,000
27.03.2012	10:00:20	1	12,1	36,7	39,945	0,583	0,000	0,046	0,200	11,030	33,6	33,200
27.03.2012	11:00:20	1	13,3	37,7	39,067	0,683	0,000	0,042	0,200	10,788	33,8	33,400
27.03.2012	12:00:20	0	14	45,8	42,271	0,690	0,925	0,040	0,000	11,673	33,8	33,400
27.03.2012	13:00:20	0	15,3	55,3	45,486	0,694	0,931	0,043	0,000	12,561	33,8	33,400
27.03.2012	14:00:20	0	15,1	67,6	48,304	0,617	0,826	0,048	0,000	13,339	33,8	33,400
27.03.2012	15:00:20	0	15,5	71,5	48,988	0,180	0,241	0,052	0,000	13,528	33,8	33,400
27.03.2012	16:00:20	0	14,4	31,5	48,789	0,157	0,000	0,055	0,000	13,473	33,8	33,400
27.03.2012	17:00:20	0	14,1	24,8	48,589	0,100	0,000	0,055	0,000	13,418	33,8	33,400
27.03.2012	18:00:20	0	13,8	19,9	48,390	0,016	0,000	0,055	0,000	13,362	33,8	33,400
27.03.2012	19:00:20	0	13,1	14,7	48,187	0,000	0,000	0,056	0,000	13,306	33,8	33,400
27.03.2012	20:00:20	0	12,6	11,4	47,982	0,000	0,000	0,056	0,000	13,250	33,8	33,400
27.03.2012	21:00:20	0	12,6	10,7	47,779	0,000	0,000	0,056	0,000	13,194	33,8	33,400
27.03.2012	22:00:20	0	12,6	11	47,577	0,000	0,000	0,056	0,000	13,138	33,8	33,400
27.03.2012	23:00:20	1	12,9	11,3	46,653	0,000	0,000	0,055	0,200	12,883	34	33,600
28.03.2012	00:00:20	1	12,9	11,2	45,735	0,000	0,000	0,054	0,200	12,629	34,2	33,800
28.03.2012	01:00:20	1	12,3	11,5	44,819	0,000	0,000	0,053	0,200	12,376	34,4	34,000
28.03.2012	02:00:20	0	11,4	11	44,627	0,000	0,000	0,053	0,000	12,323	34,4	34,000
28.03.2012	03:00:20	0	10,7	10,2	44,432	0,000	0,000	0,054	0,000	12,270	34,4	34,000
28.03.2012	04:00:20	1	10,3	9,7	43,511	0,000	0,000	0,054	0,200	12,015	34,6	34,200
28.03.2012	05:00:20	1	10,1	9,1	42,595	0,000	0,000	0,053	0,200	11,762	34,8	34,400
28.03.2012	06:00:20	1	10	8,4	41,684	0,009	0,000	0,052	0,200	11,511	35	34,600

28.03.2012	07:00:20	0	9,9	8,6	41,501	0,080	0,000	0,050	0,000	11,460	35	34,600
28.03.2012	08:00:20	1	10,7	12,1	40,600	0,214	0,000	0,049	0,200	11,211	35,2	34,800
28.03.2012	09:00:20	1	12,2	24,7	39,712	0,503	0,000	0,045	0,200	10,966	35,4	35,000
28.03.2012	10:00:20	1	13,9	36,6	38,840	0,206	0,000	0,041	0,200	10,725	35,6	35,200
28.03.2012	11:00:20	0	13,6	28,4	38,695	0,273	0,000	0,040	0,000	10,685	35,6	35,200
28.03.2012	12:00:20	0	15,1	32	38,559	0,493	0,000	0,037	0,000	10,648	35,6	35,200
28.03.2012	13:00:20	0	17,3	39	38,437	0,715	0,000	0,034	0,000	10,614	35,6	35,200
28.03.2012	14:00:20	0	18,7	63	41,240	0,601	0,805	0,031	0,000	11,388	35,6	35,200
28.03.2012	15:00:20	0	19,3	69,9	43,368	0,464	0,622	0,035	0,000	11,976	35,6	35,200
28.03.2012	16:00:20	0	18,9	35,5	43,228	0,358	0,000	0,039	0,000	11,937	35,6	35,200
