



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Einfluss von schwarzen Hagelnetzen
auf das Mikroklima in einer Südtiroler Apfelanlage

angestrebter akademischer Grad

Magister/Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser:	Cecylia Faltis
Matrikel-Nummer:	0102146
Studienrichtung (lt. Studienblatt):	Ökologie
Betreuerin / Betreuer:	Ao. Univ.- Prof. Dr. Rudolf Maier

Wien, am 28.10.2008

EIN HERZLICHES DANKESCHÖN!

All jenen, die zur Entstehung meiner Diplomarbeit beigetragen haben, möchte ich meinen herzlichen Dank aussprechen.

Herrn Ao. Univ.-Prof. Dr. Rudolf MAIER gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Diplomarbeitsthemas und die Unterstützung bis zu ihrer Fertigstellung.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei Herrn Ao. Univ.-Prof. Dr. Robert KARTUSCH für seine Unterstützung bei Strahlungsmessungen und für die ideenreichen Ratschläge.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Ass.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ bedanken, der mir während der Diplomarbeit immer wieder mit fachlichen Anregungen beiseite gestanden ist.

Aufrichtiger Dank gilt Herrn Univ.-Ass. Dr. Gerhard BACHMANN, für seine allzeit hilfsbereite und freundliche Unterstützung, alle auftretende Probleme und Fragen lösen zu helfen.

Herrn Dr. Alexander SEIDEL danke ich herzlichst für die Unterstützung und fachliche Beratung bei Formatierung und EDV-Angelegenheiten.

Danke sage ich auch meinem Schwager Mag. Johann GEYER für seine Hilfsbereitschaft und seine fachliche Kompetenz im Bereich Statistik.

Schließlich gilt mein besonderer Dank noch meinen Eltern, die mich während meines Studiums so weit wie möglich unterstützt haben und natürlich meinen Mann, der mir in schwierigeren Zeiten beiseite gestanden ist.

HERZLICHEN DANK!

INHALTSVERZEIHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Obstbau in Südtirol	1
1.2	Die Hagelgefahr in Südtirol	2
1.3	Entstehung und Natur des Hagels	2
1.4	Auswirkungen von Hagelschlag auf die Landwirtschaft	3
1.5	Die aktive und passive Hagelbekämpfung	3
1.5.1	Aktive Hagelbekämpfung	3
1.5.2	Passive Hagelbekämpfung	5
1.5.2.1	Hagelschutznetze	5
1.5.2.2	Hagelversicherung	6
1.6	Hagelgebiete im Alpenraum	7
2	MATERIAL UND METHODIK	8
2.1	Versuchsansatz und Beschreibung des Untersuchungsgebietes	8
2.2	Beschreibung der Messparameter und der Messgeräte	9
2.2.1	Sonnenstrahlung	9
2.2.2	Luft- und Bodentemperatur	12
2.2.3	Relative Luftfeuchte	14
2.3	Beschreibung der verwendeten statistischen Programmen und Ordnungsverfahren (multivariate Statistik)	15
2.3.1	Deskriptive Statistik	15
2.3.2	Die Hauptkomponentenanalyse	16
2.4	Die jahres- und tageszeitliche Unterteilung der Messwerte	16
3	FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG	18
4	ERGEBNISSE	19
4.1	Hauptkomponentenanalyse für das Jahr 2002	19
4.1.1	Varianzanalyse der Hauptkomponenten im Jahr 2002	22
4.1.2	Jahreszeitliche Veränderung der Hauptkomponen-Ten Strahlung, Temperatur und relativer Luftfeuchte an den Standorten mit und ohne Hagelnetz	25
4.1.3	Tageszeitliche Veränderung der Hauptkomponenten Strahlung, Temperatur und relativer Luftfeuchte an den Standorten mit und ohne Hagelnetz	28
4.2	Komponentenanalyse nach Jahreszeiten	30
4.2.1	Frühling	30

4.2.1.1	Hauptkomponentenanalyse für die Jahreszeit Frühling (08.05 - 20.06)	30
4.2.1.1.1	Hauptkomponente Strahlung	32
4.2.1.1.2	Hauptkomponenten Temperatur	35
4.2.1.1.3	Hauptkomponenten- bzw. Detailanalyse der relativen Luftfeuchte	38
4.2.1.2	Detailanalyse der mikroklimatischen Parameter im Frühling	40
4.2.1.2.1	Detailanalyse der Strahlungsparameter	40
4.2.1.2.1.1	Tagesgang der Strahlungsparameter im Frühling	44
4.2.1.3	Detailanalyse der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Frühling	45
4.2.1.3.1	Verteilung der Temperaturwerte zu den Tageszeiten im Frühling	46
4.2.1.3.2	Tagesgang der Temperatur der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Frühling	48
4.2.2	Sommer	50
4.2.2.1	Hauptkomponentenanalyse für die Jahreszeit Sommer (21.06 – 22.09)	50
4.2.2.1.1	Hauptkomponente Strahlung	51
4.2.2.1.2	Hauptkomponente Temperatur	54
4.2.2.1.3	Hauptkomponenten- bzw. Detailanalyse der relativen Luftfeuchte im Sommer	57
4.2.2.2	Detailanalyse der Strahlungsparameter im Sommer	60
4.2.2.2.1	Tagesgang der Strahlungsparameter im Sommer	65
4.2.2.3	Detailanalyse der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Sommer	66
4.2.2.3.1	Verteilung der Temperaturwerte zu den Tageszeiten im Sommer	67
4.2.2.3.2	Tagesgang der Temperatur der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Sommer	70
4.2.3	Herbst	71
4.2.3.1	Hauptkomponentenanalyse für die Jahreszeit Herbst (23.09 – 30.10)	71
4.2.3.1.1	Hauptkomponente Strahlung	73
4.2.3.1.2	Hauptkomponente Temperatur	76
4.2.3.1.3	Hauptkomponenten- bzw. Detailanalyse der relativen Luftfeuchte	78
4.2.3.2	Detailanalyse der mikroklimatischen Parameter im Herbst	80
4.2.3.2.1	Detailanalyse der Strahlungsparameter	80
4.2.3.2.1.1	Tagesgang der Strahlungsparameter im Herbst	84
4.2.3.3	Detailanalyse der Luft- und Bodentemperaturen in 1 und 10 cm Tiefe im Herbst	85
4.2.3.3.1	Verteilung der Temperaturwerte zu den Tageszeiten im Herbst	86

4.2.3.3.2	Tagesgang der Temperatur der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Herbst	88
4.3	Analyse der Strahlungsintensitätsklassen von Globalstrahlung, Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und Strahlung am Boden	89
4.3.1	Frühling	90
4.3.1.1	Die Analyse der Intensitätsklassen der Hauptkomponente Strahlung im Frühling (8.05 - 20.06)	90
4.3.1.2	Detailanalyse der Intensitätsklassen der Globalstrahlung, der Strahlung im Bestand und der Strahlung am Boden im Frühling	93
4.3.2	Sommer	94
4.3.2.1	Die Analyse der Intensitätsklassen der Hauptkomponente Strahlung im Sommer (21.06 – 22.09)	94
4.3.2.2	Die Detailanalyse der Intensitätsklassen der Globalstrahlung, der Strahlung im Bestand und der Strahlung am Boden im Sommer	97
4.3.3	Herbst	99
4.3.3.1	Die Analyse der Intensitätsklassen der Hauptkomponente Strahlung im Herbst (23.09 – 30.10)	99
4.3.3.2	Die Detailanalyse der Intensitätsklassen der Globalstrahlung, der Strahlung im Bestand und der Strahlung am Boden im Herbst	101
4.4	Schwächung der Strahlung durch das schwarze Hagelnetz in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Sonne	103
4.4.1	Messungen im Freiland	103
4.4.2	Messungen mit einer künstlichen Strahlungsquelle im Labor	105
4.5	Kurzdarstellung der Bestandesstrahlung in Apfelzeile mit und ohne Hagelnetz	107
4.6	Summenwerte der Strahlung	108
5	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	109
6	ZUSAMMENFASSUNG	118
7	LITERATURVERZEIHNIS	121

ABBILDUNGSVERZEIHNIS

Abbildung 1: Die Baumreihen der Apfelbäume mit einer Hagelnetzabdeckung im Südtirol.	5
Abbildung 2: Strahlungsbilanzmesser (links) und Doppelpyranometer (rechts).....	12
Abbildung 3: Platinwiderstandsthermometer.....	14
Abbildung 4: Tagesgang der Globalstrahlung im Jahr 2002. (Die Datenpunkte sind über die Vegetationsperiode von Mai bis Oktober gemittelte Stundenmittelwerte).	17
Abbildung 5: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten für das Jahr 2002. 1. Strahlung: Globalstrahlung (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk) 2. Temperatur: Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1, 10, 30 cm Tiefe (BT1, BT10, BT30). 3. Relative Luftfeuchte (LF). (Erklärung im Text).	20
Abbildung 6: Jahreszeitliche Unterteilung des gesamten Datensatzes auf einer PCA-Unterlage (Erklärung im Text).	20
Abbildung 7: Tag-Nacht Verteilung der Messparameter auf einer PCA-Unterlage für das gesamte Jahr 2002. (Erklärung im Text).	21
Abbildung 8: Zusammenhang zwischen den Jahreszeiten: Frühling, Sommer, Herbst und den Standorten (mit Hagelnetz = blau, Kontrolle ohne Hagelnetz = rot) von Hauptkomponente Strahlung.....	26
Abbildung 9: Zusammenhang zwischen den Jahreszeiten: Frühling, Sommer, Herbst und den Standorten (mit Hagelnetz = blau, Kontrolle ohne Hagelnetz = rot) von Hauptkomponente Temperatur.....	26
Abbildung 10: Zusammenhang zwischen den Jahreszeiten: Frühling, Sommer, Herbst und den Standorten (mit Hagelnetz = blau, Kontrolle ohne Hagelnetz = rot) von relative Luftfeuchte.....	27
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen den Tageszeiten und den Standorten (mit Hagelnetz = blau, ohne Hagelnetz = rot) der Hauptkomponente Strahlung.	28
Abbildung 12: Zusammenhang zwischen den Tageszeiten und den Standorten (mit Hagelnetz = blau, ohne Hagelnetz = rot) der Hauptkomponente Temperatur.	29
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen den Tageszeiten und den Standorten (mit Hagelnetz = blau, ohne Hagelnetz = rot) der Hauptkomponente relative Luftfeuchte.	29
Abbildung 14: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten im Frühling. 1. Strahlung: Global (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und kurzwellige	

Strahlungsbilanz (Sk) 2. Temperatur: Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1, 10, 30 cm Tiefe (BT1, BT10, BT30), 3. Relative Luftfeuchte (LF) (Erklärung im Text).....	31
Abbildung 15: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Strahlung (W/m ²) am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.	32
Abbildung 16: Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Frühling vom 08.05. – 20.06.).....	34
Abbildung 17: Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung (W/m ²) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling (8.05 – 20.06).....	34
Abbildung 18: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Temperatur (°C) in der Nacht, am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (n = Anzahl der Fälle), dargestellt für die Zeitperiode Frühling.	35
Abbildung 19: Tagesgang der Hauptkomponente Temperatur an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Frühling (08.05. – 20.06.) gemittelte Stundenmittelwerte.	36
Abbildung 20: Boxplot-Darstellung: Verteilung der relativen Luftfeuchte (%) über die Tageszeiten an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.	38
Abbildung 21: Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Frühling. Die Datenpunkte sind über den Frühling gemittelte Stundenmittelwerte.	39
Abbildung 22: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter (W/m ²) über eine Tagesperiode von 7.00 - 19.00 Uhr an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.....	41
Abbildung 23: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter Global, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzweilige Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz, an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.	42
Abbildung 24: Tagesgang von Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzweiliger Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit (blau) und ohne Hagelnetz (rot). Datenpunkte sind über den Frühling (08.05. – 20.06.) gemittelte Stundenmittelwerte.	44

Abbildung 25: Mittelwertevergleich der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (B1), in 10 cm (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling 2002.....	46
Abbildung 26: Balkendiagramm-Darstellung der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (B1), in 10 cm (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. (Datenpunkte sind Tageszeitenmittelwerte von Messungen im Frühling vom 08.05. – 20.06.).....	47
Abbildung 27: Tagesgang der über den Frühling (08.05 – 20.06) gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, Bodentemperatur in 1, 10 und 30 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.	48
Abbildung 28: Die über den Frühling gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur von 15.00 bis 19.00 Uhr an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.	49
Abbildung 29: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten für die Jahreszeit Sommer 1. Strahlung; Global (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk), 2. Temperatur; Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1, 10, 30 cm Tiefe (BT1, BT10, BT30), 3. Relative Luftfeuchte (LF). (Erklärung im Text).	50
Abbildung 30: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Anzahl der Fälle).....	52
Abbildung 31: Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Sommer 2002 (21.06. – 22.09.).....	53
Abbildung 32: Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) von 1.08.02 – 13.08.02 an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.....	54
Abbildung 33: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Temperatur ($^{\circ}C$) in der Nacht, am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Anzahl der Fälle).....	55
Abbildung 34: Tagesgang der Hauptkomponente Temperatur an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Sommer (21.06. – 22.09.) gemittelte Stundenmittelwerte.	56
Abbildung 35: Boxplot-Darstellung: Verteilung der relativen Luftfeuchte (%) in der Nacht, am Vormittag, Mittag und Nachmittag der Sommerperiode (21.06. – 22.09.) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.....	58

Abbildung 36: Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Sommer. Die Datenpunkte sind über den Sommer gemittelte Stundenmittelwerte.	59
Abbildung 37: Boxplot-Darstellung der Strahlungsparameter: Globalstrahlung (G), Albedo, kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk), Gesamtstrahlungsbilanz (S), Strahlung am Boden (Sbo) und im Bestand (Sbe) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer.	60
Abbildung 38: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter; Global, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzwellige Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz, an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Vormittags-, Mittags- und Nachmittags-Mittelwerte wurden über die Sommerperiode gemittelt.	62
Abbildung 39: Tagesgang der Strahlungsparameter an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. (Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Sommer von 21.06. - 20.09.).	65
Abbildung 40: Mittelwertevergleich (vom 21.06. – 22.09.) der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1) , im 10 cm (BT10) und 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer 2002.	67
Abbildung 41: Balkendiagramm-Darstellung der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1), in 10 cm (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. (Datenpunkte sind Tageszeitenmittelwerte von Messungen im Sommer vom 21.06. – 22.09.)	68
Abbildung 42: Tagesgang der über den Sommer (21.06 – 22.09) gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, Bodentemperatur in 1, 10 und 30 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.	70
Abbildung 43: Biplot-Darstellung : Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten im Herbst. 1. Strahlung: Globalstrahlung (G), Strahlung im Bestand (Sbe) und Strahlung am Boden (Sbo) 2. Temperatur: Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1 und 10, cm Tiefe (BT1, BT10).	72
Abbildung 44: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.	73
Abbildung 45: Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Herbst vom 23. 09. – 30.10.)	74

Abbildung 46: Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz von 1.10 – 13.10.	75
Abbildung 47: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Temperatur ($^{\circ}C$) in der Nacht, Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (n = Anzahl der Fälle), dargestellt für die Zeitperiode Herbst.	76
Abbildung 48: Tagesgang der Hauptkomponente Temperatur an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Herbst (23. 09. – 30.10.) gemittelte Stundenmittelwerte.	77
Abbildung 49: Boxplot-Darstellung: Verteilung der relativen Luftfeuchte (%) über die Tageszeiten an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.	78
Abbildung 50: Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Die Datenpunkte sind über den Herbst (23. 09. – 30.10.) gemittelte Stundenmittelwerte.	79
Abbildung 51: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter (W/m^2) über eine Tagesperiode von 7.00 - 19.00 Uhr an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.	81
Abbildung 52: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter: Global, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. Vormittags-, Mittags- und Nachmittags-Mittelwerte wurden über den Herbst (23. 09. – 30.10.) gemittelt.	83
Abbildung 53: Tagesgang von Globalstrahlung, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit (blau) und ohne Hagelnetz (rot). Datenpunkte sind über die Herbstperiode (23. 09. – 30.10.) gemittelte Stundenmittelwerte von 7.00 – 19.00 Uhr.	84
Abbildung 54: Mittelwertevergleich der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (B1) und in 10 cm (BT10) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst 2002.	85
Abbildung 55: Balkendiagramm-Darstellung der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1) und in 10 cm (BT10) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (Datenpunkte sind Tageszeitenmittelwerte von Messungen im Herbst (23.09. – 30.10.)).	87
Abbildung 56: Tagesgang der über den Herbst (23.09. – 30.10.) gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, Bodentemperatur in 1 und 10 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.	88

Abbildung 57: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) des Strahlungshauptkomponente (bestehend aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und am Boden) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling (n = Stundenanzahl).	91
Abbildung 58: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling (n = Stundenanzahl).	93
Abbildung 59: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) des Strahlungshauptkomponente (bestehend aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und am Boden) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Stundenanzahl).	95
Abbildung 60: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Stundenanzahl).	97
Abbildung 61: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) des Strahlungshauptkomponente (bestehend aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und am Boden) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst (n = Stundenanzahl).	99
Abbildung 62: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst (n = Stundenanzahl).	101
Abbildung 63: Schwächung der Globalstrahlung (%) im PhAR-Bereich durch das Hagelnetz mit verschieden Einfallswinkel der Sonnenstrahlung bei wolkenlosem Himmel im Freiland.	103
Abbildung 64: Schwächung der Globalstrahlung (W/m^2) im PhAR-Bereich durch das Hagelnetz mit verschieden Einfallswinkel der Sonnenstrahlen im Freiland.	104
Abbildung 65: Schwächung der Strahlung (%) im PhAR-Bereich durch das Hagelnetz mit verschieden Einfallswinkel der Strahlung (Xenonlampe) im Labor.	105
Abbildung 66: Schematische Darstellung eines Einfallswinkels der Sonne auf das Hagelnetz zu verschiedenen Tageszeiten.	106

TABELLENVERZEIHNIS

Tabelle 1: Hauptkomponentenextraktion mit Gesamtvarianz für das Jahr 2002.....	19
Tabelle 2: Varianzanalyse der Hauptkomponente Strahlung (W/m ²) im Jahr 2002.....	22
Tabelle 3: Varianzanalyse der Hauptkomponente Temperatur (°C) im Jahr 2002.....	23
Tabelle 4: Varianzanalyse der Hauptkomponente rel. Luftfeuchte (%) im Jahr 2002.....	23
Tabelle 5: Jahres- und Tageszeiten-Mittelwerte sowie Standortdifferenzen der Hauptkomponenten Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (HN).....	25
Tabelle 6: Hauptkomponentenextraktion mit Gesamtvarianz für Frühling	31
Tabelle 7: Median- und Mittelwerte (W/m ²) sowie die Differenzen (%) der Hauptkomponente Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.	33
Tabelle 8: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur (°C) in den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Frühling.	36
Tabelle 9: Tageszeitenmittelwerte und Medianwerte der Luftfeuchte (%) an den Versuchsflächen.....	38
Tabelle 10: Prozentanteile der gültigen und fehlenden Strahlungswerte im Frühling. (n = Anzahl der Fälle).....	40
Tabelle 11: Median- und Mittelwerte sowie die Standortdifferenzen der Strahlung (%) am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Frühling: Global (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo), kurzweilige Strahlungsbilanz (Sk) und Gesamtstrahlung	41
Tabelle 12: Mittelwerte und Standortdifferenzen [%] der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1 (B1), 10 (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (HN) im Frühling.....	48
Tabelle 13: Hauptkomponentenextraktion mit einer Gesamtvarianz für Sommer (Erklärung im Text).	51
Tabelle 14: Median- und Mittelwerte sowie die Standortdifferenzen der Hauptkomponente....	51
Tabelle 15: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur (°C) in den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Sommer.....	55

Tabelle 16: Tageszeitenmittelwerte und Medianen der Luftfeuchte (%) an den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf höhere Feuchtwerte unter dem Hagelnetz hin.	57
Tabelle 17: Prozentanteile der gültigen und fehlenden Strahlungswerte im Sommer	60
Tabelle 18: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Standortdifferenzen (%) der Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Sommer; Globalstrahlung (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo), kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk) und Gesamtstrahlungsbilanz (S). (Negative Werte weisen auf höhere Strahlung unter dem Hagelnetz hin).....	61
Tabelle 19: Mittelwerte ($^{\circ}C$) und Standortdifferenzen (%) der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1), in 10 cm (BT10) und 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf höhere Temperatur unter dem Hagelnetz hin.	67
Tabelle 20: Hauptkomponentenextraktion mit Gesamtvarianz für Herbst 2002	72
Tabelle 21: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Differenzen (%) der Hauptkomponente Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.	74
Tabelle 22: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur ($^{\circ}C$) in den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Herbst.....	76
Tabelle 23: Tageszeitenmittelwerte und Medianwerte der Luftfeuchte in der Nacht, Vormittag, Mittag, Nachmittag an den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Herbst.....	79
Tabelle 24: Prozentanteile der gültigen und fehlenden Strahlungswerte im Herbst	80
Tabelle 25: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Standortdifferenzen (%) der Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Herbst: Globalstrahlung (G), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und Gesamtstrahlungsbilanz (S). Negative Werte weisen auf höhere Strahlung unter dem Hagelnetz hin.....	82
Tabelle 26: Mittelwerte ($^{\circ}C$) und Standortdifferenzen (%) der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1) und in 10 cm (BT10) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst. Negative Werte weisen auf höhere Temperatur unter dem Hagelnetz hin.	86
Tabelle 27: Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente nach Stundenanzahl (n), definiert zwischen Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort	

auf. ($S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m ² , $500 > S > 100$: kleiner als 500 und größer als 100 W/m ² , $S < 500$: kleiner als 500 W/m ²).....	91
Tabelle 28: Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und der Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. (n = Stundenanzahl, $S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m ² , $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m ² und größer als 100 W/m ² , $S < 500$: kleiner als 500 W/m ²).....	93
Tabelle 29: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente nach Stundenanzahl (n), definiert zwischen Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. ($S \geq 500$: größer als 500 W/m ² , $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m ² und größer als 100 W/m ² , $S < 500$: kleiner als 500 W/m ²).	95
Tabelle 30: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und der Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. ($S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m ² , $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m ² und größer als 100 W/m ² , $S < 500$: kleiner als 500 W/m ²).	97
Tabelle 31: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente nach Stundenanzahl (n), definiert zwischen Vormittag, Mittag, Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. (n = Stundenanzahl, $S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m ² , $500 > S > 100$: Strahlungsintensität kleiner als 500 W/m ² und größer als 100 W/m ² , $S < 500$: Strahlungsintensität kleiner als 500 W/m ²).....	100
Tabelle 32: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und der Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst. ($S \geq 500$: größer als 500 W/m ² , $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m ² und größer als 100 W/m ² , $S < 500$: kleiner als 500 W/m ²).	101
Tabelle 33: Verteilung der Strahlung im Bestand gemessen in 3 m Höhe (Globalstrahlung), 1,5 m Höhe und Strahlung am Boden und Prozent der durchkommenden Strahlen zu verschiedenen Jahreszeiten (G = Globalstrahlung, S _{be} = Strahlung im Bestand, S _{bo} = Strahlung am Boden).....	107
Tabelle 34: Strahlungssummen im Frühling, Sommer und Herbst sowie die, der gesamten Vegetationsperiode im Jahr 2002 an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.	108

1 EINLEITUNG

1.1 OBSTBAU IN SÜDTIROL

Südtirol ist einer der wichtigsten europäischen Apfelanbaugebiete. Die wilden Vorfahren des Apfels stammen aus dem Kaukasus, Turkestan und Kleinasien. In Mitteleuropa beschäftigten sich schon die Kelten und Germanen mit frühen Sorten des keineswegs formenarmen Holzapfels, der als Speise der Götterväter auch Eingang in die nordische Sagenwelt fand. Auf ihren Eroberungszügen brachten die Griechen verschiedenen Obstarten von Persien nach Griechenland. Von dort aus gelangten sie in das heutige Italien. Die Römer verehrten nicht nur Pomona, die Göttin des Obstes, sondern erfanden auch das Veredeln und legten damit den Grundstein für den kultivierten Obstbau. Mit ihren Feldzügen brachten sie die ersten Kulturformen auch auf deutschen Boden. Besondere Bedeutung für den Obstbau hatten im frühen Mittelalter die Klöster und Orden. So wie sie die lateinische Sprache der ehemaligen römischen Besatzer weiter pflegten, übernahmen sie das obstbaukundliche Erbe weiter und entwickelten es zu einer neuen Blüte. Viele Namen alter Obstsorten wie „Ordensbirne“, „Karmeliter Zitronenbirne“, „Klosterapfel“ oder „Paterapfel“ geben davon Zeugnis.