28.03.2012	17:00:20	0	19,4	51,2	43,944	0,176	0,236	0,038	0,000	12,135	35,6	35,200
28.03.2012	18:00:20	0	18,3	34,3	43,796	0,022	0,000	0,041	0,000	12,094	35,6	35,200
28.03.2012	19:00:20	0	15,2	19,3	43,632	0,000	0,000	0,045	0,000	12,049	35,6	35,200
28.03.2012	20:00:20	0	11,7	12,8	43,449	0,000	0,000	0,051	0,000	11,998	35,6	35,200
28.03.2012	21:00:20	0	12,8	10,6	43,273	0,000	0,000	0,049	0,000	11,949	35,6	35,200
28.03.2012	22:00:20	0	12,3	9,4	43,095	0,000	0,000	0,049	0,000	11,900	35,6	35,200
28.03.2012	23:00:20	1	11,3	7,9	42,188	0,000	0,000	0,050	0,200	11,650	35,8	35,400
29.03.2012	00:00:20	1	10,2	8,1	41,280	0,000	0,000	0,051	0,200	11,399	36	35,600
29.03.2012	01:00:20	1	13,2	8,6	40,394	0,000	0,000	0,045	0,200	11,154	36,2	35,800
29.03.2012	02:00:20	1	10,2	7,6	39,496	0,000	0,000	0,048	0,200	10,907	36,4	36,000
29.03.2012	03:00:20	0	10,4	8,2	39,329	0,000	0,000	0,046	0,000	10,860	36,4	36,000
29.03.2012	04:00:20	1	10,4	7,3	38,439	0,000	0,000	0,046	0,200	10,615	36,6	36,200
29.03.2012	05:00:20	1	11,9	7,5	37,562	0,000	0,000	0,042	0,200	10,372	36,8	36,400
29.03.2012	06:00:20	1	12,4	8,6	36,693	0,009	0,000	0,040	0,200	10,132	37	36,600
29.03.2012	07:00:20	1	10,5	9,9	35,818	0,093	0,000	0,042	0,200	9,891	37,2	36,800
29.03.2012	08:00:20	0	13,6	13,3	35,691	0,166	0,000	0,035	0,000	9,856	37,2	36,800
29.03.2012	09:00:20	1	14,3	22,6	34,843	0,482	0,000	0,034	0,200	9,622	37,4	37,000
29.03.2012	10:00:20	1	16	36,3	34,011	0,479	0,000	0,030	0,200	9,392	37,6	37,200
29.03.2012	11:00:20	0	15,2	35,1	33,903	0,645	0,000	0,030	0,000	9,362	37,6	37,200
29.03.2012	12:00:20	0	16	42	37,672	0,798	1,069	0,028	0,000	10,403	37,6	37,200
29.03.2012	13:00:30	0	17,2	78,3	40,156	0,536	0,719	0,032	0,000	11,089	37,6	37,200
29.03.2012	14:00:30	0	15,9	46,9	43,309	0,678	0,909	0,038	0,000	11,959	37,6	37,200
29.03.2012	15:00:30	0	16,5	65,4	44,639	0,306	0,410	0,043	0,000	12,327	37,6	37,200
29.03.2012	16:00:30	0	15,1	46,7	44,973	0,104	0,139	0,047	0,000	12,419	37,6	37,200
29.03.2012	17:00:30	0	12,9	26,1	44,789	0,012	0,000	0,051	0,000	12,368	37,6	37,200
29.03.2012	18:00:30	0	8,4	13,4	44,579	0,004	0,000	0,058	0,000	12,310	37,6	37,200
29.03.2012	19:00:30	0	8,4	7,7	44,372	0,000	0,000	0,057	0,000	12,253	37,6	37,200
29.03.2012	20:00:30	0	5,9	6,5	44,151	0,000	0,000	0,061	0,000	12,192	37,6	37,200
29.03.2012	21:00:30	1	5,5	5,7	43,204	0,000	0,000	0,061	0,200	11,931	37,8	37,400
29.03.2012	22:00:30	1	5,2	5,3	42,262	0,000	0,000	0,060	0,200	11,670	38	37,600
29.03.2012	23:00:30	1	5,1	4,9	41,324	0,000	0,000	0,059	0,200	11,411	38,2	37,800
30.03.2012	00:00:30	1	4,5	4,6	40,388	0,000	0,000	0,058	0,200	11,153	38,4	38,000
30.03.2012	01:00:30	0	5	4,5	40,185	0,000	0,000	0,056	0,000	11,097	38,4	38,000
30.03.2012	02:00:30	1	5,1	4,5	39,259	0,000	0,000	0,056	0,200	10,841	38,6	38,200
30.03.2012	03:00:30	1	5	4,5	38,338	0,000	0,000	0,054	0,200	10,587	38,8	38,400
30.03.2012	04:00:30	1	5	4,5	37,422	0,000	0,000	0,053	0,200	10,334	39	38,600
30.03.2012	05:00:30	1	4,8	4,4	36,510	0,000	0,000	0,052	0,200	10,082	39,2	38,800
30.03.2012	06:00:30	1	4,7	4,1	35,603	0,005	0,000	0,050	0,200	9,832	39,4	39,000
30.03.2012	07:00:30	0	4,6	4,3	35,425	0,040	0,000	0,049	0,000	9,782	39,4	39,000
30.03.2012	08:00:30	0	4,6	5,8	35,248	0,172	0,000	0,049	0,000	9,733	39,4	39,000
30.03.2012	09:00:30	1	7,6	26,9	34,365	0,346	0,000	0,044	0,200	9,490	39,6	39,200
30.03.2012	10:00:30	1	8,1	30,6	33,490	0,362	0,000	0,042	0,200	9,248	39,8	39,400
30.03.2012	11:00:30	1	7,8	33,3	32,618	0,561	0,000	0,041	0,200	9,007	40	39,600

30.03.2012	12:00:30	0	9,8	35,5	34,421	0,399	0,534	0,036	0,000	9,505	40	39,600
30.03.2012	13:00:30	0	9,3	32,2	34,277	0,392	0,000	0,040	0,000	9,465	40	39,600
30.03.2012	14:00:30	0	7,8	34,9	34,125	0,171	0,000	0,042	0,000	9,423	40	39,600
30.03.2012	15:00:30	0	8,7	24,7	33,979	0,069	0,000	0,040	0,000	9,383	40	39,600
30.03.2012	16:00:30	0	8,3	17,1	33,831	0,046	0,000	0,041	0,000	9,342	40	39,600
30.03.2012	17:00:30	0	8,8	12,9	33,687	0,014	0,000	0,040	0,000	9,303	40	39,600
30.03.2012	18:00:30	0	7,9	9	33,539	0,003	0,000	0,041	0,000	9,262	40	39,600
30.03.2012	19:00:30	0	7,8	7,7	33,391	0,000	0,000	0,041	0,000	9,221	40	39,600
30.03.2012	20:00:30	0	7,7	6,8	33,244	0,000	0,000	0,041	0,000	9,180	40	39,600
30.03.2012	21:00:30	0	7,8	6,4	33,097	0,000	0,000	0,040	0,000	9,140	40	39,600
30.03.2012	22:00:30	0	6,7	6,3	32,946	0,000	0,000	0,042	0,000	9,098	40	39,600
30.03.2012	23:00:30	1	7,6	5,9	32,076	0,000	0,000	0,040	0,200	8,858	40,2	39,800
31.03.2012	00:00:30	1	7,7	6,4	31,212	0,000	0,000	0,039	0,200	8,619	40,4	40,000
31.03.2012	01:00:30	1	8	6,5	30,354	0,000	0,000	0,037	0,200	8,382	40,6	40,200
31.03.2012	02:00:30	0	8,1	6,8	30,226	0,000	0,000	0,035	0,000	8,347	40,6	40,200
31.03.2012	03:00:30	0	8,4	7,4	30,101	0,000	0,000	0,035	0,000	8,312	40,6	40,200
31.03.2012	04:00:30	1	7,8	7,8	29,248	0,000	0,000	0,035	0,200	8,077	40,8	40,400
31.03.2012	05:00:30	1	7,6	7,6	28,400	0,000	0,000	0,034	0,200	7,842	41	40,600
31.03.2012	06:00:30	1	7,9	7,4	27,558	0,012	0,000	0,033	0,200	7,610	41,2	40,800
31.03.2012	07:00:30	0	8,4	7,9	27,448	0,086	0,000	0,030	0,000	7,579	41,2	40,800
31.03.2012	08:00:30	0	9,4	11,3	27,344	0,097	0,000	0,029	0,000	7,551	41,2	40,800