Obstbau hat in Südtirol eine sehr lange Tradition. Die kommerzielle Apfelproduktion fällt aber erst mit der Regulierung der Etsch und mit dem Anschluss Südtirols an das internationale Eisenbahnnetz vor 150 Jahren zusammen. Seither stieg ihre wirtschaftliche Bedeutung stetig an. In den Jahren von 1930 bis 1960 stieg die Südtiroler Apfelernte von ca. 30.000 t auf ca. 260.000 t an. Zunächst wurden nur gut haltbare Sorten wie „Kalterer Böhmer“, „Gravensteiner“, „Goldparmänen“ und „Champagner Reinetten“ angebaut. Dann in den späten 1950er Jahren kamen neue amerikanische Sorten wie „Golden Delicious“, „Jonathan“ und „Morgenduft“ hinzu. Die schnell zunehmende Obstproduktion in Westeuropa führte aber schon bald zu einem massiven Preisverfall. Da es zu dieser Zeit das Anbausystem sehr primitiv- und zeitaufwendig war, hat die Landwirtschaft darunter sehr gelitten. Darauf hin haben sich die Südtiroler Bauern entschieden, das in den Niederlanden so erfolgreich angewandte Anbausystem der schlanken Spindel auf M9 in Dichtpflanzungen anzuwenden. Im Jahre 1968 wurde es erstmals auf einer Fläche von 30 ha angewandt, drei Jahre später bereits auf 180 ha und in den 1990er Jahren wurde eine Fläche von 16000 ha erreicht (GUFLER 1994).

1.2 DIE HAGELGEFAHR IN SÜDTIROL

“Der Hagel gehört - wie die Sonne und der Regen - zum Südtiroler Sommer. Durchschnittlich wurden im Zeitraum 1980 – 2001 jährlich 2.000 – 4.000 Hektar Obst- und Weinbaufläche durch Hagelgewitter beeinträchtigt. Extreme Hagelschäden gab es in den Jahren 1988 und 2001“. Allein im Jahre 2001 waren 6.100 der insgesamt 18.000 ha Obstbau in Südtirol von Hagel betroffen. Der entstandene Schaden wird auf über 40 Millionen Euro geschätzt (LANDESINSTITUT FÜR STATISTIK 2008).

1.3 ENTSTEHUNG UND NATUR DES HAGELS

Das Hagelwetter ist ein Phänomen, mit welchem die Landwirtschaft sich seit langer Zeit auseinandersetzen muss. Das Hagelwetter ist verstärkt im Frühjahr und Frühsommer zu beobachten. Im Sommer und Herbst tritt es eher seltener in Erscheinung. Unter Hagel versteht man einen Eiskörper, der ähnlich wie Regen oder Schnee aus Eiskristallen entsteht und als Niederschlag zum Erdboden dringt (EIMERN & HÄCKEL 1984). Der Durchmesser von Hagelkörnern beginnt bei etwa 0,5 cm und kann sogar bis zu 20 cm, zuweilen sogar Dezimetergröße mit einer Masse bis über 1 kg (Eisklumpen) erreichen. Den Hagel begleitet ein ganz spezifischer Wolkentyp. Diese Wolken entstehen aus unterkühlten Wassertropfchen, die vom Aufwind in höhere Schichten gehoben werden und danach wieder nach unten fallen. Dadurch werden immer größere Eismassen angelagert, die aus mehreren Schichten bestehen. Ein Hagelkorn besteht aus einem winzigen Embryo, der von einer verhältnismäßig dicken und dichten Eisschicht umgeben wird. Ein Hagelkorn ist schalenartig, abwechselnd aus klaren und weißlichen Eisschichten zusammengesetzt. Letztere entstehen in Wolkenbereich mit geringerem Wassergehalt, erstere in solchen mit hohem Wassergehalt. Damit ein Hagelkorn (Embryo) an Größe und Volumen zunimmt, müssen sich nach und nach Eisschichten um den Embryo bilden. Diese können von unterschiedlicher Dichte sein, was auf das so genannte „wet growth“ und das „dry growth“ (Nass- und Trockenwachstum) zurückzuführen ist. Dies ist wiederum abhängig von der Temperatur und dem Feuchtegehalt der Luftmassen innerhalb der Wachstumszone. Der Feuchtegehalt liefert den Hagelembryos die nötige Zutat, um in kalten Zonen durch Eiskristalle oder unterkühlte Wassertropfen Eisschichten zu bilden (KASCHUBA 2007). Die Dauer des Hagelwetters ist meist sehr kurz, oft beträgt sie nur einige Minuten. Es kann jedoch innerhalb dieser Zeit einen beträchtlichen Schaden anrichten. Die Ausbreitung des Hagels kann sich auf größere Flächen erstrecken. Oft ziehen die Hagelzüge sogar über ganze Länder hinweg (EIMERN & HÄCKEL 1984).

1.4 AUSWIRKUNGEN VON HAGELSCHLAG AUF DIE LANDWIRTSCHAFT

Mit dem Problem Hagelschlag mussten sich die Landwirte schon seit eh und je auseinandersetzen. Die Selbstversorgerobstanlagen waren in den 1950er Jahren sehr oft schweren Hagelschlägen oder dem Frost ausgesetzt und haben dadurch oft ihre ganze Erzeugnisse verloren.

Die Größe des Schadens durch Hagelschauer an den Obstplantagen ist von mehreren Faktoren abhängig. Von der Stärke des Hagelwetters, also eigentlich von der Heftigkeit, der Größe und Schwere der Hagelkörner einerseits und von der Größe des betroffenen Gebietes und von der Reife der Bodenerzeugnisse (d.h. von Zustand der Vegetation zur Zeit des Hagelschlages) andererseits. Der dabei auftretende Wind ist auch von sehr großer Bedeutung. Je stärker und je dichter der Hagel fällt und je stärker der Wind dabei weht, desto heftiger können die Schäden ausfallen, auch wenn die Hagelkörner an sich nicht sehr groß sind (KASCHUBA 2007). Bei leichten Hagelschauern (Korngröße ca. 0,5 - 1 cm) sind meistens nur die Früchte beschädigt, aber schon ab 2 cm Durchmesser kann der Hagel im Agrarbereich zu größeren Schäden führen. Bei ausgiebigem Hagelschlag (Korngröße ab 8 cm) kommt es zu Verwüstung der ganzen Kulturen. Besonders betroffen sind stets die Wein- und Obstkulturen. Offiziell beginnt in Österreich ab einem Hageldurchmesser von 2,0 cm (US 1,9 cm) das Kriterium für Unwetter. Bei „Skywarn“ Österreich beginnt ab einem Hageldurchmesser von 2 cm die Melderichtlinie für Hagel (SKYWARN AUSTRIA 2008). Bei Frühschäden ist außer der Stärke des Hagelschlages auch noch die Witterung nach dem Unwetter bis zur Reife maßgebend. Feuchtwarmes Wetter regeneriert den Schaden teilweise wieder, während trockenes Wetter das Schadensausmaß vergrößert (EIMERN & HÄCKEL 1984)

Hagelschäden werden auch in Zukunft ein ernstes Thema bleiben, denn die Gefahr wird weiter anwachsen. Die globale Erderwärmung führt zu immer häufigeren Naturkatastrophen. Die ständig wachsende Bevölkerungsdichte und somit auch die ansteigende volkswirtschaftliche Wertekonzentration und Versicherungsdichte ergeben zusammen einen unglaublichen Anstieg an Schadenspotenzialen.

1.5 DIE AKTIVE UND PASSIVE HAGELBEKÄMPFUNG

1.5.1 AKTIVE HAGELBEKÄMPFUNG

Die aktive Hagelbekämpfung greift schon beim Entstehungsprozess ein. Wenn in einer Wolke sich nur wenige Eiskristalle befinden, frieren unterkühlte Wassertröpfchen an Kristallisationskernen an, was eine rasche Massenzunahme zur Folge hat. Die durch starke

Labilität der Temperatur entstehenden Aufwinde bewirken, dass solche Eiskristalle innerhalb der Wolke nach oben verschoben werden (Rotationsprinzip). Irgendwann einmal werden sie so schwer, dass sie nicht mehr aufsteigen können und als Hagel auf die Erde fallen.

Basierend an der Annahme, dass Eiskristalle über einen Eiskeim entstehen, hat man versucht, wirksame Eiskeime künstlich in die Wolken einbringen, um die Anzahl an Eiskristalle künstlich zu vermehren. So verteilen sich die unterkühlten Wassertröpfchen auf viele kleine, anstatt wenig große Eiskristalle, die dann als Regen oder Graupel den Erdboden erreichen.

Außerdem wollte man den Gefriervorgang bereits bei Temperaturen von nur wenigen Graden unter Null einleiten, damit es erst gar nicht zu einer übermäßig großen Menge unterkühlten Wassers kommen kann (EIMERN & HÄCKEL 1984).

Hagelflieger

Die Hagelflieger sollten innerhalb der Aufwindzone einer Gewitterwolke Silberjodid verteilen, um so die schon vorhandene Anzahl an Gefrierkernen künstlich zu vermehren.

(Die an den Flugzeugen montierten Generatoren dienen zum Verbrennen der Silberjodid-Aceton Lösung unter der Wolkenbasis). Heutzutage werden zum Großteil speziell mit einem Brenner versehene Flugzeuge (Hagelflieger) eingesetzt, um das Silberjodid an der richtigen Stelle zu injizieren. Diese Methode beruht auf der Eigenschaft von Silberjodid, das aus dem Silberkation und dem Jodanion zusammengesetzt ist, dass es mit seiner kristallinen Struktur bei etwa -5 °C Eiskeime bildet. Den unterkühlten Wassertröpfchen stehen somit viel mehr Embryonen zur Verfügung. Dadurch werden anstatt weniger großer Hagelschloßen viele kleine Hagelkörner gebildet, die auf dem Weg zum Boden schmelzen und dort als Graupel auftreffen. Die Methode ist umweltfreundlich, jedoch wurde ihre Wirksamkeit bis jetzt noch nicht eindeutig nachgewiesen. Allerdings zeigt eine in Österreich (Krems-Langenlois in Niederösterreich) durchgeführte Langzeitstudie von 1982 bis 2002 eine Hagelschadensminderung um bis zu 40 Prozent (PACHATZ 2005). Studien aus Deutschland wie etwa vom DLR Oberpfaffenhofen im Jahr 1993 hingegen, deuten darauf hin, dass diese Methode nur eine sehr geringe oder gar keine Wirkung auf die Hagelbildung hat (HÖLLER & MEISCHNER 1993). Man ist bislang nicht in der Lage festzustellen, wie sich das Wetter ohne diese Form der Hagelabwehr geformt hätte.

Ein weiteres Problem ist, dass ein Gewitter oft mehrere Aufwindzonen besitzt, oder sich linienhaft und multizellular ausbreitet (Gewitterkomplex). Das bedeutet, dass mehrere Flugzeuge zur selben und richtigen Zeit an den verschiedenen Aufwindzonen eine Impfung vornehmen müssen (HÖLLER & MEISCHNER 1993).

1.5.2 PASSIVE HAGELBEKÄMPFUNG

1.5.2.1 HAGELSCHUTZNETZE



Abbildung 1: Die Baumreihen der Apfelbäume mit einer Hagelnetzabdeckung im Südtirol.

Bei einer passiven Hagelbekämpfung werden die hagelempfindlichen Kulturen mit Hilfe von Spezialnetzen, die die Hagelkörner abfangen geschützt. Diese werden über die Pflanzen in 3,5 bis 4 m über dem Boden gespannt. Die Netze müssen Wind und Wetter trotzen, was eine starke Verankerung erfordert. Die Haltbarkeit der Netze liegt bei 5-8 Jahren, abhängig von Beimischungen (Pigmente, Rußbeimengungen, UV-Stabilisatoren). Das sind zweifädige Netze mit einer Maschenweite 4 x 8 mm. Sie bestehen aus Polyethylen und haben verschiedenste Farben. In Südtirol werden nur schwarze Netze (weisse nur in Sonderfälle) verwendet, da diese in der Landschaft viel weniger störend empfunden werden als etwa weiße Netze (STADLER P. & LBBZ ARENENBERG 2004).

Bei extremen Hagelstürmen oder aber bei sehr kleinen Hagelkörnern, die in großen Massen fallen, können die Obst- und Weinkulturen trotz der Netze erheblich beschädigt werden. Ob solche Hagelnetze installiert werden sollen, ist natürlich eine Kosten-Nutzen Frage. Nur wenn die Kulturen einen hohen Gewinn versprechen, kann sich der Landwirt eine solche Investition leisten. Laut einer mündlichen Aussage eines Südtiroler Bauern kostet beispielsweise das Installieren und der Aufbau des Hagelnetzes ca. 17.000 Euro/ha, je nach Lage und Form der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Es sind dafür 3 Personen pro Tag und Hektar notwendig, um

die Netze aufzubauen. Nach 15 bis 20 Jahren müssen die Netze ausgetauscht werden. Ein klassisches Land, wo Unmengen von Hagelschutznetzen die Obstkulturen schützen, ist Südtirol (Italien).

1.5.2.2 HAGELVERSICHERUNG

Die heutzutage so flexible Versicherungsbranche hatte schon in den 1940er Jahren begonnen, Hagelversicherungen abzuschließen. Schon damals schlossen die Landwirte Verträge untereinander. Die Versicherungsgesellschaft verpflichteten sich dazu, den gesamten - oder je nach Vereinbarung- entstandenen Schaden, der durch Hagel an den Bodenerzeugnissen angerichtet wurde, an die Versicherten auszahlten. Der Versicherungsnehmer war hingegen verpflichtet, gewisse Prämien regelmäßig zu bezahlen. Jedoch konnte sich nicht jeder Bauer diese Versicherungen leisten.

Heute gibt es eine große Zahl an Versicherungsanstalten. Die Vertragsinhalte sind in „Allgemeinen Bedingungen für die Hagelversicherung“ für EU-Länder definiert. Unter anderem muss der Versicherungsnehmer einen Selbstbehalt in Prozenten der betroffenen Versicherungssumme von allen ersatzpflichtigen Schäden tragen.

Der Selbstbehalt bei Neuverträgen beträgt im ersten Versicherungsjahr ca. 20 % der betroffenen Versicherungssumme. In den Folgejahren, wird er entsprechend dem Schaden ausgerechnet. Es gibt natürlich die Möglichkeit, den Selbstbehalt gegen eine höhere Prämie herabzusetzen. Die Versicherungssumme ist aber in erster Linie von dem zu versichernden Objekt abhängig. Bei Großschäden von Obst (Totalausfall der Ernte) von Obst wird der Schaden nur zur ca. 50 % durch die Versicherung gedeckt. Nach dem Schadensfall muss sofort, spätestens binnen vier Tagen der Schaden bekannt geben werden. Versäumt der Landwirt die Frist, hat er keinen Anspruch auf Schadenersatz. Das bedeutet, dass er trotz der Entschädigung noch sehr viel selbst investieren muss, um die Kulturen wieder zu regenerieren.

Man könnte hier noch sehr viel erwähnen, jedenfalls sind die Bedingungen der Hagelversicherung oft nicht leicht zu erfüllen, oder für die Landwirte sehr umständlich, deswegen versucht man neue Möglichkeiten zu finden, wie man mit solchen Naturkatastrophen wie Hagel umgehen sollten. So haben sich neuerdings in der Landwirtschaft Hagelschutznetze etabliert. Es besteht auch die Möglichkeit eine Versicherung von Obst unter dem Netz und auch von der Anlage selbst abzuschließen, die die Wiederherstellungskosten der Netzanlage deckt, falls sie durch Hagel beschädigt wird.

1.6 HAGELGEBIETE IM ALPENRAUM

“Die in den Alpen entstehenden lokalen Windsysteme, die regional unterschiedliche Temperatur und Feuchte, die orographisch bedingten Hebeprozesse und die verschiedenen Höhenlagen, bestimmen das Wetter vor Ort und beeinflussen somit auch die Unwetterklimatologie im alpinen Raum. Sowohl Hagelhäufigkeit als auch die Anzahl der Fälle mit Starkhagel (> 5 cm im Durchmesser) werden durch die orographische Lage gefördert.

In Norditalien ist die Poebene ein Gebiet, das nicht selten von schweren Hagelstürmen betroffen ist. In Österreich ist die Südsteiermark oder das Burgenland zu nennen. In der Schweiz sind es besonders die Gebiete im südlichen Tessin und die Westseiten des Berner Oberlands und der Zentralschweiz bis hin zum östlichen Mittelland, die von Hagel betroffen sind.

In Deutschland sind besonders die südlichen und westlichen Bundesländer, vor allem aber der Süden von Baden-Württemberg und Bayern Hagelgebiete. Auch hier haben die Alpen, der Schwarzwald und die Schwäbische Alb einen entscheidenden Einfluss auf die Gewitter- und Hagelbildung“ (KASCHUBA 2007).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die meisten Hagelgewitter in voralpinen und bergigen Regionen auftreten. Die meisten großkörnigen Hagelschläge konzentrieren sich auf die voralpinen Täler und Ebenen.

2 MATERIAL UND METHODIK

2.1 VERSUCHSANSATZ UND BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Im Jahr 2002 wurden in einem Zeitraum von April bis November mikroklimatische Messungen in einer Versuchsfläche des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums Laimburg in Salurn durchgeführt. Der Standort Laimburg ist Südtirols größte Versuchsanstalt für Obst- und Weinbau. Die 594 ha große Anlage (davon 135 ha Obstbau) liegt in einer hochwassergefährdeten Zone auf ca. 220 m Seehöhe. Da die Versuchsflächen in der Ebene des Etschtales liegen, ist die Möglichkeit einer Staunässebildung vorhanden (THALHEIMER & PAOLI 2005).

Im vorliegenden Versuch ging es darum, die Auswirkungen eines schwarzen Hagelschutznetzes auf die mikroklimatischen Parameter in der Apfelanlage zu untersuchen. Ein Teil der Apfelanlage (Sorte Gala Mondial) war mit schwarzen agrilenen Hagelnetzen abgedeckt, während der übrige Teil unbedeckt blieb. Der Abstand zwischen den Baumreihen betrug ca. 3 bis 3,5 m und zwischen den Baumstämmen in einer Reihe ca. 0,7 m.

Die mikroklimatischen Messungen erstreckten sich auf Globalstrahlung (3m über dem Bestand), Albedo, Strahlung im Bestand (1,5m), Strahlung an der Bodenoberfläche, Bilanzstrahlung, sowie Gesamt-Strahlungsbilanz (1,5m), zudem wurde die Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1, 10 - und 30 cm Tiefe sowie die relative Luftfeuchtigkeit gemessen. Die Messwerterfassung erfolgte durch Anschluss der Sensoren an einen Delta-T Datenlogger, der in einem wetterfesten Aluminiumgehäuse unterbracht war.

Die Stromversorgung des Datenloggers erfolgte über einen 12V-Akkumulator. Die Sensoren für Einstrahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte wurden in den beiden Versuchsflächen in vergleichbarer Position an einem Klimamast angebracht.

Die Messfühler wurden automatisch alle 10 Sekunden abgetastet und die Durchschnittswerte von Zehnminutenperioden aufgezeichnet. Die Daten wurden vom Datenlogger in einen mobilen Computer überspielt und später mit der Software Excel ausgewertet.

Bei der Installierung der mikroklimatischen Messeinrichtungen wurde darauf geachtet, dass die Messpunkte im bedeckten und netzfreien Bereich entsprechend weit voneinander entfernt waren, um Randeffekte auszuschließen. Bei den Messungen kam es oft zu Messausfällen, deswegen sind die Daten nicht lückenlos vorhanden.

2.2 BESCHREIBUNG DER MESSPARAMETER UND DER MESSGERÄTE

2.2.1 SONNENSTRAHLUNG

Die Strahlung der Sonne bildet eine primäre Energiequelle für den Aufbau der organischen Substanz der Pflanzen. Sie reguliert außerdem Wärme und Wasserhaushalt der Erde. Die gesamte Strahlungsenergie der Sonne, die pro Zeiteinheit auf eine horizontale Fläche der Erdoberfläche fällt wird als **Globalstrahlung** (G) bezeichnet. Sie ergibt sich aus direkter Sonnenstrahlung (I), die auf direktem Weg zur Erdoberfläche kommt, und aus diffuser Himmelstrahlung, die durch die Reflexions- und Streuungsprozesse entsteht. Bei bewölktem Himmel entspricht die Himmelstrahlung der Globalstrahlung. Bei wolkenfreiem Himmel trägt die direkte Sonnenstrahlung den größten Anteil zur Globalstrahlung bei.

Die Strahlungsintensität ist beim senkrechten Einfall der Sonnenstrahlen am größten und beträgt etwa 1000 W/m² (FLEMMING 1991).

Das Verhältnis von reflektierter und gestreuter kurzwelliger Strahlung zur gesamten einfallender Strahlung wird als **Albedo** (α) oder Reflexionsvermögen bezeichnet. Sie gibt Auskunft darüber, wie viel von der auf einem Körper eintreffender Strahlung durch Rückstrahlung sofort wieder abgegeben wird. Dieses Rückstreuvermögen eines Körpers wird in sichtbarem Bereich (Wellenlänge von 400 - 760 nm) gemessen und in Prozent (%) angegeben, bezogen auf die einfallende Strahlung.

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Albedo. Die Bodenalbedo der kurzwelligen Globalstrahlung repräsentiert das Rückstreuvermögen der Erdoberfläche und hängt einerseits von den Oberflächeneigenschaften, andererseits vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlen ab. Die Albedo verschiedener Oberflächen variiert mit der Bodenfeuchte und dem jahreszeitlichen Gang der Vegetationsentwicklung ab. Die planetarische Albedo ist hingegen das gesamte Reflexionsvermögen der Erde Richtung All. Sie hängt von der Sonnenhöhe und von der Bewölkung ab. Bei bedecktem Himmel ist die planetarische Albedo doppelt so groß wie im Fall ohne Abdeckung. (LAUER 1999, HÄCKEL 1993).

Kurzwellige Strahlungsbilanz im Bestand Sk

Die kurzwellige Strahlungsbilanz beschreibt die Sonnenstrahlung im Bereich der Biosphäre (Wellenlängenbereiche zwischen 0,3 – 3 μ m). In der oberen Grenze der Atmosphäre beträgt die kurzwellige Strahlung der Sonne ca. $2\text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} = 1396 \text{ Watt/m}^2$ (Solarkonstante). Etwa die Hälfte davon wird an Luftmolekülen, Wassertröpfchen und anderen festen Partikeln

gestreut. Ein Teil des Streulichts wird in den Weltraum zurückreflektiert, der andere Teil erreicht die Erdoberfläche als diffuse kurzwellige Strahlung. Ein weiterer Teil der solaren Strahlung wird von Gasen, Tröpfchen und Partikeln absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die kurzwellige Strahlung, welche auf die Erdoberfläche auftrifft beträgt durchschnittlich 170 W/m^2 , das sind ungefähr 47 % der Gesamtstrahlung (STORCH & GÜSS 1999).

Die kurzwellige Strahlungsbilanz wurde aus der Differenz zwischen ankommender Strahlung (Strahlung im Bestand) und reflektierter Strahlung (Albedo) errechnet.

Die Gesamtstrahlungsbilanz S

Die Gesamtstrahlungsbilanz (auch globale Strahlungsbilanz genannt) stellt die Summe sämtlicher solarer und terrestrischer Strahlungskomponenten dar.

Es wird der Wellenlängenbereich zwischen $0,3 - 100 \mu\text{m}$ erfasst. Am Tag ist sie positiv, d.h. die Wärme wird im Boden gespeichert, in der Nacht infolge einer adiabatischen Abkühlung negativ (LAUER 1999).

Die Gesamtheit aller Strahlungskomponenten bildet die Strahlungsbilanz (Strahlungssaldo, Nettostrahlung). Es gilt nach FLEMMING (1991):

$$S = S_S + S_H - S_{Rk} + S_{Gg} - S_{Rl} - S_A (+ S_Z)$$

S Strahlungsbilanz

S_S (direkte) Sonnenstrahlung (kurzwellig)

S_H Himmelsstrahlung (kurzwellig)

S_{Rk} Reflexstrahlung der Erdoberfläche (kurzwellig)

S_{Gg} Gegenstrahlung der Atmosphäre (langwellig)

S_{Rl} Reflexstrahlung der Erdoberfläche (langwellig)

S_A Ausstrahlung der Erdoberfläche (langwellig)

S_Z Zustrahlung von Bäumen, Bauwerken, Hängen (langwellig)

Messung der Strahlung

Die verwendeten Strahlungsmessgeräte beruhen auf dem Prinzip der strahlungsbedingten Erwärmung und somit einer Temperaturerhöhung einer Empfängerfläche.

Das **Sternpyranometer** (Sternpyranometer nach Dirmhirn, Fa. SCHENK) dient zur Messung der Sonnenstrahlung, die im Wellenlängenbereich von $0,3 - 3 \mu\text{m}$ liegt. Der Messbereich des Gerätes liegt zwischen $0-1500 \text{ W/m}^2$. Das Messprinzip des Sternpyranometers beruht auf

einer Temperaturmessung zwischen weiß- und schwarzlackierten Kupferplättchen. Die weißen Plättchen strahlen einfallendes Licht zurück, messen die Umgebungstemperatur und sind in Differenzschaltung zu den lichtabsorbierenden schwarzen Feldern angeordnet. Die dabei entstehende elektrische Spannung wird registriert und in W/m^2 ausgedrückt. Umwelteinflüsse (Wind, Tau) werden durch eine geschliffene Quarzglaskuppel von den Sensorflächen abgeschirmt.

Die Libelle und Stellschrauben am weißlackierten dienen für die Horizontierung des Gerätes. An der Unterseite des Gerätes befindet sich ein mit Silicagel gefüllter Trockenbehälter, der Kondensationserscheinungen im Inneren des Gerätes verhindert. Der Austritt des Verbindungskabels mit der Datenerfassung erfolgt über eine wasserdichte Verschraubung, wodurch auch der Innenraum gegen Umgebungsluft abgeschlossen ist. Die weiße Farbe des Metallgehäuses schützt das Gerät vor Hitze (HÄCKEL 1993)

Das Sternpyranometer zur Messung der Globalstrahlung wurde am Messpunkt 2 (Standort ohne Hagelnetz) in einer Höhe von 3 m an einem Klimamast über den Kronen der Apfelbäume montiert. Mit Sternpyranometer wurde auch die Einstrahlung an der Bodenoberfläche, an den beiden Versuchsflächen gemessen.

Ein **Doppelpyranometer** (Fa. SCHENK) wurde zur Messung der Bestandesstrahlung und des Reflexionsvermögens (Albedo) in der Baumreihe in 1,5 m Höhe, jeweils an den Standorten mit- und ohne Hagelnetz eingesetzt.

Der Messbereich des Gerätes liegt zwischen $0-1500 W/m^2$. Das Doppelpyranometer besteht im Grunde aus zwei zusammenschalteten Sternpyranometern, wobei das eine nach oben und das andere nach unten gerichtet ist. Das nach oben gerichtete Pyranometer misst die Bestandesstrahlung. Das in der Horizontalen um 180° gedrehte Pyranometer (Ausrichtung des Pyranometers gegen den Boden) dient zur Messung der Reflexionsstrahlung des Bodens (HÄCKEL 1993).

Der **Strahlungsbilanzmesser** misst im Spektralbereich von $0,3 - 100 \mu m$ und erfasst damit sowohl die kurz- als auch die langwellige Strahlung. Der Messbereich des Gerätes liegt zwischen $0-1500 W/m^2$. Der Strahlungsbilanzmesser besteht aus zwei Pyranometern, von denen eines nach oben, eines nach unten gerichtet ist (FLEMMING 1991). Das Messprinzip beruht auf einer Messung des Temperaturunterschiedes zwischen den nach oben und den nach unten gerichteten geschwärzten Empfängerflächen mittels Thermoelementen. Zur direkten Bestimmung der Strahlungsbilanz sind die beiden Empfängerflächen elektrisch

gegengeschaltet. Damit die Langwellen ungehindert auf die Messfläche auftreffen können, besteht die Schutzhaube aus dem Kunststoff Lupolen (spezielles Polyethylen), das für beide Wellenbereiche durchlässig ist. Man erhält so direkt den Nettoenergiefluss, der tagsüber auf die Erde zu gerichtet ist, in der Nacht aber von ihr weggeführt (HÄCKEL 1993 & FOKEN 2003). Die Gesamtstrahlungsbilanz wurde in der Baumreihe in 1,5 m Höhe, jeweils an den Standorten mit und ohne Hagelnetz gemessen.



Abbildung 2: Strahlungsbilanzmesser (links) und Doppelpyranometer (rechts)

2.2.2 LUFT- UND BODENTEMPERATUR

Die Wärme wird in Ökosystemen auf mehrere Arten transportiert: als Wärmestrahlung, Wärmeleitung im Boden.

Der Bodenwärmestrom stellt die pro Fläche und Zeit transportierte Energiemenge dar, die auf molekularer Wärmeleitung beruht und proportional zum Temperaturgradienten im Boden ist.

Die Wärmeleitfähigkeit wiederum hängt von drei Faktoren ab:

- Bodenart: Die Wärmeleitfähigkeit fällt vom Gestein über Lehm zum Sand,
- Wassergehalt des Bodens: Feuchte Böden leiten besser als trockene,
- Luftgehalt bzw. Bearbeitungszustand: Ein fester Boden ist ein guter, ein lockerer dagegen ein schlechterer Leiter: ein unbearbeiteter Boden leitet besser als ein bearbeiteter.

Zur Wärmeübertragung von thermischer Energie dienen neben der Wärmeleitung und Wärmestrahlung die Konvektion (vertikaler Energieaustausch) und Advektion (horizontaler Energieaustausch), die stets mit dem Transport von Teilchen verknüpft sind.

Der Konvektionswärmestrom beruht zunächst auf der Wärmeleitung zwischen Erdbodenoberfläche und bodennahester Luft, vor allem aber auf den turbulenten Auf- und Abwärtsbewegungen der Luft. Aufwärtsbewegungen entstehen über trockenen Getreidefeldern, Städten und Hügeln. Kühlere Oberflächen wie Seen, Wälder und Flussauen ermöglichen ausgleichende Abwärtsbewegungen.

Der horizontale Energieaustausch (Advektion) kommt über einen Transport fühlbarer Wärme, oder mit Hilfe latenter Energie zu Stande (HÄCKEL 1993, FLEMMING 1991).

Messung der Luft- und Bodentemperatur

Platindraht-Widerstandthermometer (Pt 100) wurde zur Messung der Lufttemperatur und der Bodentemperatur verwendet (Abb. 3). Der Messkörper besteht aus einem Platindraht, der auf einen Widerstand von 100 Ω bei 0°C genormt sind. Der elektrische Widerstand steigt bei zunehmender Temperatur (um ca. 0,4 Ohm pro 1°C). Zusätzlich ist eine Stromquelle erforderlich (FLEMMING 1991).

Zur Minimierung des Strahlungsfehlers wurden bei der Lufttemperatur kleine, mit Styropor beschattete Glasmessfühler verwendet. Bei der Messung der Bodentemperatur kamen von einer festen Metallhülse umgebene, wasserdichte Messfühler zum Einsatz. Die Thermofühler wurden über einer Profilgrube aus waagrecht in die natürliche Schichtung des Bodens eingeschoben. Die waagrechte Stellung ist vor allem bei länger andauernden Messungen von großer Bedeutung. Die Lufttemperaturfühler wurden in 1,5 m Höhe exponiert.

Zur Messung der Bodentemperatur wurde ein Profil mit dem Spaten ausgestochen und die Fühler waagrecht in annähernd 0 cm (zur Vermeidung des Strahlungsfehlers in etwa 0,5 cm Bodentiefe), in 10 cm und 30 cm Tiefe in die Profilwand eingebracht. Die Temperatur in °C wurde jeweils an den Standorten mit- und ohne Hagelnetz gemessen.



Abbildung 3: Platinwiderstandsthermometer

2.2.3 RELATIVE LUFTFEUCHTE

Die Luftfeuchte bzw. der Wasserdampf ist die gasförmige Phase des Wassers in der Atmosphäre. Die **relative Luftfeuchte** beschreibt das Verhältnis des realen zum maximal möglichen Wasserdampfdruck, ausgedrückt in Prozent (%). Die relative Luftfeuchte ist von der Temperatur abhängig. Abkühlung bewirkt eine Zunahme der relativen Feuchte. Nachts ist die relative Luftfeuchte höher als tagsüber (FLEMMING 1991).

Messverfahren der relativen Luftfeuchte

Zur Messung der relativen Luftfeuchte wurden kapazitive Feuchtesensoren verwendet. Die Kapazität eines Kondensators hängt von dem Material ab, das sich zwischen den Kondensatorplatten befindet. Die Dielektrizitäts-Konstante gibt an, wie stark die Kapazität von dem Material beeinflusst wird. Für Vakuum wird diese Konstante mit 1,0 festgelegt. Der kapazitive Feuchtesensor besteht aus einem 2 cm langen und etwa 0,5 cm breiten Folienstreifen eines Polymer-Kunststoffes, der auf beiden Seiten eine Metallschicht (Schutz) besitzt und so einen Kondensator bildet. Zwischen dem Wassergehalt des Kunststoffes und der relativen Feuchte der Umgebungsluft herrscht ein Gleichgewichtszustand. Das bedeutet, dass bei einer hohen relativen Feuchte die Kapazität des Kondensators größer als bei einer geringen ist. Die Genauigkeit der Messung liegt zwischen 1 und 5 % relativer Feuchte (HÄCKEL 1993). Die Messung der relativen Luftfeuchte erfolgte in einer Höhe von 1,5 m.

2.3 BESCHREIBUNG DER VERWENDENTEN STATISTISCHEN PROGRAMMEN UND ORDNUNGSVERFAHREN (MULTIVARIATE STATISTIK)

Der gesamte Datensatz wurde von einem Delta- T Logger (Fa. Burwell – Cambridge - U.K.) in einen mobilen Computer überspielt und mit der Software Excel ausgewertet. Die Excel-Datei wurde einer ersten Überprüfung bezüglich grober Fehler und ihrer Plausibilität unterzogen. Für die Monate April und November wurden die Messdaten nicht verarbeitet, da in diesem Zeitraum die Hagelnetze noch nicht aufgespannt bzw. wieder eingerollt waren. Danach wurden die Daten (von Mai bis Oktober) in das Statistikprogramm SPSS importiert. Um den Datenumfang etwas zu minimieren, wurden aus den zehnminütigen Intervallen Stundenmittelwerte berechnet.

2.3.1 DESKRIPTIVE STATISTIK

Bei der statistischen Auswertung der Daten wurde nach homogenen Gruppen gesucht d.h. nach Gruppen, die miteinander korrelieren. Aussagen, die eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ aufweisen, wurden als signifikant, jene mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,01$ als sehr signifikant und solche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,001$ als höchstsignifikant bezeichnet (UNTERSTEINER 2005).

Die meisten Standortvergleiche wurden mittels einer **Varianzanalyse** (multifaktorielle Anova) mit dem **Tukey** oder **LSD**-Test durchgeführt. Die Tests dienen dem Vergleich von Mittelwert. Sie prüfen die signifikanten Unterschiede zweier Parameter paarweise, z.B. bei zwei verschiedenen Standorten, wobei der Tukey- Test eine gleiche Gruppengröße verlangt. Im Falle inhomogener Gruppen ist die Aussagekraft schwächer zu beurteilen.

Boxplots mit Medianen (der Wert, ober- und unterhalb dessen die Hälfte aller Fälle angesiedelt ist), Fehlerbalkendiagramme mit Mittelwert und 95 % Konfidenzintervall und Angaben zu Maximum und Minimum wurden im SPSS erarbeitet.

2.3.2 DIE HAUPTKOMPONENTENANALYSE

Um die jahres- und tageszeitliche Komponente bei der komplexen Betrachtung der Ergebnisse zu berücksichtigen, wurde die Hauptkomponentenanalyse (**PCA-Principal Component Analysis**) als grafisch orientierte Datenanalysemethode angewandt (Statgraphics 2D Biplot). Mit der Methode der Variablenreduktion wurde die Anzahl von Variablen auf eine kleinere Anzahl unabhängiger Einflussgrößen minimiert und gleichzeitig die beobachteten Zusammenhänge zwischen den gegebenen Variablen auf eine klare Weise dargestellt. Bei der Hauptkomponentenanalyse wurden alle Variablen die miteinander stark korrelieren zu einem Faktor zusammengefasst, weswegen diese Methode auch Faktorenanalyse genannt wird.

2.4 DIE JAHRES- UND TAGESZEITLICHE UNTERTEILUNG DER MESSWERTE

Aus dem gesamten Datensatz von 2002 wurden homogene Gruppen für die Korrelationsberechnung gesucht. Für den Zweck wurden mit Hilfe eines Box-and-Whiskey-Plots Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gruppen geprüft.

Das auffälligste Schwankungsmuster in der Atmosphäre stellte der Jahres- und Tagesgang dar, der in den Jahreszeiten zum Ausdruck kommt.

Mit der multivariaten Varianzanalyse (Tukey -Test) wurde deshalb die Einteilung nach den Jahreszeiten durchgeführt und mit folgender Nummerierung gekennzeichnet:

Frühling (1): 08. Mai (Beginn der Auswertung) bis 20. Juni

Sommer (2): 21. Juni bis 22. September

Herbst (3): 23. September bis 30. Oktober (Schluss der Auswertung).

Diese Einteilung stimmt mit den astronomischen Jahreszeiten überein (LAUER 1999).

Anschließend wurde der Tag-Nachtrythmus mit der gleichen Methode gebildet. Die Einteilung des Tag-Nachtrythmus wurde in Hinblick auf den Tagesgang der einzelnen Parameter angepasst.

Da sich der Tagesgang der Strahlung von dem Tagesgang der Temperatur bzw. der Luftfeuchte ziemlich stark unterscheidet, wurde versucht ein Mittelmaß zu nehmen, das sich aus dem mittleren Tagesgang der Globalstrahlung von Mai bis Oktober ergibt (Abb. 4).

Die Unterteilung des Tages erfolgte nach dem Verlauf der Globalstrahlung (Abb. 4):

2. Vormittag: 7.00 Uhr – 10.00 Uhr (starke Anstieg der Strahlung)
3. Mittag: 11.00 Uhr – 14.00 Uhr (geringe Schwankung der Strahlung)
4. Nachmittag: 15.00 Uhr – 19.00 Uhr (stark abfallende Strahlung)

Die „Nacht“ wurde von 20.00 Uhr – 6.00 Uhr für die Temperatur und die relative Luftfeuchte eingeteilt. Bei der Auswertung der Strahlungsmessungen wurde die Nacht aus der Messung ausgeschlossen.