31.03.2012	09:00:30	1	9,7	13,2	26,518	0,349	0,000	0,028	0,200	7,323	41,4	41,000
31.03.2012	10:00:30	1	11	36,6	28,665	0,610	0,818	0,025	0,200	7,916	41,6	41,200
31.03.2012	11:00:30	1	11,2	35,6	31,215	0,695	0,932	0,028	0,200	8,620	41,8	41,400
31.03.2012	12:00:30	0	11,6	37,4	33,464	0,487	0,652	0,031	0,000	9,241	41,8	41,400
31.03.2012	13:00:30	0	12,4	33,2	33,343	0,605	0,000	0,033	0,000	9,207	41,8	41,400
31.03.2012	14:00:30	0	12,9	38,2	36,084	0,589	0,789	0,032	0,000	9,964	41,8	41,400
31.03.2012	15:00:30	0	13	39	38,448	0,515	0,690	0,037	0,000	10,617	41,8	41,400
31.03.2012	16:00:30	0	12,8	34,3	38,301	0,293	0,000	0,041	0,000	10,577	41,8	41,400
31.03.2012	17:00:30	0	12,1	30,9	38,151	0,070	0,000	0,042	0,000	10,535	41,8	41,400
31.03.2012	18:00:30	0	10,2	17,3	37,990	0,008	0,000	0,044	0,000	10,491	41,8	41,400
31.03.2012	19:00:30	0	9,1	10,2	37,824	0,000	0,000	0,046	0,000	10,445	41,8	41,400
31.03.2012	20:00:30	0	9,2	7,9	37,659	0,000	0,000	0,045	0,000	10,399	41,8	41,400
31.03.2012	21:00:30	0	9,4	8,3	37,497	0,000	0,000	0,045	0,000	10,355	41,8	41,400
31.03.2012	22:00:30	0	1,6	4,1	37,291	0,000	0,000	0,057	0,000	10,298	41,8	41,400
31.03.2012	23:00:30	0	0,6	0,7	37,080	0,000	0,000	0,058	0,000	10,239	41,8	41,400
01.04.2012	00:00:30	0	-0,1	0,1	36,866	0,000	0,000	0,059	0,000	10,180	41,8	41,400
01.04.2012	01:00:30	1	-0,2	-0,1	35,929	0,000	0,000	0,059	0,200	9,922	42	41,600
01.04.2012	02:00:30	1	-0,9	-0,1	34,993	0,000	0,000	0,058	0,200	9,663	42,2	41,800
01.04.2012	03:00:30	1	-0,9	-0,5	34,063	0,000	0,000	0,057	0,200	9,406	42,4	42,000
01.04.2012	04:00:30	1	-1,2	-0,8	33,136	0,000	0,000	0,056	0,200	9,150	42,6	42,200
01.04.2012	05:00:30	1	-0,8	-1,1	32,217	0,000	0,000	0,054	0,200	8,896	42,8	42,400
01.04.2012	06:00:30	1	-1,4	-1,6	31,299	0,004	0,000	0,053	0,200	8,643	43	42,600
01.04.2012	07:00:30	1	-1	-2,2	30,389	0,016	0,000	0,051	0,200	8,392	43,2	42,800
01.04.2012	08:00:30	1	-0,9	-1,5	29,485	0,069	0,000	0,050	0,200	8,142	43,4	43,000
01.04.2012	09:00:30	1	0,4	0,6	28,594	0,258	0,000	0,046	0,200	7,896	43,6	43,200
01.04.2012	10:00:30	1	0,9	4,2	27,711	0,292	0,000	0,044	0,200	7,652	43,8	43,400
01.04.2012	11:00:30	0	0,9	10,8	27,557	0,362	0,000	0,043	0,000	7,610	43,8	43,400
01.04.2012	12:00:30	0	1,5	20,9	27,407	0,339	0,000	0,041	0,000	7,568	43,8	43,400
01.04.2012	13:00:30	1	2,8	26,5	26,541	0,345	0,000	0,039	0,200	7,329	44	43,600
01.04.2012	14:00:30	0	4	33,7	27,544	0,233	0,313	0,036	0,000	7,606	44	43,600
01.04.2012	15:00:30	0	3,8	25,6	27,407	0,334	0,000	0,038	0,000	7,568	44	43,600
01.04.2012	16:00:30	0	5,1	29,1	27,279	0,259	0,000	0,035	0,000	7,533	44	43,600

01.04.2012	17:00:30	0	5,2	21,3	27,152	0,176	0,000	0,035	0,000	7,498	44	43,600
01.04.2012	18:00:30	0	4,8	16,5	27,024	0,028	0,000	0,035	0,000	7,462	44	43,600
01.04.2012	19:00:30	0	1,9	6,1	26,879	0,000	0,000	0,040	0,000	7,423	44	43,600
01.04.2012	20:00:30	0	-1	-0,1	26,719	0,000	0,000	0,044	0,000	7,378	44	43,600
01.04.2012	21:00:30	1	-1,8	-3,1	25,831	0,000	0,000	0,045	0,200	7,133	44,2	43,800
01.04.2012	22:00:30	1	-1,9	-4,1	24,947	0,000	0,000	0,044	0,200	6,889	44,4	44,000
01.04.2012	23:00:30	1	-1,6	-4,2	24,795	0,000	0,000	0,042	0,000	6,847	44,6	44,000
02.04.2012	00:00:40	1	-2,5	-4,7	24,638	0,000	0,000	0,043	0,000	6,804	44,8	44,000
02.04.2012	01:00:40	1	-1,6	-4,5	24,487	0,000	0,000	0,042	0,000	6,762	45	44,000
02.04.2012	02:00:40	1	-1,4	-4,9	24,338	0,000	0,000	0,041	0,000	6,721	45,2	44,000
02.04.2012	03:00:40	1	-3,1	-5,6	24,181	0,000	0,000	0,044	0,000	6,677	45,4	44,000
02.04.2012	04:00:40	1	-2,8	-5	24,026	0,000	0,000	0,043	0,000	6,635	45,6	44,000
02.04.2012	05:00:40	1	-3,4	-5,7	23,868	0,000	0,000	0,044	0,000	6,591	45,8	44,000
02.04.2012	06:00:40	1	-3,5	-5,9	23,711	0,016	0,000	0,043	0,000	6,548	46	44,000
02.04.2012	07:00:40	1	-1,1	-4,9	23,568	0,113	0,000	0,039	0,000	6,508	46,2	44,000
02.04.2012	08:00:40	1	4,7	1,8	23,460	0,213	0,000	0,030	0,000	6,478	46,4	44,000
02.04.2012	09:00:40	1	7,8	13	23,370	0,535	0,000	0,025	0,000	6,453	46,6	44,000
02.04.2012	10:00:40	0	10,4	36,2	26,585	0,678	0,908	0,021	0,000	7,341	46,6	44,000
02.04.2012	11:00:40	0	13,2	38,3	30,234	0,768	1,029	0,021	0,000	8,349	46,6	44,000
02.04.2012	12:00:40	0	14,3	45,8	34,004	0,796	1,066	0,025	0,000	9,390	46,6	44,000
02.04.2012	13:00:40	0	15,9	64,8	37,665	0,776	1,040	0,029	0,000	10,401	46,6	44,000
02.04.2012	14:00:40	0	16	76,2	40,652	0,641	0,859	0,034	0,000	11,226	46,6	44,000
02.04.2012	15:00:40	0	17	55,4	43,092	0,531	0,711	0,038	0,000	11,899	46,6	44,000
02.04.2012	16:00:50	0	17,9	39,5	42,947	0,325	0,000	0,040	0,000	11,859	46,6	44,000
02.04.2012	17:00:50	0	17,3	33,3	42,800	0,211	0,000	0,041	0,000	11,819	46,6	44,000
02.04.2012	18:00:50	0	15,9	32,9	42,645	0,025	0,000	0,043	0,000	11,776	46,6	44,000
02.04.2012	19:00:50	0	11,4	16,9	42,465	0,000	0,000	0,050	0,000	11,727	46,6	44,000
02.04.2012	20:00:50	0	7,3	9,2	42,263	0,000	0,000	0,056	0,000	11,671	46,6	44,000
02.04.2012	21:00:50	0	5,4	4,7	42,052	0,000	0,000	0,058	0,000	11,612	46,6	44,000
02.04.2012	22:00:50	0	3,8	2,6	41,832	0,000	0,000	0,061	0,000	11,552	46,6	44,000
02.04.2012	23:00:50	0	2,4	1,1	41,605	0,000	0,000	0,063	0,000	11,489	46,6	44,000
03.04.2012	00:00:00	0	1,8	0,3	41,377	0,000	0,000	0,063	0,000	11,426	46,6	44,000