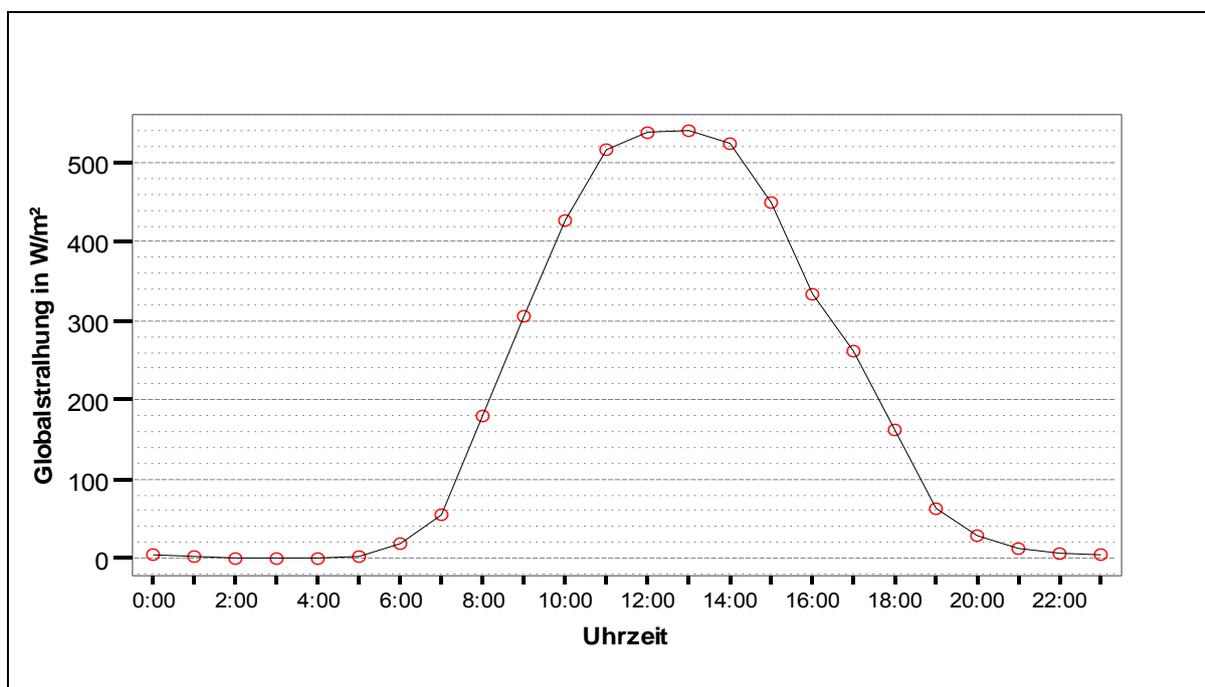


Abbildung 4: Tagesgang der Globalstrahlung im Jahr 2002 (Die Datenpunkte sind über die Vegetationsperiode von Mai bis Oktober gemittelte Stundenmittelwerte).

3 FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG

In den letzten Jahren hat die Fläche der mit Hagelnetzen überdeckten Kernobstanlagen stark zugenommen. Geeignete und korrekt montierte Hagelnetze bieten erwiesenermaßen einen wirkungsvollen Schutz des Blattwerkes und der Früchte in einer Obstanlage gegen Hagelschlag. Auch das Risiko, dass Äpfel einen so genannten Sonnenbrand erleiden, ist unter dem Hagelnetz wesentlich geringer.

Zugleich weisen manche Untersuchungen jedoch darauf hin, dass sich die Hagelnetze negativ auf das Mikroklima auswirken. Im Vergleich zu den zuvor genannten Schäden an Apfelbäumen, scheinen die möglichen Nachteile durch die Netzabdeckung aber nur gering zu wiegen. Die vorliegende Studie soll einen Beitrag zur Klärung dieser Frage liefern.

1. Welchen Einfluss hat die Hagelnetzabdeckung in der Apfelanlage auf die Strahlung, Temperatur, relative Luftfeuchte?
2. Welche Rolle spielen dabei die Jahreszeit und die Tageszeit?
3. Wo und wann sind die Unterschiede signifikant?
4. Welchen Einfluss hat die Hagelnetzabdeckung auf die Tageslänge in einer Apfelanlage?
5. Wieweit ist durch die Einnetzung die Assimilationsleistung der Äpfel betroffen?

4 ERGEBNISSE

4.1 HAUPTKOMPONENTENANALYSE FÜR DAS JAHR 2002

Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse wurde überprüft, inwieweit sich eine natürlich gegebene Gruppierung (alle Strahlungsparameter gehören zur Gruppe Strahlung, alle Temperaturparameter zu Gruppe Temperatur) im Muster der gemessenen Parameter widerspiegelt. Im ersten Schritt wurden die Werte mittels z-Transformation standardisiert, d.h. auf ein gleiches Niveau gebracht, in dem von jedem Wert der gegebenen Variablen der Mittelwert subtrahiert und durch die Standardabweichung dividiert wurde. Im zweiten Schritt wurde die Tabelle 1 mit den Hauptkomponenten erstellt.

Tabelle 1: Hauptkomponentenextraktion mit Gesamtvarianz für das Jahr 2002 (Erklärung im Text).

Number of components extracted: 3			
Principal Components Analysis			
Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	5,12048	51,205	51,205
2	2,45054	24,505	75,710
3	1,20039	12,004	87,714
4	0,572948	5,729	93,444
5	0,235535	2,355	95,799
6	0,189149	1,891	97,690
7	0,0775766	0,776	98,466
8	0,0713746	0,714	99,180
9	0,0676032	0,676	99,856
10	0,0144007	0,144	100,000

Die miteinander stark korrelierenden Messvariablen wurden zu einer Hauptkomponente (Faktor) zusammengefasst. Insgesamt wurden drei Faktoren extrahiert. Mit diesen lassen sich bereits 87,7 % der Gesamtvarianz des Datensatzes erklären (siehe Tab. 1.). Der erste Faktor kennzeichnet den größten Teil (51 %) der Gesamtvarianz. Dazu gehören folgende Strahlungsparameter: Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und die kurzwellige Strahlungsbilanz. Der zweite Faktor ist die Temperatur, die 24 % der Gesamtvarianz ausmacht. In diesem Faktor gehen ein: Lufttemperatur und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe. Der dritte Faktor ist die relative Luftfeuchte, die mit 12 % zur Gesamtvarianz beiträgt.

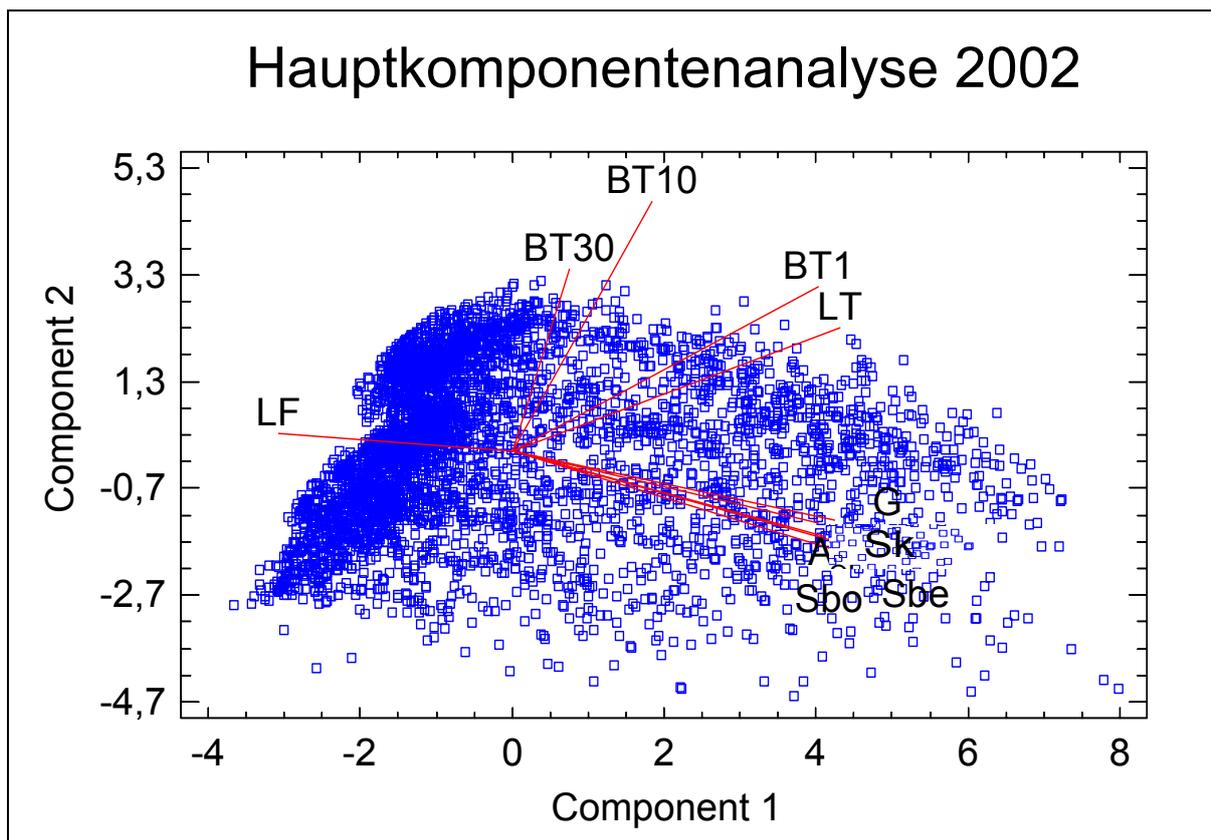


Abbildung 5: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten für das Jahr 2002. 1. Strahlung: Globalstrahlung (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk) 2. Temperatur: Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1, 10, 30 cm Tiefe (BT1, BT10, BT30). 3. Relative Luftfeuchte (LF). (Erklärung im Text).

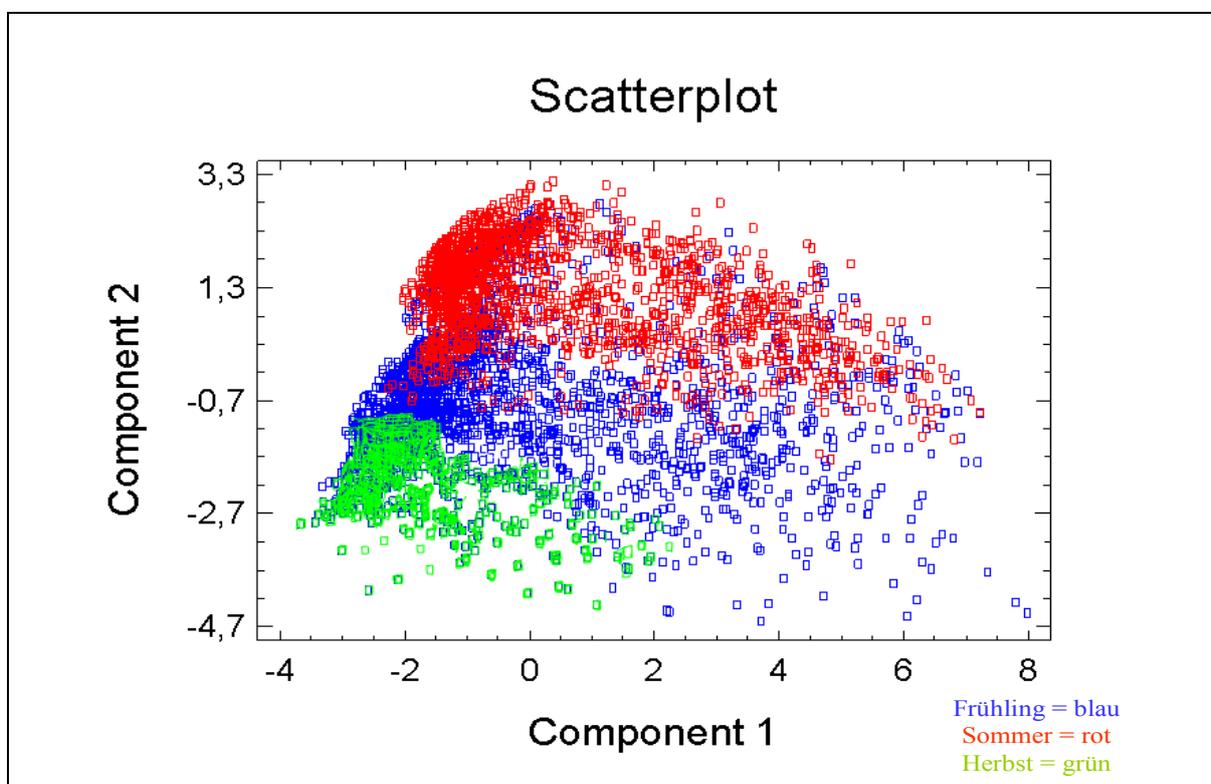


Abbildung 6: Jahreszeitliche Unterteilung des gesamten Datensatzes auf einer PCA-Unterlage (Erklärung im Text).

In der Abbildung 5 wird die Einteilung der zuvor gebildeten drei Faktoren dargestellt. Die Länge der roten Linien, von der Mitte nach außen gemessen, zeigt wie stark die einzelnen Vektoren (Variablen) zur Erklärung der Gesamtvarianz beitragen. Je länger die Linien eines Vektors sind, desto höher ist der Anteil an der Gesamtvarianz eines Faktors. So sieht man, dass alle Strahlungsparameter fast im gleichen Maße zu der Gesamtvarianz des Strahlungsfaktors beitragen. Bei der Hauptkomponente Temperaturen tragen hauptsächlich die Lufttemperatur (LT), sowie die Temperaturen in 1 und 10 cm Bodentiefe (BT1, BT10) zu der Gesamtvarianz bei, die Temperatur in 30 cm Bodentiefe (BT30) ist etwas schwächer daran beteiligt. Die Abbildung 6 gibt die jahreszeitliche Verteilung der Faktoren wieder. Die Darstellung zeigt, wie sich die Werte aller Messparameter über die drei Jahreszeiten verteilen. Sie sind im Frühling ungefähr in der Mitte konzentriert (blau). Die Sommerwerte zeigen eine deutliche Steigung (rot), die im Herbst wieder minimiert wird (grün). Das zeigt die Veränderung der mikroklimatischen Parameter im jahreszeitlichen Wechsel.

Deutliche Unterschiede sind auch bei der Verteilung der Daten nach Tageszeiten zu sehen. In Abbildung 7 wurde für den gesamten Datensatz der Tag (von 7.00 bis 19.00 Uhr) - Nacht (von 20.00 bis 6.00 Uhr) Verteilung dargestellt. Die in der Nacht (rot) gemessenen Werte liegen beisammen, während die Tageswerte (blau) viel mehr streuen und auch deutlich höher sind.

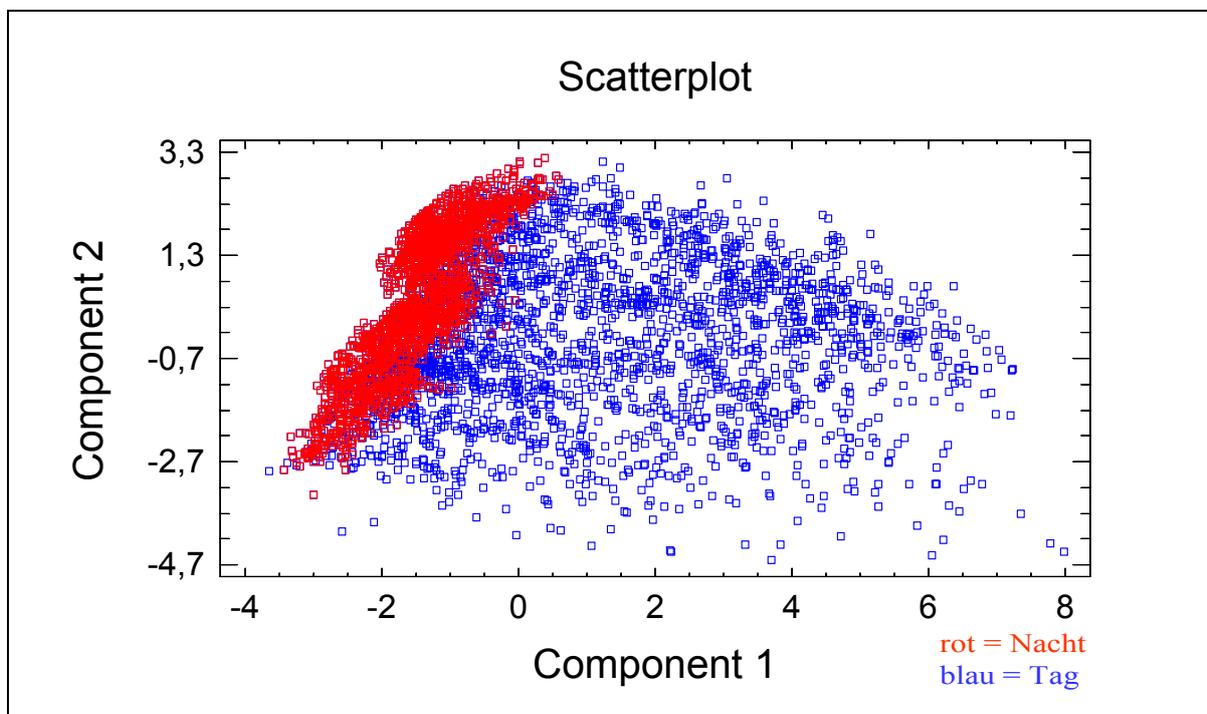


Abbildung 7: Tag-Nacht Verteilung der Messparameter auf einer PCA-Unterlage für das gesamte Jahr 2002. (Erklärung im Text).

4.1.1 VARIANZANALYSE DER HAUPTKOMPONENTEN IM JAHR 2002

Die Hauptkomponenten Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte wurde mittels Varianzanalyse auf die statistisch signifikanten Unterschiede geprüft. Einflussfaktoren sind Standort, Jahreszeit und Tageszeit.

Ein Ziel der varianzanalytischen Auswertung ist, zu testen, ob die Einflussfaktoren eine statistisch signifikante unterschiedliche Wirkung auf die Beobachtungsvariable (mikroklimatische Parameter) haben. Mit Hilfe der Varianzanalyse soll also geklärt werden, ob sich die Hauptkomponenten: Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte bezüglich des Standortes, bzw. der Jahres-, oder Tageszeit signifikant unterscheiden.

Es wird überprüft welche Wechselwirkungen es *innerhalb der Gruppen* d.h. zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz, zwischen den Tageszeiten und zwischen den Jahreszeiten (zeitliche Gliederung siehe Material und Methodik) gibt. Welche Wechselwirkungen gibt es *zwischen den Gruppen*?

Da es sich bei Varianzanalyse um homogene Gruppen handeln sollte, was bei den Daten über das gesamte Jahr 2002 nicht der Fall ist, ist die Aussagekraft der Ergebnisse etwas schwächer zu beurteilen. Es wird daher genauere Analyse mit jahres- und tageszeitlicher Trennung der Daten für einzelne Parameter im nächsten Kapitel durchgeführt.

Tabelle 2: Varianzanalyse der Hauptkomponente Strahlung (W/m²) im Jahr 2002. (Erklärung im Text).

Analysis of Variance for Strahlung (W/m ²) - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Standort	2,34329E6	1	2,34329E6	78,76	0,0000
B:Tageszeit	4,3966E7	2	2,1983E7	738,84	0,0000
C:Jahreszeit	1,14578E7	2	5,7289E6	192,55	0,0000
INTERACTIONS					
AB	964021,0	2	482011,0	16,20	0,0000
AC	194669,0	2	97334,6	3,27	0,0380
BC	441386,0	4	110346,0	3,71	0,0051
ABC	243814,0	4	60953,6	2,05	0,0848
RESIDUAL	3,93103E8	13212	29753,5		
TOTAL (CORRECTED)	4,62727E8	13229			

Tabelle 3: Varianzanalyse der Hauptkomponente Temperatur (°C) im Jahr 2002 (Erklärung im Text).

Analysis of Variance for HK_Temperatur (°C) - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Standort	102,331	1	102,331	12,71	0,0004
B:Tageszeit	16317,5	3	5439,17	675,39	0,0000
C:Jahreszeit	50090,7	2	25045,3	3109,93	0,0000
INTERACTIONS					
AB	17,603	3	5,86765	0,73	0,5348
AC	2,01826	2	1,00913	0,13	0,8822
BC	183,617	6	30,6028	3,80	0,0009
ABC	7,06245	6	1,17708	0,15	0,9898
RESIDUAL	42908,2	5328	8,05335		
TOTAL (CORRECTED)	117415,0	5351			

Tabelle 4: Varianzanalyse der Hauptkomponente rel. Luftfeuchte (%) im Jahr 2002 (Erklärung im Text).

Analysis of Variance for relative Luftfeuchte (%) - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Standort	4647,79	1	4647,79	27,82	0,0000
B:Tageszeit	259099,0	3	86366,2	517,04	0,0000
C:Jahreszeit	3320,02	2	1660,01	9,94	0,0000
INTERACTIONS					
AB	94,8099	3	31,6033	0,19	0,9038
AC	111,506	2	55,7531	0,33	0,7162
BC	5729,88	6	954,98	5,72	0,0000
ABC	21,3345	6	3,55576	0,02	1,0000
RESIDUAL	621051,0	3718	167,039		
TOTAL (CORRECTED)	1,08034E6	3741			

In Tabellen 2, 3 und 4 wurden Wechselwirkungen zwischen den Faktoren: Standort (A), Tageszeit (B) und Jahreszeit (C) für die Hauptkomponenten: Strahlung (Tab. 2), Temperatur (Tab. 3) und relative Luftfeuchte (Tab. 4) untersucht.

Hauptkomponente Strahlung

Das Ergebnis der Tabelle 2 zeigt einen höchst signifikanten Zusammenhang ($p < 0,001$) *innerhalb der Gruppen*: Standort (A), Tageszeit (B) und Jahreszeit (C).

Wechselwirkungen zwischen den Gruppen: Das Verhältnis Standort zu Tageszeit (AB) weist das höchste Signifikanzniveau ($p < 0,001$) auf. Das Verhältnis der Einflussfaktoren Tageszeit und Jahreszeit (BC) sind auf einem Niveau von 0,005 sehr signifikant, die Faktoren Standort und Jahreszeit (AC) sind auf einem Niveau von 0,05 signifikant.

Hauptkomponente Temperatur

Varianzanalyse der Hauptkomponente Temperatur (Tab. 3) zeigt ebenfalls, dass sich die Werte nicht zufällig voneinander unterscheiden. *Innerhalb der Gruppen* ergibt sich ein höchst signifikanter Unterschied (Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$).