03.04.2012	01:00:50	1	1,2	-0,5	40,421	0,000	0,000	0,064	0,200	11,162	46,8	44,200
03.04.2012	02:00:50	1	0,3	-1,3	39,467	0,000	0,000	0,064	0,200	10,898	47	44,400
03.04.2012	03:00:50	1	0,2	-1,6	38,517	0,000	0,000	0,062	0,200	10,636	47,2	44,600
03.04.2012	04:00:50	1	0,1	-1,8	37,572	0,000	0,000	0,061	0,200	10,375	47,4	44,800
03.04.2012	05:00:50	1	-0,3	-1,9	36,630	0,000	0,000	0,060	0,200	10,115	47,6	45,000
03.04.2012	06:00:50	1	0,5	-1	35,698	0,016	0,000	0,057	0,200	9,858	47,8	45,200
03.04.2012	07:00:50	1	-0,1	-1,5	34,768	0,133	0,000	0,057	0,200	9,601	48	45,400
03.04.2012	08:00:50	1	4	3,3	33,867	0,172	0,000	0,049	0,200	9,352	48,2	45,600
03.04.2012	09:00:50	1	6,1	11,4	32,983	0,525	0,000	0,044	0,200	9,108	48,4	45,800
03.04.2012	10:00:50	1	13	36,3	35,468	0,685	0,918	0,032	0,200	9,794	48,6	46,000
03.04.2012	11:00:50	0	17,3	41,7	37,303	0,400	0,536	0,029	0,000	10,301	48,6	46,000
03.04.2012	12:00:50	0	17,6	38,9	37,190	0,401	0,000	0,031	0,000	10,270	48,6	46,000
03.04.2012	13:00:50	0	18,2	33,5	37,081	0,214	0,000	0,030	0,000	10,240	48,6	46,000
03.04.2012	14:00:50	0	15,2	30,1	36,955	0,256	0,000	0,035	0,000	10,205	48,6	46,000
03.04.2012	15:00:50	0	15,4	30,3	36,831	0,253	0,000	0,034	0,000	10,171	48,6	46,000
03.04.2012	16:00:50	0	15,7	32,2	36,710	0,165	0,000	0,034	0,000	10,137	48,6	46,000
03.04.2012	17:00:50	0	16,3	27,3	36,592	0,143	0,000	0,032	0,000	10,105	48,6	46,000
03.04.2012	18:00:50	0	16,2	24,7	36,475	0,026	0,000	0,032	0,000	10,072	48,6	46,000
03.04.2012	19:00:50	0	10,2	16,2	36,324	0,000	0,000	0,042	0,000	10,031	48,6	46,000
03.04.2012	20:00:50	0	8,3	9,7	36,163	0,000	0,000	0,044	0,000	9,986	48,6	46,000
03.04.2012	21:00:50	0	6,1	6,2	35,990	0,000	0,000	0,048	0,000	9,938	48,6	46,000

03.04.2012	22:00:50	0	5,9	4,6	35,818	0,000	0,000	0,048	0,000	9,891	48,6	46,000
03.04.2012	23:00:50	1	5	3,3	34,916	0,000	0,000	0,049	0,200	9,642	48,8	46,200
04.04.2012	00:00:50	1	4,6	2,4	34,018	0,000	0,000	0,048	0,200	9,394	49	46,400
04.04.2012	01:00:50	1	5,4	2,7	33,129	0,000	0,000	0,045	0,200	9,148	49,2	46,600
04.04.2012	02:00:50	1	6,7	4	32,253	0,000	0,000	0,042	0,200	8,906	49,4	46,800
04.04.2012	03:00:50	1	9,5	5,4	31,398	0,000	0,000	0,036	0,200	8,670	49,6	47,000
04.04.2012	04:00:50	0	8,7	6	31,268	0,000	0,000	0,036	0,000	8,634	49,6	47,000
04.04.2012	05:00:50	0	5,2	4,6	31,118	0,000	0,000	0,041	0,000	8,593	49,6	47,000
04.04.2012	06:00:50	1	5	2,9	30,243	0,033	0,000	0,041	0,200	8,351	49,8	47,200
04.04.2012	07:00:50	1	9,1	5,3	29,398	0,088	0,000	0,034	0,200	8,118	50	47,400
04.04.2012	08:00:50	1	10,5	11,5	28,565	0,235	0,000	0,030	0,200	7,888	50,2	47,600
04.04.2012	09:00:50	1	13,6	25,3	27,755	0,527	0,000	0,024	0,200	7,664	50,4	47,800
04.04.2012	10:00:50	0	15,9	36,5	30,944	0,671	0,900	0,019	0,000	8,545	50,4	47,800
04.04.2012	11:00:50	0	19	41,5	34,579	0,763	1,023	0,019	0,000	9,549	50,4	47,800
04.04.2012	12:00:50	0	20,7	59,6	38,420	0,808	1,083	0,022	0,000	10,609	50,4	47,800
04.04.2012	13:00:50	0	20	88,1	40,429	0,436	0,584	0,029	0,000	11,164	50,4	47,800
04.04.2012	14:00:50	0	19,8	71,9	40,959	0,134	0,179	0,033	0,000	11,311	50,4	47,800
04.04.2012	15:00:50	0	17,8	29,4	40,826	0,287	0,000	0,037	0,000	11,274	50,4	47,800
04.04.2012	16:00:50	0	19,1	34,3	40,701	0,083	0,000	0,034	0,000	11,239	50,4	47,800
04.04.2012	17:00:50	0	17,3	26,1	40,567	0,108	0,000	0,037	0,000	11,202	50,4	47,800
04.04.2012	18:00:50	0	17	25,7	40,431	0,032	0,000	0,037	0,000	11,165	50,4	47,800
04.04.2012	19:00:50	0	13,4	18,2	40,276	0,000	0,000	0,043	0,000	11,122	50,4	47,800
04.04.2012	20:00:50	0	12,4	13,6	40,116	0,000	0,000	0,044	0,000	11,078	50,4	47,800
04.04.2012	21:00:50	0	13	12,7	39,960	0,000	0,000	0,043	0,000	11,035	50,4	47,800
04.04.2012	22:00:50	0	10,1	10,3	39,788	0,000	0,000	0,047	0,000	10,987	50,4	47,800
04.04.2012	23:00:50	0	8,6	8,4	39,609	0,000	0,000	0,049	0,000	10,938	50,4	47,800
05.04.2012	00:00:50	1	7,7	6,5	38,702	0,000	0,000	0,051	0,200	10,687	50,6	48,000
05.04.2012	01:00:50	1	7,6	6,1	37,799	0,000	0,000	0,049	0,200	10,438	50,8	48,200
05.04.2012	02:00:50	1	6	5,2	36,892	0,000	0,000	0,050	0,200	10,187	51	48,400
05.04.2012	03:00:50	1	6,5	4,5	35,993	0,000	0,000	0,048	0,200	9,939	51,2	48,600
05.04.2012	04:00:50	0	5,1	3,7	35,815	0,000	0,000	0,049	0,000	9,890	51,2	48,600
05.04.2012	05:00:50	1	4,6	3,4	34,912	0,000	0,000	0,050	0,200	9,641	51,4	48,800
05.04.2012	06:00:50	1	4,1	2,7	34,010	0,022	0,000	0,049	0,200	9,392	51,6	49,000
05.04.2012	07:00:50	1	4,3	2,8	33,115	0,137	0,000	0,047	0,200	9,145	51,8	49,200
05.04.2012	08:00:50	1	8,1	8,4	32,247	0,235	0,000	0,040	0,200	8,905	52	49,400
05.04.2012	09:00:50	1	10,1	17	31,396	0,502	0,000	0,035	0,200	8,670	52,2	49,600
05.04.2012	10:00:50	0	14,7	35,3	34,358	0,630	0,844	0,026	0,000	9,488	52,2	49,600
05.04.2012	11:00:50	0	17,4	40,3	36,785	0,520	0,697	0,027	0,000	10,158	52,2	49,600
05.04.2012	12:00:50	0	17,1	39,4	39,830	0,651	0,872	0,031	0,000	10,999	52,2	49,600
05.04.2012	13:00:50	0	18,6	44	40,563	0,176	0,236	0,034	0,000	11,201	52,2	49,600
05.04.2012	14:00:10	0	15,9	31,7	40,422	0,284	0,000	0,039	0,000	11,162	52,2	49,600
05.04.2012	15:00:10	0	16,7	32,8	40,285	0,041	0,000	0,038	0,000	11,125	52,2	49,600