Wechselwirkungen zwischen den Gruppen: Das höchste Signifikanzniveau wurde nur zwischen den Faktoren Tageszeit und Jahreszeit (BC) beobachtet. Weder zwischen dem Standort und dem Tageszeit (AB), noch zwischen dem Standort und dem Jahreszeit (AC) wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Bei den beiden Gruppen war die Irrtumswahrscheinlichkeit $p > 0,05$.

Hauptkomponente relative Luftfeuchte

Ähnliche Ergebnisse wie bei der Hauptkomponente Temperatur wurden auch bei der Hauptkomponente relativen Luftfeuchte festgestellt (Tab.4). *Innerhalb der Gruppen*: Standort (A), Tageszeit (B) und Jahreszeit (C) ergibt sich ein höchst signifikanter Unterschied (Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$).

Wechselwirkungen zwischen den Gruppen: Nur zwischen den Einflussfaktoren Tageszeit und Jahreszeit (BC) zeigt sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p < 0,001$). Die andere Gruppen (AB und AC) zeigen keine signifikanten Wechselwirkungen zueinander.

Die Varianzanalyse zeigt also bei der Hauptkomponente Strahlung sehr hohe Unterschiede sowohl innerhalb der Gruppen, als auch zwischen den Gruppen. Bei den Hauptkomponenten Temperatur und relative Luftfeuchte wurden zwischen den Gruppen höchst signifikante Unterschiede festgestellt, innerhalb der Gruppen jedoch nur zwischen Tages- und Jahreszeit (BC).

4.1.2 JAHRESZEITLICHE VERÄNDERUNG DER HAUPTKOMPONENTEN STRAHLUNG, TEMPERATUR UND RELATIVER LUFTFEUCHTE AN DEN STANDORTEN MIT UND OHNE HAGELNETZ.

Anhand der Hauptkomponenten Strahlung (Abb. 7), Temperatur (Abb. 8) und relative Luftfeuchte (Abb. 9) werden grafisch die Standortunterschiede zwischen den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst dargestellt. Tabelle 5 beinhaltet Jahres- und Tageszeiten-Mittelwerte und die Differenzen zwischen Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz für die drei Hauptkomponenten.

Tabelle 5: Jahres- und Tageszeiten-Mittelwerte sowie Standortdifferenzen der Hauptkomponenten Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (HN). Negative Werte bei der Luftfeuchte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf.

		Strahlung [W/m ²]		Differenz [%]	Temperatur [°C]		Differenz [%]	Relative Luftfeuchte [%]		Differenz [%]
		mit HN	ohne HN		mit HN	ohne HN		mit HN	ohne HN	
Jahreszeit	Frühling	176,15	213,18	21,11	18,67	19,07	2,14	78	74	-4
	Sommer	154,46	190,32	20,32	20,98	21,23	1,19	77	73	-4
	Herbst	100,37	116,04	12,05	14,34	14,44	0,68	76	73	-3
Tageszeit	Nacht	-	-	-	16,64	16,81	1,02	88	84	-4
	Vormittag	120,27	131,03	8,94	17,1	17,55	2,63	84	81	-3
	Mittag	214,28	263,97	23,19	20,24	20,7	2,27	65	61	-4
	Nachmittag	115,67	126,38	9,26	20,33	20,5	0,84	66	62	-4

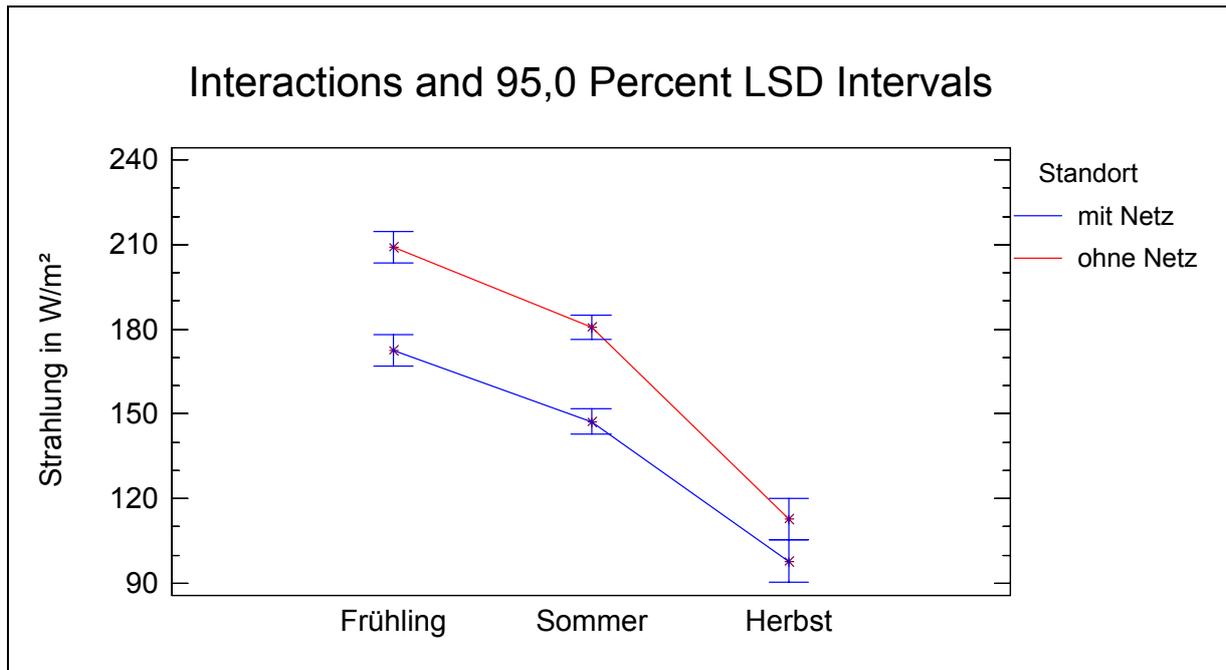


Abbildung 8: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Strahlung im Frühling, Sommer und Herbst an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

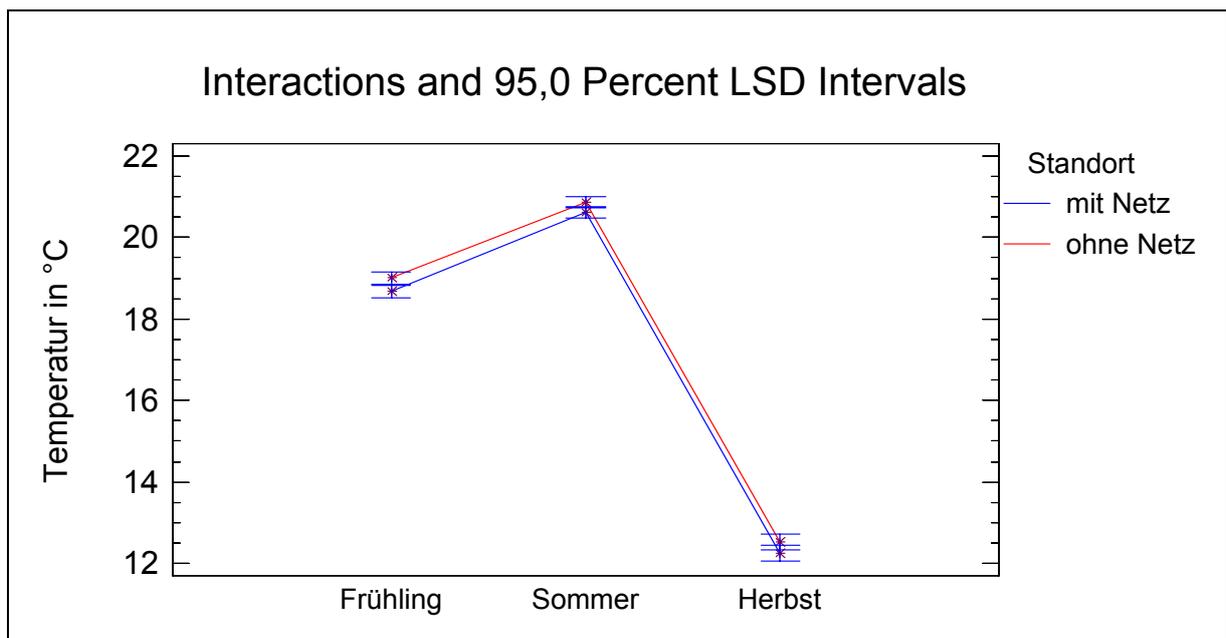


Abbildung 9: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur im Frühling, Sommer und Herbst an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

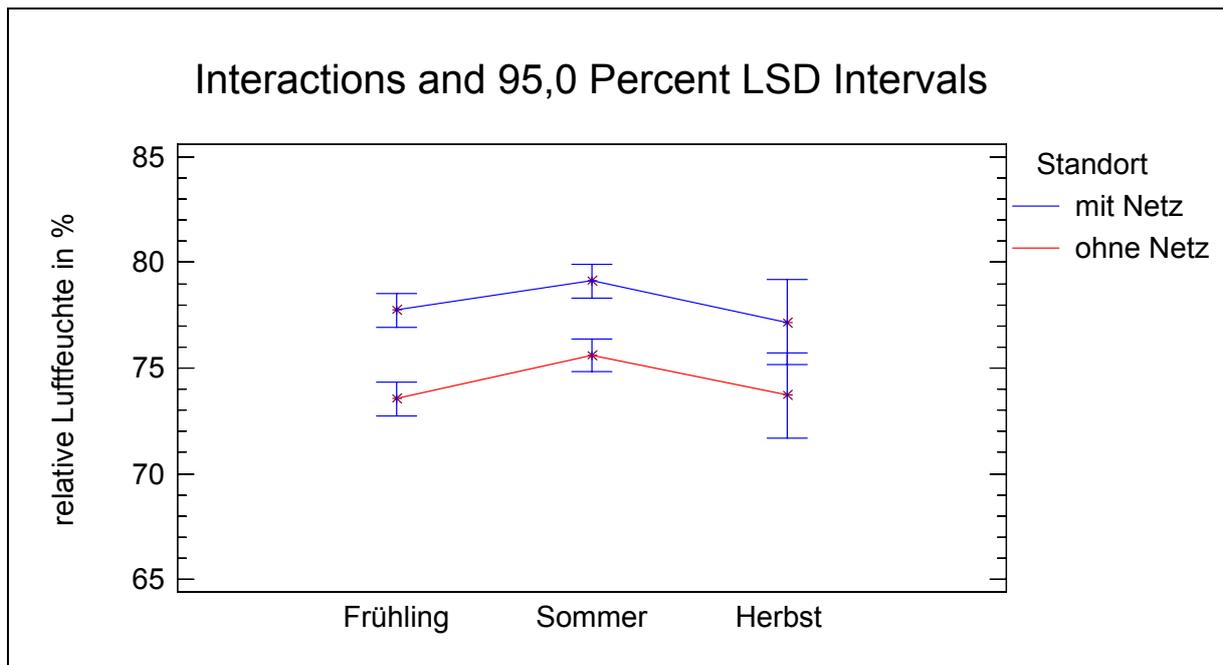


Abbildung 10: Mittelwertvergleich der relativen Luftfeuchte im Frühling, Sommer und Herbst an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

Zu allen Jahreszeiten (Gliederung: Frühling von 8. Mai - 20. Juni, Sommer von 21. Juni - 22. September, Herbst von 23. September - 30. Oktober) war die Sonnenstrahlung auf der Versuchsfläche mit Hagelnetz niedriger als in jener ohne Hagelnetz. Im Frühjahr waren die Strahlungswerte und auch die Hagelnetzbeschattung mit 21,11 % am höchsten, im Sommer lag die Hagelnetzbeschattung bei 20,32 %. Im Herbst war die Hauptkomponente Strahlung am Standort mit Hagelnetz im Mittel etwa um 12,05 % niedriger gegenüber der Kontrolle (Abb. 8, Tab. 5). Man sieht also, dass die Standortdifferenzen im Wesentlichen in Abhängigkeit von jahreszeitlichem Wechsel variieren (vgl. Tab. 2).

Die Hauptkomponente Temperatur liegt am Standort mit Hagelnetz im Frühjahr um 2,14 %, im Sommer um 1,19 % und im Herbst um 0,68 %, niedriger gegenüber der Kontrolle (Abb. 9, Tab. 5). Auch hier liegen die Werte am Standort mit Hagelnetzabdeckung niedriger als bei der Kontrolle. Der Prozent der Hagelnetzbeschattung ist jedoch im Vergleich mit der Hauptkomponente Strahlung sehr gering und wird somit als nicht signifikant bezeichnet.

Die Hauptkomponente relative Luftfeuchte ist im Frühling und Sommer um ca. 4 % und im Herbst um ca. 3 % höher am Standort mit Netzabdeckung (Abb. 10, Tab. 5).

4.1.3 TAGESZEITLICHE VERÄNDERUNG DER HAUPTKOMPONENTEN STRAHLUNG, TEMPERATUR UND RELATIVER LUFTFEUCHTE AN DEN STANDORTEN MIT UND OHNE HAGELNETZ.

Anhand den Hauptkomponenten: Strahlung (Abb. 11), Temperatur (Abb. 12) und relativen Luftfeuchte (Abb. 13) werden grafisch die Standortunterschiede zwischen den Tageszeiten: Nacht (20.00 – 6.00 Uhr), Vormittag (7.00 Uhr – 10.00 Uhr), Mittag (11.00 Uhr – 14.00 Uhr) und Nachmittag (15.00 Uhr – 19.00 Uhr) dargestellt. Die Mittelwerte wurden für die gesamte Vegetationsperiode von Mai bis Oktober 2002 gerechnet. Wie schon oben erwähnt, wurde für die Analyse der Hauptkomponente Strahlung aus dem zur Verfügung stehenden Datensatz die Nachtzeit ausgeschlossen.

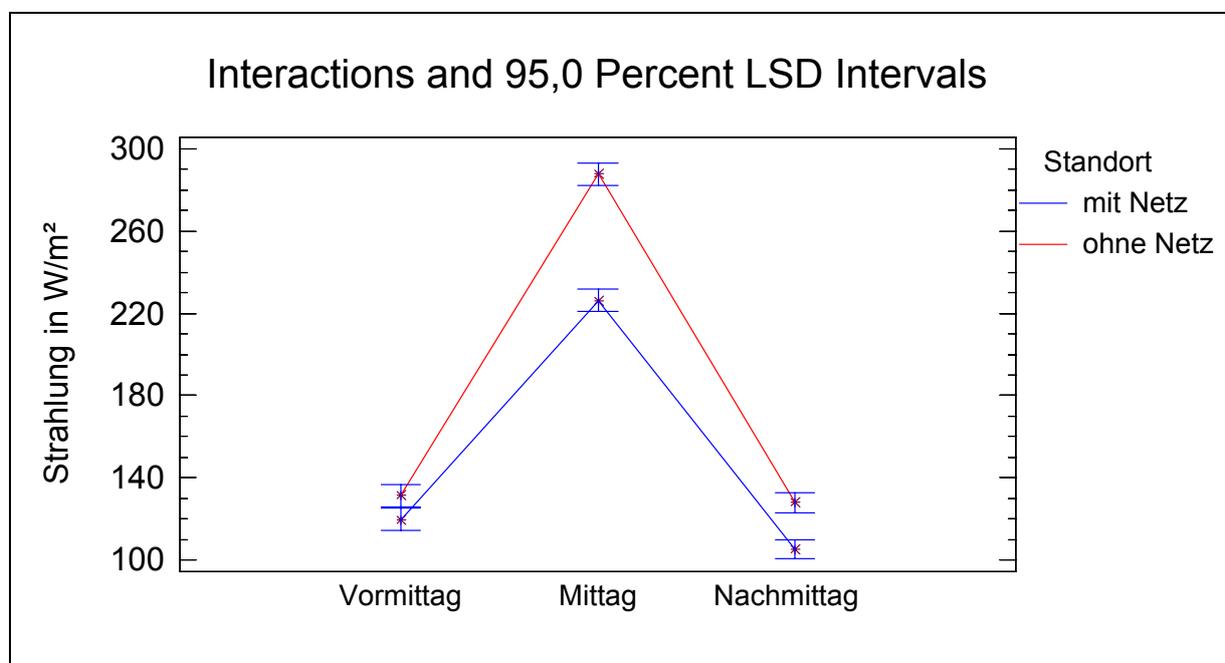


Abbildung 11: Mittelwertvergleich der Hauptkomponente Strahlung zwischen den Tageszeiten Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

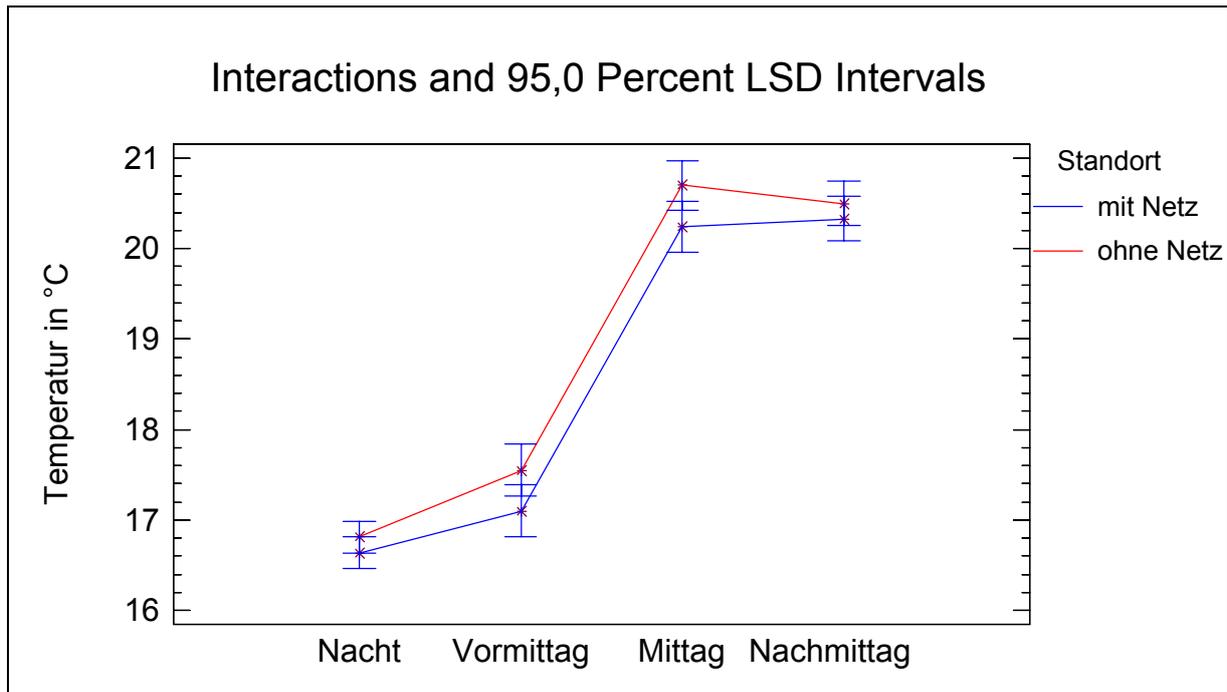


Abbildung 12: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur zwischen den Tageszeiten Nacht, Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

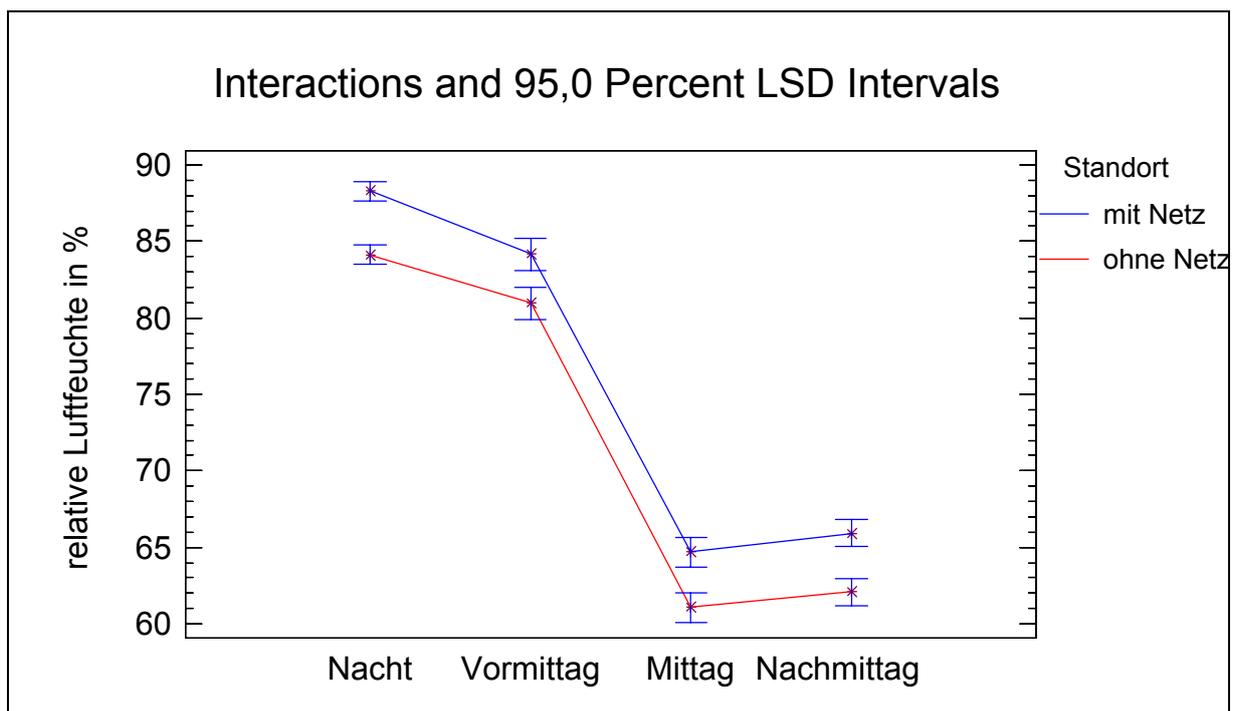


Abbildung 13: Mittelwertevergleich der relativen Luftfeuchte zwischen den Tageszeiten Nacht, Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

Die Hauptkomponente Strahlung war die ganze Tagesperiode am Standort mit Hagelnetz niedriger als in jenem ohne Hagelnetz. Sowohl die Strahlungswerte, als auch der Prozent der Abschwächung durch das Hagelnetz am Vormittag (8,94 %) und am Nachmittag (9,26 %) sind ziemlich ähnlich. Zu Mittag steigen die Strahlungswerte deutlich an, die Abschwächung

durch das Hagelnetz beträgt im Mittel 16,23 % (Abb. 11, Tab. 5).