05.04.2012	16:00:10	0	13,1	26,1	40,129	0,089	0,000	0,043	0,000	11,081	52,2	49,600
05.04.2012	17:00:10	0	12,9	24	39,973	0,013	0,000	0,043	0,000	11,038	52,2	49,600
05.04.2012	18:00:10	0	10,8	14	39,805	0,012	0,000	0,046	0,000	10,992	52,2	49,600
05.04.2012	19:00:10	0	10,6	12,5	39,637	0,000	0,000	0,046	0,000	10,946	52,2	49,600
05.04.2012	20:00:10	0	9,4	10,1	39,464	0,000	0,000	0,048	0,000	10,898	52,2	49,600
05.04.2012	21:00:10	1	9,1	9,1	38,565	0,000	0,000	0,048	0,200	10,649	52,4	49,800
05.04.2012	22:00:10	1	8,9	9,4	37,670	0,000	0,000	0,047	0,200	10,402	52,6	50,000
05.04.2012	23:00:10	1	8,6	9,2	36,779	0,000	0,000	0,046	0,200	10,156	52,8	50,200
06.04.2012	00:00:10	0	8,3	8,8	36,615	0,000	0,000	0,045	0,000	10,111	52,8	50,200
06.04.2012	01:00:10	0	7,1	8,1	36,446	0,000	0,000	0,047	0,000	10,064	52,8	50,200
06.04.2012	02:00:10	1	6,9	7,6	35,552	0,000	0,000	0,047	0,200	9,817	53	50,400

06.04.2012	03:00:10	1	6,8	7,6	34,662	0,000	0,000	0,046	0,200	9,572	53,2	50,600
06.04.2012	04:00:10	1	6,1	7,2	33,774	0,000	0,000	0,045	0,200	9,326	53,4	50,800
06.04.2012	05:00:10	0	5,7	6,6	33,612	0,000	0,000	0,045	0,000	9,282	53,4	50,800
06.04.2012	06:00:10	1	5,8	6,4	32,728	0,015	0,000	0,044	0,200	9,038	53,6	51,000
06.04.2012	07:00:10	1	5,8	6,6	31,849	0,022	0,000	0,043	0,200	8,795	53,8	51,200
06.04.2012	08:00:10	1	5,6	7,5	30,974	0,065	0,000	0,042	0,200	8,553	54	51,400
06.04.2012	09:00:10	1	6,2	9,6	30,108	0,097	0,000	0,039	0,200	8,314	54,2	51,600
06.04.2012	10:00:10	0	6,3	12,7	29,971	0,057	0,000	0,038	0,000	8,276	54,2	51,600
06.04.2012	11:00:10	1	6,4	11,2	29,111	0,055	0,000	0,037	0,200	8,039	54,4	51,800
06.04.2012	12:00:10	1	6,5	10,8	28,257	0,078	0,000	0,036	0,200	7,803	54,6	52,000
06.04.2012	13:00:00	1	6,8	11,1	27,409	0,170	0,000	0,034	0,200	7,569	54,8	52,200
06.04.2012	14:00:00	0	8	15,6	27,298	0,086	0,000	0,031	0,000	7,538	54,8	52,200
06.04.2012	15:00:00	0	8,4	15,5	27,189	0,073	0,000	0,030	0,000	7,508	54,8	52,200
06.04.2012	16:00:00	1	8,3	12,8	26,357	0,060	0,000	0,030	0,200	7,278	55	52,400
06.04.2012	17:00:00	1	7,8	12,8	25,526	0,049	0,000	0,029	0,200	7,049	55,2	52,600
06.04.2012	18:00:00	0	8,3	12,8	25,427	0,021	0,000	0,027	0,000	7,021	55,2	52,600
06.04.2012	19:00:00	0	7,9	10,8	25,326	0,000	0,000	0,028	0,000	6,994	55,2	52,600
06.04.2012	20:00:00	0	6,7	7,4	25,219	0,000	0,000	0,030	0,000	6,964	55,2	52,600
06.04.2012	21:00:00	1	6,5	6,6	24,387	0,000	0,000	0,030	0,200	6,734	55,4	52,800
06.04.2012	22:00:00	1	6,4	6,5	24,284	0,000	0,000	0,029	0,000	6,706	55,6	52,800
06.04.2012	23:00:00	0	6	6,2	24,179	0,000	0,000	0,029	0,000	6,677	55,6	52,800