Die Hauptkomponenten Temperatur (Abb. 12) und relative Luftfeuchte (Abb. 13) verlaufen umgekehrt proportional zueinander. Die niedrigen Temperaturwerte in der Nacht steigen im Laufe des Tages kontinuierlich an, zu Mittagszeit erreichen ihre Höchstwerte und zum Abend hin sinken sie dann langsam wieder, während bei der relativen Luftfeuchte der Trend genau umgekehrt verläuft. In der Nacht werden die Höchstwerte erreicht, die dann zu Mittagszeit wieder absinken. Das höchste Temperatur-, bzw. Luftfeuchtegefälle tritt zwischen Vormittag und Mittag auf.

Der Prozent der Hagelnetzbeschattung bei der Hauptkomponente Temperatur liegt zwischen 0,83 % (Nachmittag) - 2,66 % (Vormittag), bei der relativen Luftfeuchte beträgt die Differenz 3 % am Vormittag, ansonsten immer ca. 4 % (Tab. 5).

4.2 KOMPONENTENANALYSE NACH JAHRESZEITEN

4.2.1 FRÜHLING

4.2.1.1 HAUPTKOMPONENTENANALYSE FÜR DIE JAHRESZEIT FRÜHLING (08.05 - 20.06)

Zu Beginn der Analyse wurden wiederum, wie für das ganze Jahr 2002, mit der PCA-Methode die Hauptkomponenten, jetzt eingeschränkt auf die Jahreszeit Frühling, gebildet. Die Parameter, die miteinander korrelieren, wurden zu einer Hauptkomponente zusammengefasst. Es ergeben sich ähnliche Hauptkomponenten wie zuvor: Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte (Tab. 6, Abb. 14).

Mit den drei Faktoren lässt sich zu 88,80 % die Gesamtvariabilität des Datensatzes erklären. Die Hauptkomponente Strahlung (besteht aus der Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzwellige Strahlungsbilanz und der Gesamtstrahlungsbilanz) trägt zur 53,5 %, die Hauptkomponente Temperatur (besteht aus der Lufttemperatur und den Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe) zur 24,9 % und die relative Luftfeuchte zur 10,4 % zu der Gesamtvariabilität bei (Tab. 6).

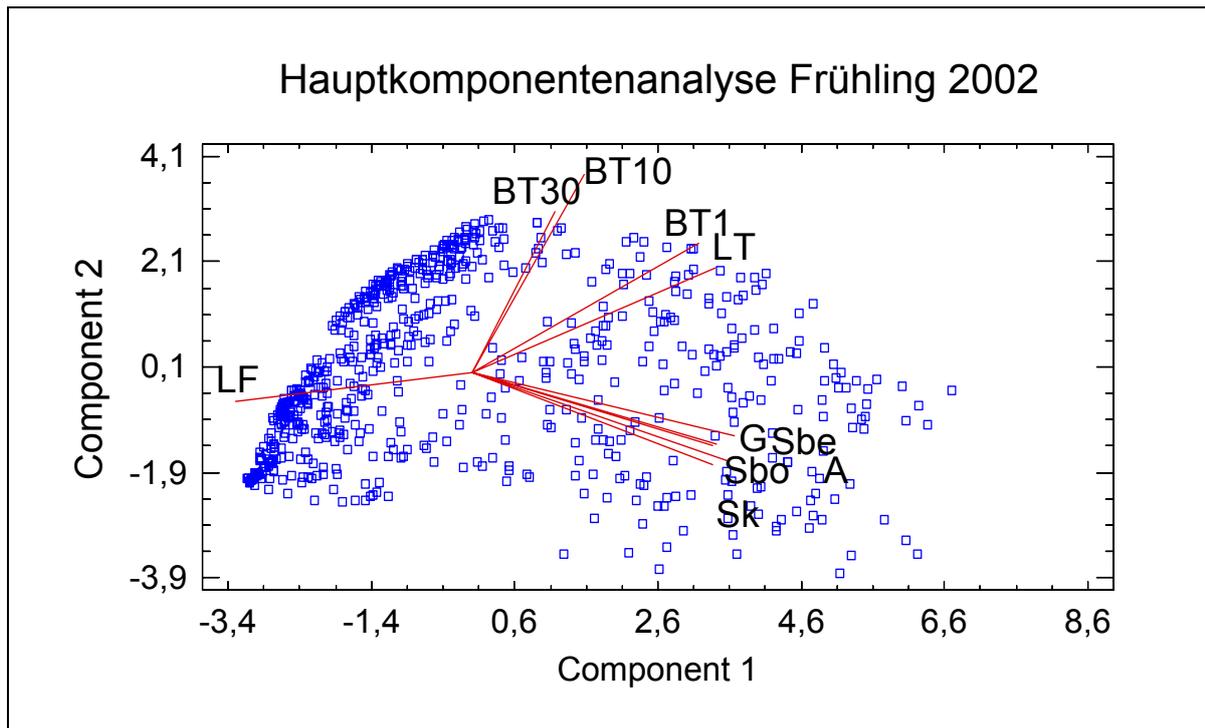


Abbildung 14: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten im Frühling. 1. Strahlung: Global (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und kurzweilige Strahlungsbilanz (Sk) 2. Temperatur: Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1, 10, 30 cm Tiefe (BT1, BT10, BT30), 3. Relative Luftfeuchte (LF) (Erklärung im Text).

Tabelle 6: Hauptkomponentenextraktion mit Gesamtvarianz für Frühling (Erklärung im Text).

Number of components extracted: 3

Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	5,35178	53,518	53,518
2	2,49075	24,907	78,425
3	1,03775	10,378	88,803
4	0,494698	4,947	93,750
5	0,215523	2,155	95,905
6	0,181768	1,818	97,723
7	0,0845497	0,845	98,568
8	0,0746976	0,747	99,315
9	0,0530546	0,531	99,846
10	0,0154283	0,154	100,000

4.2.1.1.1 Hauptkomponente Strahlung

Die Auswirkung der Hagelnetze auf die Hauptkomponente Strahlung in den Apfelbaumreihen wird detailliert dargestellt. Für die Analyse der Hauptkomponente Strahlung wurde die Tagesperiode auf die Zeit zwischen 7.00 und 19.00 Uhr, wie schon dargelegt, begrenzt, die Nachtstunden wurden ausgeschlossen.

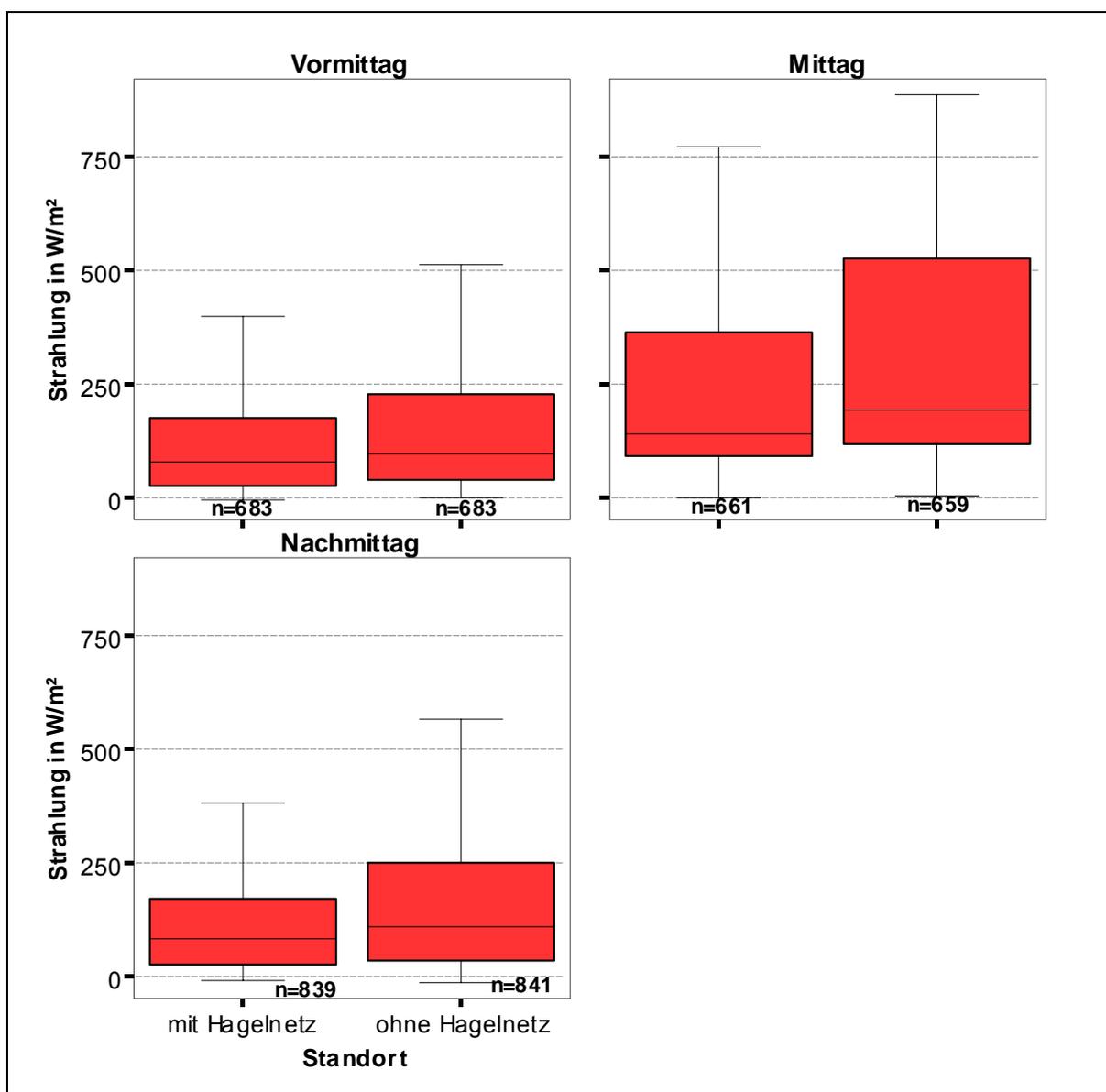


Abbildung 15: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.

Tabelle 7: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Differenzen (%) der Hauptkomponente Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.

	Hauptkomponente Strahlung [W/m^2]					
	mit Hagelnetz		ohne Hagelnetz		Standortdifferenz [%]	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Vormittag	136,93	81,73	161,43	95,99	17,89	17,45
Mittag	255,35	143,54	308,22	194,25	20,71	35,32
Nachmittag	136,18	84,69	169,88	109,42	24,75	29,2
Tagesmittel	176,15	103,32	213,18	133,22	21,11	27,33

Die Boxplot-Darstellung (Abb. 15) spiegelt die Verteilung der Werte der Hauptkomponente Strahlung in W/m^2 am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Frühling wider. Die unterschiedliche Streuung der Messwerte in den Versuchspartellen mit und ohne Hagelnetz wie auch die Medianwerte, die zu allen drei Tageszeiten am Standort mit Hagelnetz niedriger ausfallen zeigen, dass die schwarzen Hagelnetze die Hauptkomponente Strahlung herabsetzen. Am Vormittag sind die Mittelwerte und auch die Medianwerte am Standort mit Hagelnetz um 17 % geringer als am Kontrollstandort. Die Abschwächung der Strahlung durch das Hagelnetz zu Mittag beträgt im Durchschnitt 20 %, die Medianwerte sind zu dieser Tageszeit sogar um 30 % niedriger in der Parzelle mit Hagelnetz. Die Vormittags- und Nachmittagsmittelwerte wie auch die Medianwerte sind ähnlich, der Prozentanteil der Beschattung durch das Hagelnetz ist am Nachmittag jedoch viel höher. Im Tagesdurchschnitt ist die Hauptkomponente Strahlung um 21 % reduziert (Tab. 7).

Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung wird in der Abbildung 16 dargestellt. Besonders hohe Differenz zwischen beiden Versuchspartellen ist von ca. 13.00 Uhr vormittags bis ca. 15.00 Uhr nachmittags erkennbar. Ab 18.00 Uhr sind praktisch keine Unterschiede mehr zu sehen.

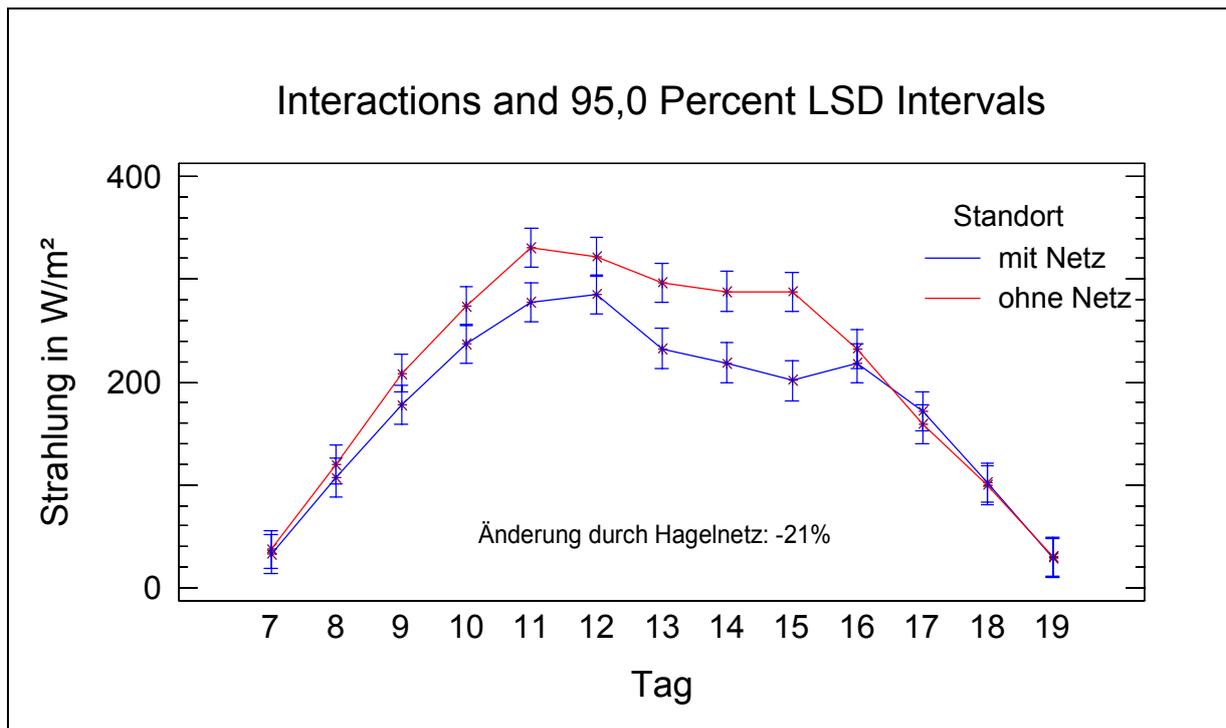


Abbildung 16: Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Frühling vom 08.05. – 20.06.).

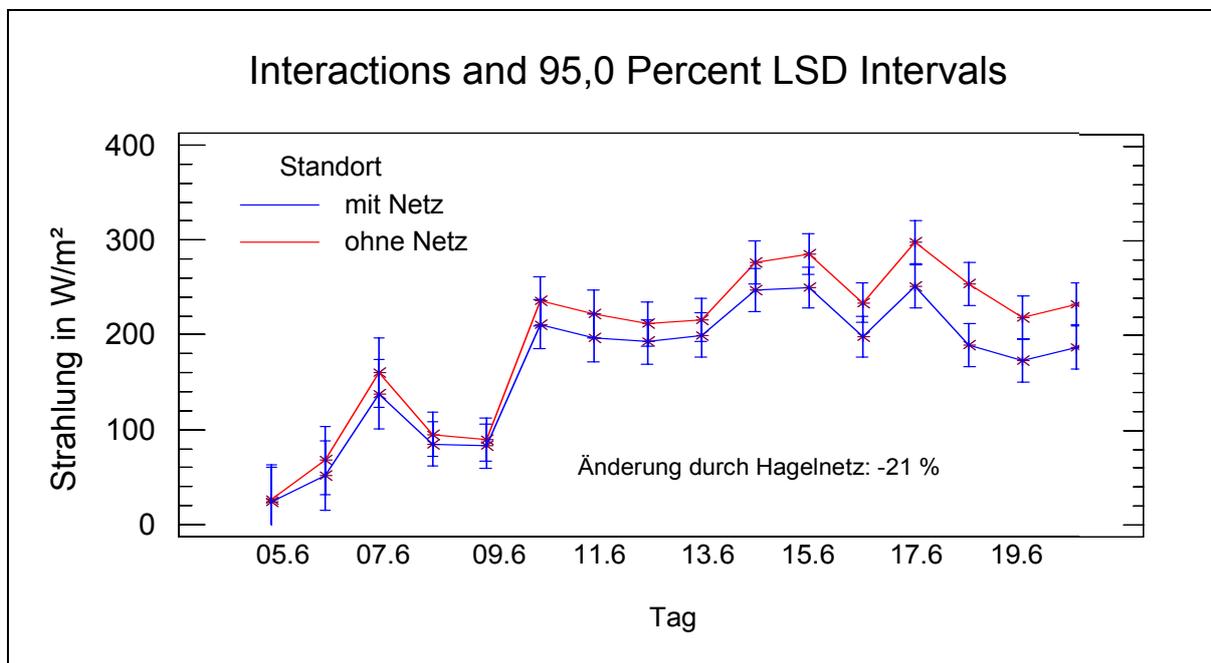


Abbildung 17: Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Frühling von 8.05 – 20.06.

In Abbildung 17 wurden Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung von 05. bis 20. Juni dargestellt. Es ist zu sehen, dass an strahlungsarmen Tagen die Unterschiede zwischen

den beiden Parzellen geringer sind als während einer strahlungsreichen Wetterperiode. Die Hagelnetzabdeckung reduzierte die Hauptkomponente Strahlung im Mittel rund 20 %.

4.2.1.1.2 Hauptkomponenten Temperatur

Die Hauptkomponente Temperatur setzt sich aus den Teilkomponenten, Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1, 10 und 30 cm Tiefe zusammen. In Abbildung 15 wurde die Hauptkomponente tageszeitlich getrennt (Nacht, Vormittag, Mittag, Nachmittag), in Abbildung 18 der Tagesgang grafisch dargestellt.

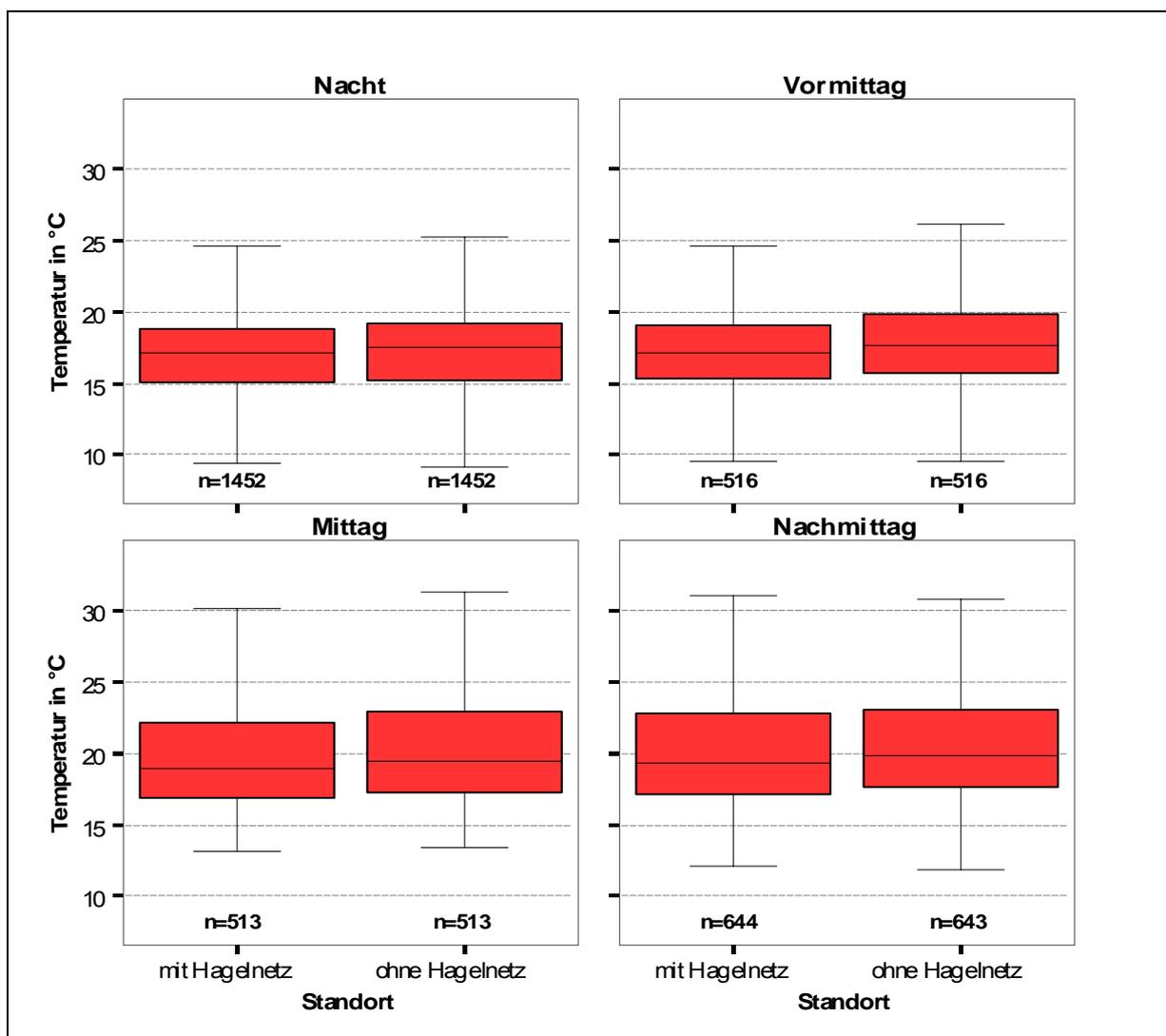


Abbildung 18: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Temperatur (°C) in der Nacht, am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (n = Anzahl der Fälle), dargestellt für die Zeitperiode Frühling.

Tabelle 8: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur (°C) in den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Frühling.

Tageszeiten	Hauptkomponente Temperatur [°C]		Standortdifferenz	
	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	relativ (%)	absolut [°C]
Nacht	17,11	17,39	1,65	0,28
Vormittag	17,46	17,88	2,40	0,42
Mittag	19,78	20,32	2,73	0,54
Nachmittag	20,35	20,68	1,63	0,33
Tagesmittel	18,67	19,07	2,10	0,39

Die Abbildung 18 zeigt die Temperaturverteilung (Hauptkomponente) über vier Tageszeiten (Nacht: 20.00 – 6.00 Uhr, Vormittag, 7.00 Uhr – 10.00 Uhr, Mittag: 11.00 Uhr – 14.00 Uhr, Nachmittag: 15.00 Uhr – 19.00 Uhr) im Frühling. Die Temperaturwerte (Tab. 8) unter der Hagelnetzabdeckung fallen gegenüber jenen ohne Abdeckung immer niedriger aus, die Standortunterschiede sind jedoch nicht sehr hoch (im Tagesmittel 2,1 %). Die meisten Differenzen wurden am Vormittag (2,4 %, bzw. 0,42 °C) und zu Mittag (2,73 %, bzw. 0,54 °C) registriert. Am Nachmittag und in der Nacht sinken sie bis zu ca. 1,64 %. In Tabelle 8 ist zu sehen, dass die Nacht- und der Vormittagswerte ziemlich ähnlich (ca. 17 °C) sind. Auch die Werte zu Mittag und am Nachmittag sind vergleichbar (ca. 20 °C).

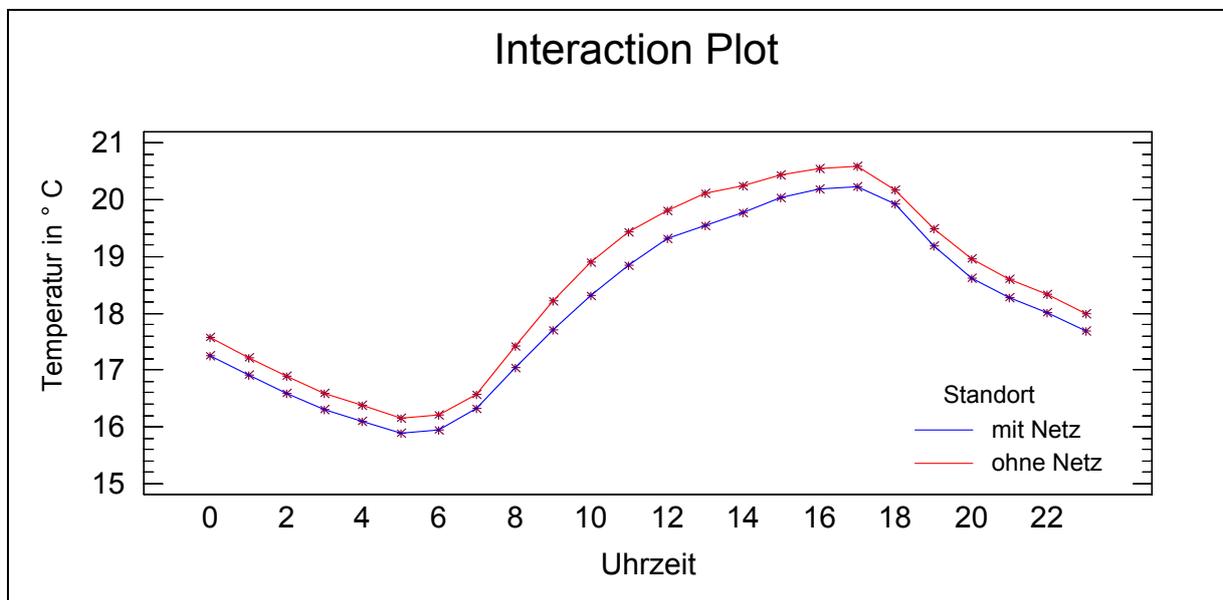


Abbildung 19: Tagesgang der Hauptkomponente Temperatur an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Frühling (08.05. – 20.06.) gemittelte Stundenmittelwerte.

Abbildung 19 stellt den Tagesgang der Temperaturhauptkomponente im Frühling dar. Die Werte unter dem Hagelnetz liegen über die ganze Tagesperiode niedriger als die ohne Hagelnetz. Die Temperaturdifferenzen zwischen den Parzellen schwanken zwischen 0,28 °C

bzw. ca. 1,65 % (Nacht) und 0,54 °C bzw. ca. 2,73 % (Mittag). Im Tagesmittel ist die Temperatur in der abgedeckten Patzelle um ca. 0,39 °C niedriger als in der Parzelle ohne der Hagelnetzabdeckung, was eine Differenz von ca. 2,1 % ergibt (Tab. 8).

4.2.1.1.3 Hauptkomponenten- bzw. Detailanalyse der relativen Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte ist der einzige Messparameter der Hauptkomponente, sodass die Besprechung der Ergebnisse der Hauptkomponente gleichzeitig die Detailanalyse der Feuchte darstellt.

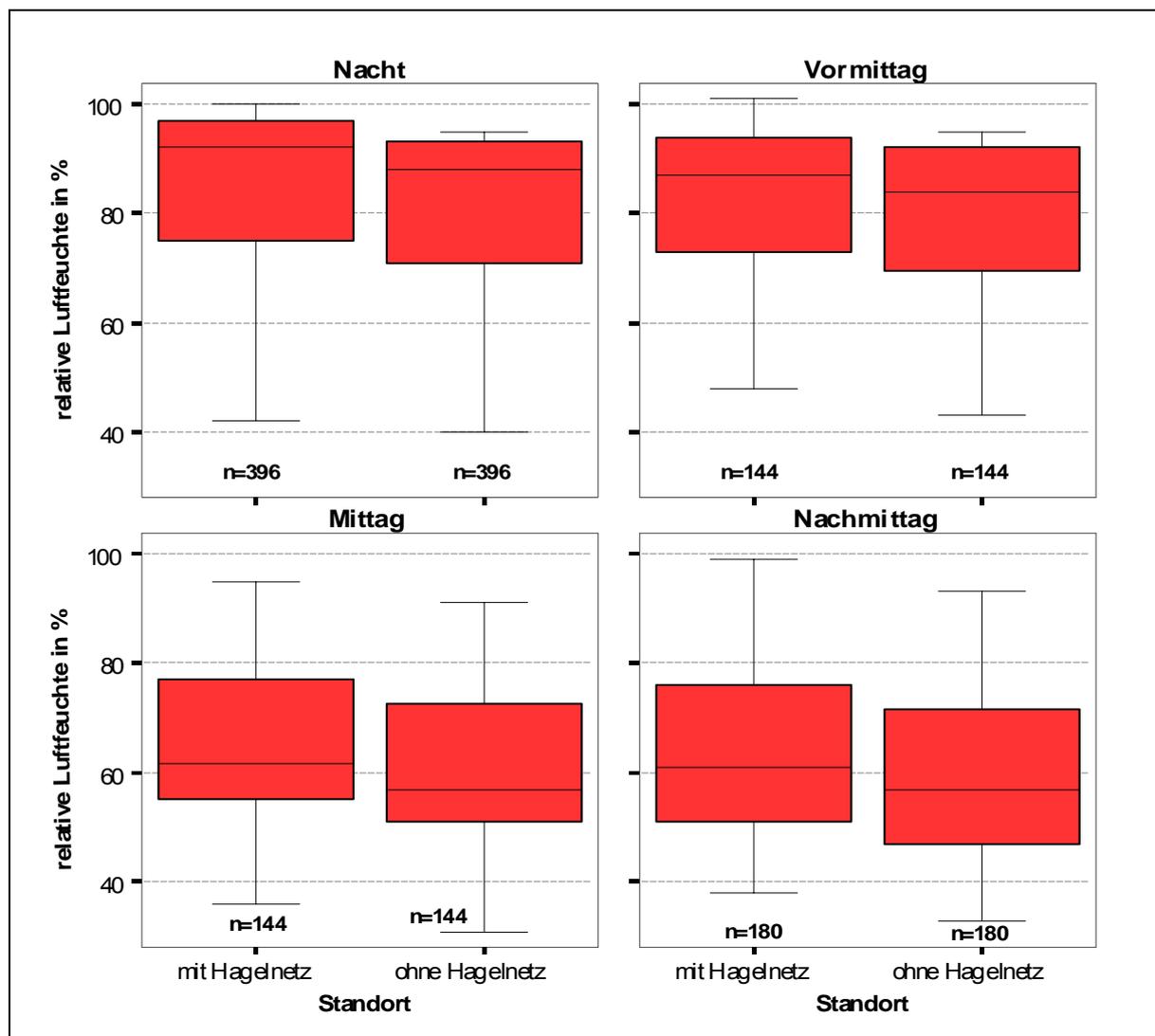


Abbildung 20: Boxplot-Darstellung: Verteilung der relativen Luftfeuchte (%) über die Tageszeiten an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.

Tabelle 9: Tageszeitenmittelwerte und Medianwerte der Luftfeuchte (%) an den Versuchsf lächen mit und ohne Hagelnetz im Frühling.

		relative Luftfeuchte [%]					
		Standort mit Hagelnetz		Standort ohne Hagelnetz		Differenz [%]	
		Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Tageszeit	Nacht	86	92	82	88	-4	-4
	Vormittag	84	87	80	84	-4	-3
	Mittag	65	62	61	57	-4	-5
	Nachmittag	64	61	60	57	-4	-4
	Tagesmittel	78	80	74	75	-4	-4

In Abbildung 20 wurde die Verteilung der relativen Luftfeuchte in den einzelnen Tageszeiten (zeitliche Gliederung siehe Material und Methodik) dargestellt. Die Standortunterschiede wurden aufgrund von Mittel- und Medianwerte festgelegt und in Prozent ausgerechnet (Tab. 9). Die Mittelwerte der relativen Luftfeuchte am Standort mit Hagelnetz liegen die ganze Tagesperiode 4 % über jenen ohne Hagelnetz. Der Medianwert variiert zwar im Tagesverlauf zwischen 3 - 5 %, im Tagesmittel beträgt sie aber ebenfalls 4 %. In der Nacht und am Vormittag war die relative Luftfeuchte sehr hoch, im Mittel 85 % am Standort mit Hagelnetz und 81 % bei der Kontrolle. Zu Mittag bis zu Nachmittagsstunden sank sie bis zu ca. 60 %.

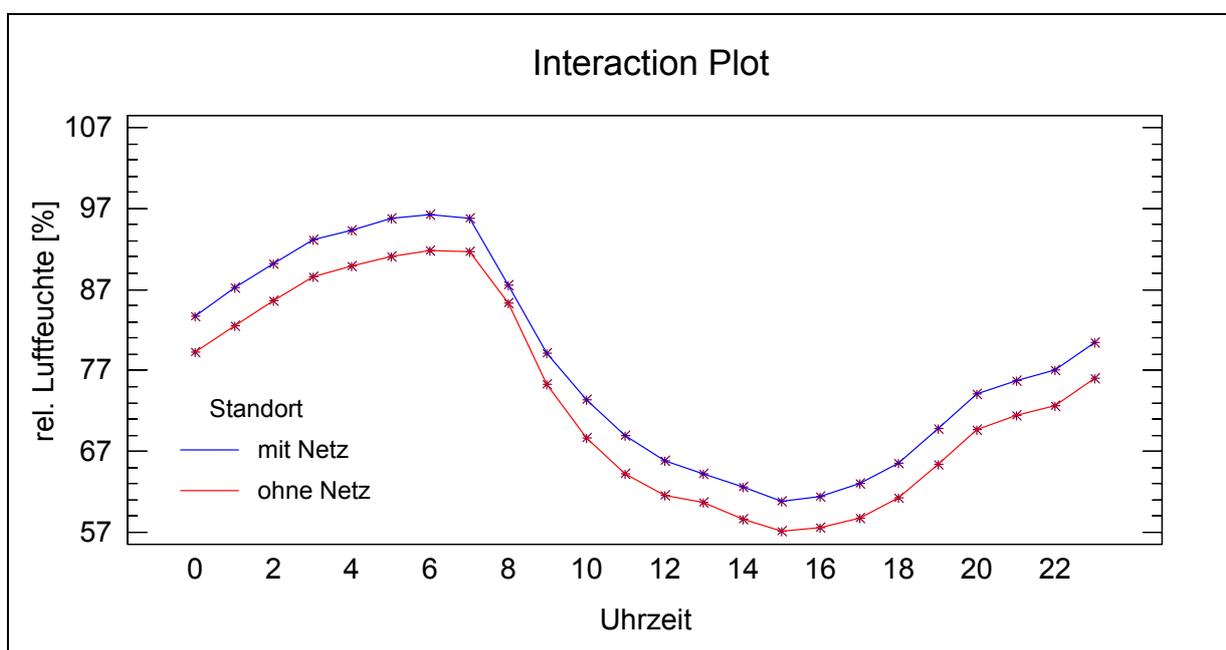


Abbildung 21: Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Frühling. Die Datenpunkte sind über den Frühling gemittelte Stundenmittelwerte.

Der Tagesverlauf der relativen Luftfeuchte in Abbildung 21 zeigt, dass sowohl am Tag als auch in der Nacht die Luft unter der Hagelnetzabdeckung feuchter war. Die höhere Luftfeuchte kann auf Windbremsung durch das Hagelnetz zurückzuführen sein. Zwischen dem Tag-Nachtverlauf der relativen Luftfeuchte in den Parzellen mit und ohne Hagelnetz sind keine Unterschiede zu sehen.

4.2.1.2 DETAILANALYSE DER MIKROKLIMATISCHEN PARAMETER IM FRÜHLING

4.2.1.2.1 Detailanalyse der Strahlungsparameter

Um zu sehen, welcher der gemessenen Parameter am meisten dem Einfluss des Hagelnetzes unterliegt, wurde die Hauptkomponente Strahlung in ihre Messparameter zerlegt und sowohl grafisch (Abb. 22, 23) als auch tabellarisch (Tab. 11) dargestellt. Für die Analyse der Strahlungsparameter wurde aus dem zur Verfügung stehenden Datensatz die Nachtzeit ausgeschlossen. Die Tagesperiode wurde mit der Zeit von 7.00 bis 19.00 Uhr begrenzt.

Zusätzlich wurde eine Tabelle 10 mit Prozentanteile der gültigen und fehlenden Messwerte der Strahlungsparameter im Frühling hergestellt.

Tabelle 10: Prozentanteile der gültigen und fehlenden Strahlungswerte im Frühling. (n = Anzahl der Fälle).

Strahlungsart	Verarbeitete Fälle n					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	n	Prozent	n	Prozent	n	Prozent
Globalstrahlung	936	100,0%	0	,0%	936	100,0%
Albedo	824	88,0%	112	12,0%	936	100,0%
Strahlung am Boden	936	100,0%	0	,0%	936	100,0%
Strahlung im Bestand	410	43,8%	526	56,2%	936	100,0%
Kurzwellige Bilanz	338	36,1%	598	63,9%	936	100,0%
Gesamtbilanz	922	98,5%	14	1,5%	936	100,0%

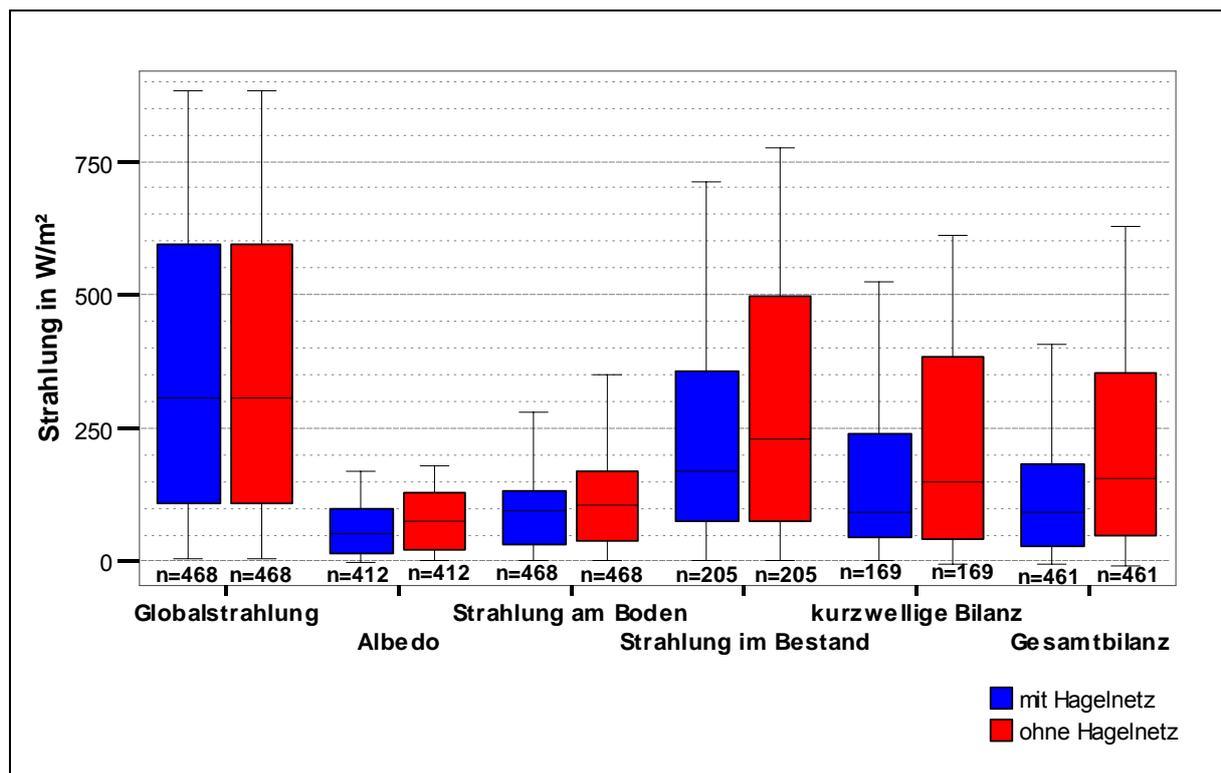


Abbildung 22: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter (W/m²) über eine Tagesperiode von 7.00 - 19.00 Uhr an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling.

Tabelle 11: Median- und Mittelwerte sowie die Standortdifferenzen der Strahlung (%) am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Frühling: Global (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo), kurzweilige Strahlungsbilanz (Sk) und Gesamtstrahlung.

Tageszeit	Strahlung [W/m ²]	Standort				Standortdifferenzen in %	
		mit Hagelnetz		ohne Hagelnetz			
		Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Vormittag	G	270,95	222,05	270,95	222,05	0,00	0,00
	A	49,73	34,96	64,79	54,51	30,28	55,92
	Sbo	80,64	61,3	70,76	64,83	-12,25	5,76
	Sbe	169,98	152,09	243,54	209,42	43,28	37,69
	Sk	122,6	76,97	186,06	168,16	51,76	118,47
	S	129,4	71,63	184,42	117,22	42,52	63,65
Mittag	G	561,21	660,62	561,21	660,62	0,00	0,00
	A	94,4	109,49	107,44	123,11	13,81	12,44
	Sbo	123,67	121,44	167,71	147,43	35,61	21,40
	Sbe	357,84	349,46	472,42	601,4	32,02	72,09
	Sk	254,27	205,42	386,18	492,09	51,88	139,55
	S	173,89	126,46	270,74	235,74	55,70	86,41
Nachmittag	G	290,21	238,33	290,21	238,33	0,00	0,00
	A	43,28	37,38	64,4	56,12	48,80	50,13
	Sbo	93,49	84,01	131,9	96,27	41,08	14,59
	Sbe	179,45	126,05	196,32	131,6	9,40	4,40
	Sk	135,62	79,16	110,15	45,9	-18,78	-42,02
	S	86,29	80,43	189,04	134,72	119,08	67,50
Tagesmittel	G	367,67	307,62	367,67	307,62	0,00	0,00
	A	60,72	51,71	77,48	75,45	27,60	45,91
	Sbo	98,82	94,71	124,11	105,75	25,59	11,66
	Sbe	229,58	168,43	293,22	229,16	27,72	36,06
	Sk	165,71	92,62	215,34	147,22	29,95	58,95
	S	126,17	92,55	211,88	155,1	67,93	67,59

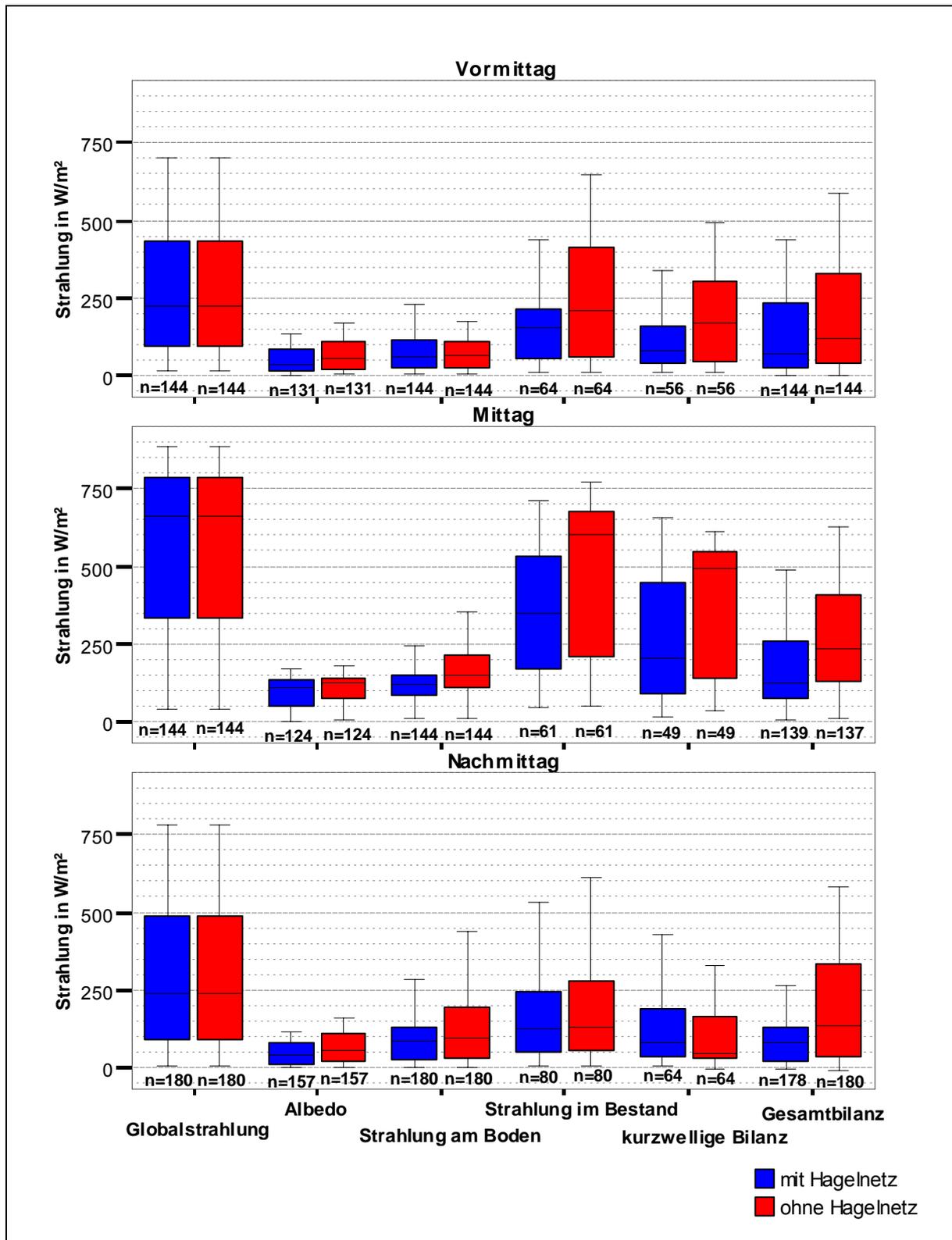


Abbildung 23: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter (Mittel der Vormittags-, Mittags- und Nachmittags-Mittelwerte während der Frühlingsperiode): Global, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzweilige Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz, an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz.

In Abbildung 22 wurde eine Verteilung der Messwerte der Globalstrahlung (3 m Höhe), Albedo (1,5 m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe), Strahlung am Boden, kurzweilige Strahlungsbilanz (1,5 m Höhe) sowie Gesamtstrahlungsbilanz (1,5 m Höhe) dargestellt. In Abbildung 23 wurden die Messwerte auf die Tageszeiten Vormittag, Mittag und Nachmittag aufgeteilt.

Sowohl in Abbildung 22 als auch in Abbildung 23 sind die Medianwerte wie auch die Streuung der Werte am Standort mit Hagelnetz in den meisten Fällen niedriger. Eine Ausnahme bildet die kurzweilige Strahlungsbilanz am Nachmittag (Abb. 23), die am Standort mit Hagelnetz höher ausfällt. Die Globalstrahlung in 3 m Höhe erreicht bis zu 800 W/m^2 und gilt für beide Versuchspartellen. Der Streubereich (50 % der Messwerte) umfasst die Werte zwischen 100 und 400 W/m^2 am Vormittag, zwischen 350 und 750 W/m^2 zu Mittag und zwischen 100 und 500 W/m^2 am Nachmittag (Abb. 23). Im Tagesmittel liegt der Streubereich zwischen 100 und 600 W/m^2 (Abb. 22). Für die Globalstrahlung sind weder die Belaubung, noch die Hagelnetze von Bedeutung, sie wird vom Sonnenstand und der Bewölkung bestimmt. Wenn man die Strahlungsmessungen (Abb. 22, 23) im Bestand in 1,5 m Höhe bzw. am Boden mit der Globalstrahlung vergleicht, sieht man eine starke Reduzierung durch die Belaubung im Bestand (Kontrollstandort) und zusätzlich durch die Hagelnetzabdeckung (Standort mit Hagelnetz). Die Strahlung am Boden wird so um ca. zwei Drittel reduziert. Bei der Einstrahlung in 1,5 m Höhe im Bestand wie auch bei der kurzweiligen Strahlungsbilanz sind die Medianwerte zu Mittag in der Parzelle mit Hagelnetz deutlich niedriger als am Kontrollstandort. In Tabelle 11 sind die Median- und Mittelwerte sowie auch die Standortdifferenzen zahlenmäßig wiedergegeben.

4.2.1.2.1.1 Tagesgang der Strahlungsparameter im Frühling

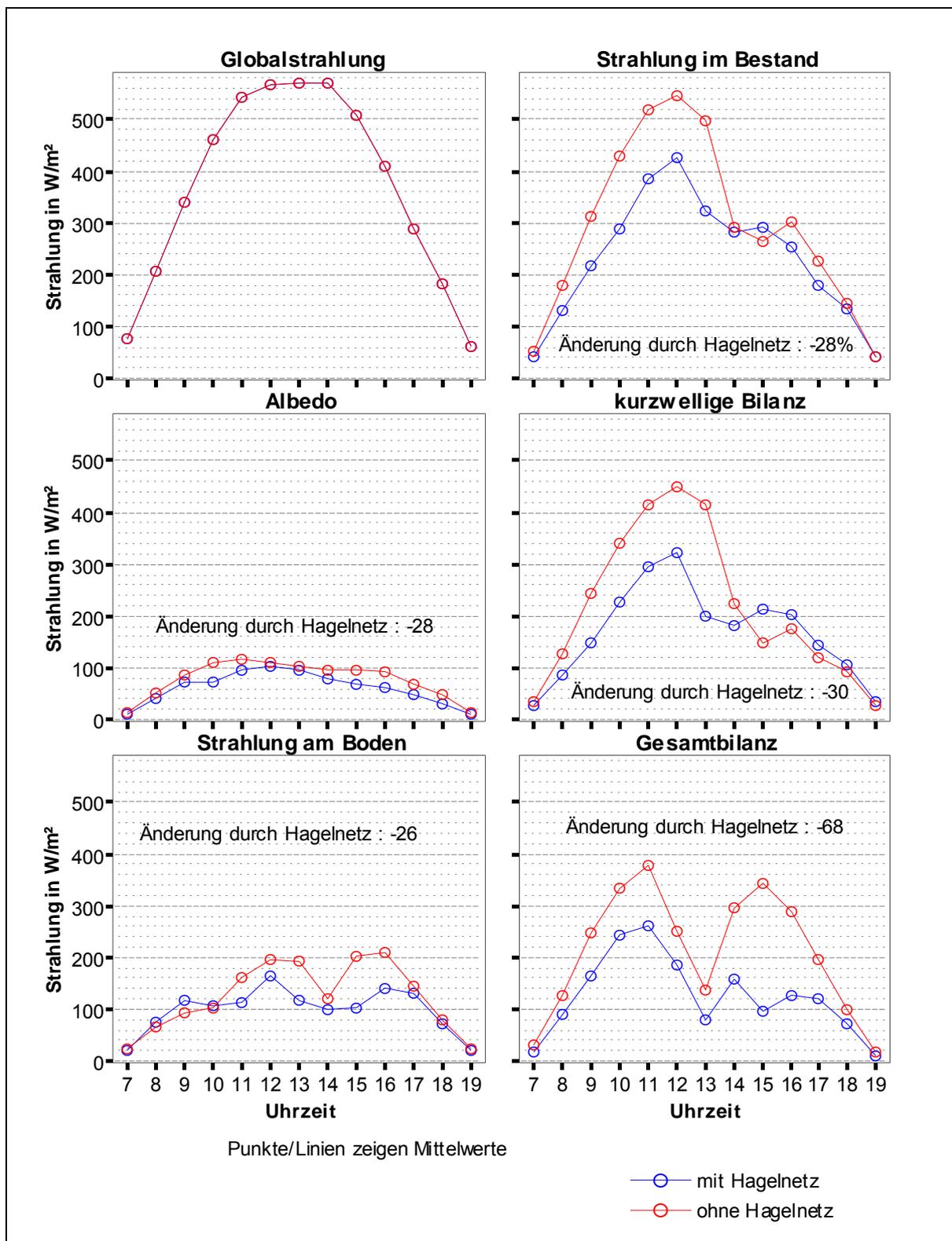


Abbildung 24: Tagesgang von Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzweiliger Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Frühling (08.05. – 20.06.) gemittelte Stundenmittelwerte.

Die Strahlungswerte an den unterschiedlichen Messpunkten und in den verschiedenen Messparametern liegen im Bereich von ca. 0 bis 600 W/m² (Abb. 24). Durch die Standortsituation wird der mittlere Verlauf (berechnet für die Frühlingsperiode) der Globalstrahlung abgeändert. Der im Wesentlichen glockenförmige Verlauf der Globalstrahlung im Tagesgang, erleidet nicht nur eine quantitative Schwächung, sondern auch Einbrüche in glockenförmigen Verlauf, die um 13.00 Uhr bei Albedo und Bilanzstrahlung, bei den anderen etwas später, von 14.00 bis 15.00 Uhr zu registrieren sind.

Im Durchschnitt werden 28 % der von der Erdoberfläche reflektierter Strahlung vom Hagelnetz geschwächt. Um eben so viel wird die Strahlungsdurchlässigkeit im Bestand reduziert (Abb. 24).

Die kurzweilige Strahlungsbilanz zeigt um ca. 30 % niedrigere Werte unter einer Hagelnetzabdeckung gegenüber der Kontrolle. Sie erreicht bis 14 Uhr tagsüber Werte von über 400 W/m² am Kontrollstandort. Bis in die Abendstunden weist die kurzweilige Bilanz unter dem Hagelnetz höhere Werte auf.

Die Änderung der Gesamtbilanz durch das Hagelnetz liegt im Durchschnitt bei 68 %. Das ist ein sehr hoher Wert, der nur aufgrund der Einnetzung nicht erklärbar wäre. Die Ergebnisse zeigen, dass Licht-Schatten-Effekte messtechnisch wirksam werden und so die Messung im Bestand beeinträchtigen. Derartige Bilanzmessungen sind also nur dann sinnvoll, wenn sie über dem Bestand durchgeführt werden.

4.2.1.3 DETAILANALYSE DER LUFT- UND BODENTEMPERATUREN IN 1, 10 UND 30 CM TIEFE IM FRÜHLING

Um zu sehen, wieweit Hagelnetze auf die Luft- und Bodentemperatur Einfluss nehmen, wurden für die Lufttemperatur und die Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe über die Frühlingsperiode Mittelwerte berechnet und grafisch dargestellt (Abb. 25).

Aus der Abbildung 25 ist abzulesen, dass die Standortsunterschiede mit der Bodentiefe steigen. Bei der Lufttemperatur (in 1,5 m Höhe) beträgt die Differenz zwischen beiden Parzellen 0,2° C, in der obersten Bodenschicht (1 cm) 0,3° C. In 10 und 30 cm Bodentiefe betragen die Differenzen 0,5° C.

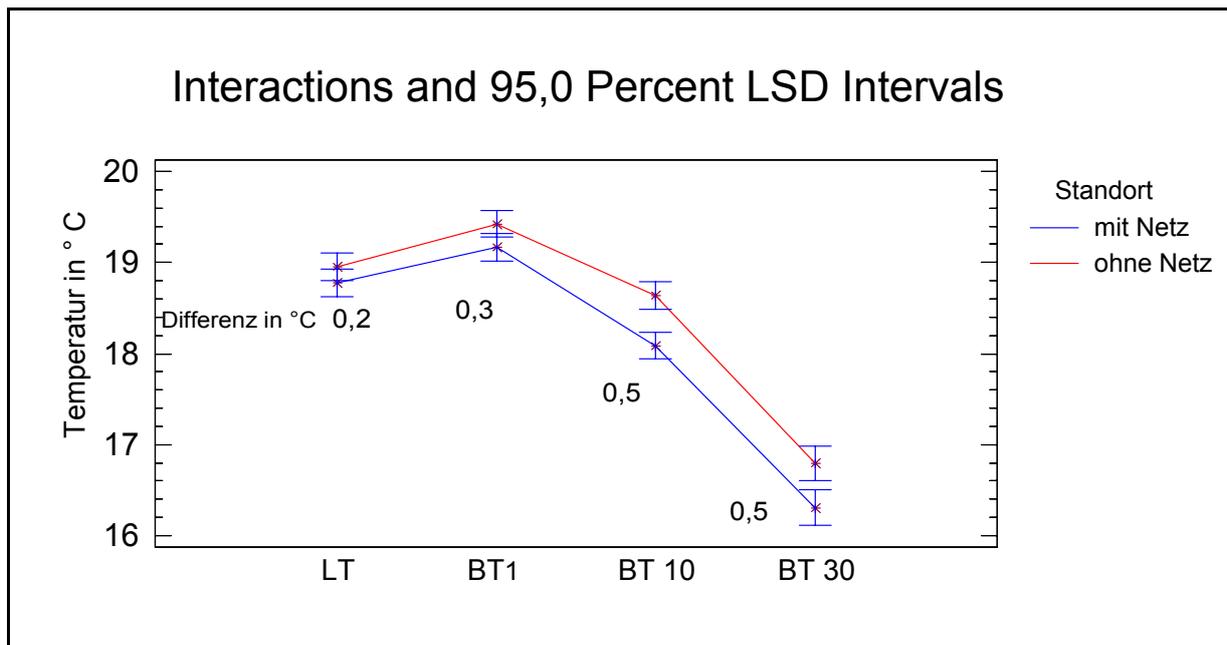


Abbildung 25: Mittelwertvergleich der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (B1), in 10 cm (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling 2002.

4.2.1.3.1 Verteilung der Temperaturwerte zu den Tageszeiten im Frühling

Die Lufttemperatur (LT), die Bodentemperatur in 1 cm Tiefe (BT1), Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (BT10) und Bodentemperatur in 30 cm Tiefe (BT30) wurden unter Berücksichtigung der Tageszeiten (genaue Einteilung siehe Material und Methodik) für beide Standorte, mit und ohne Netz, grafisch dargestellt (Abb. 26).

Generell lässt sich sagen, dass die Temperatur in der Parzelle mit einer Hagelnetzabdeckung niedriger lag, als die am Kontrollstandort.

Die Balkendiagramme (Abb. 26) zeigen Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern mit und ohne Hagelnetz sowohl in der Lufttemperatur und der Temperatur in verschiedenen Bodentiefen, als auch die in den Temperaturen zu verschiedenen Tageszeiten (Tab. 11).

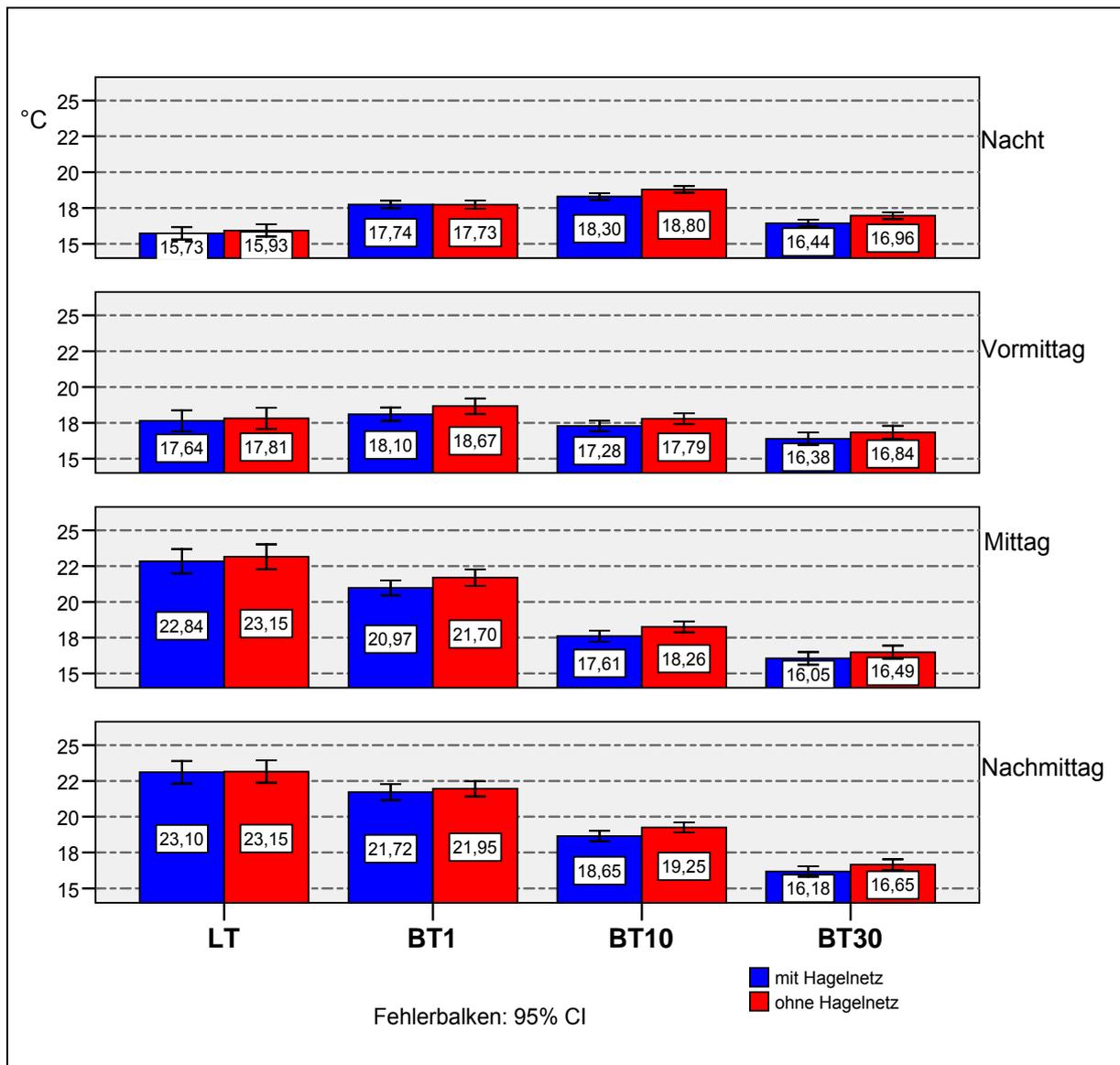


Abbildung 26: Balkendiagramm-Darstellung der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (B1), in 10 cm (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. (Datenpunkte sind Tageszeitenmittelwerte von Messungen im Frühling vom 08.05. – 20.06.)

Die Standortunterschiede waren bei der Lufttemperatur am geringsten und bei der Bodentemperatur in 30 cm Tiefe am höchsten. In der Nacht und auch noch am Vormittag war die Lufttemperatur niedriger als die Bodentemperatur. Zu Mittag stiegen sowohl die Lufttemperaturwerte, als auch die Differenzen zwischen den beiden Versuchspartellen deutlich an. Ersichtlich ist auch in Abbildung 27, dass die Lufttemperatur zur Mittagszeit die höchsten Standortdifferenzen aufwies. Auffallend ist die langsame Temperatursenkung im Boden im Vergleich zur Lufttemperatur, was auf das Wärmespeichervermögen des Bodens zurückzuführen ist. Die Bodentemperaturen in 10 und 30 cm Tiefe sind im Vergleich zur Lufttemperatur und der Bodentemperatur in 1 cm Tiefe stabil.

4.2.1.3.2 Tagesgang der Temperatur der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Frühling

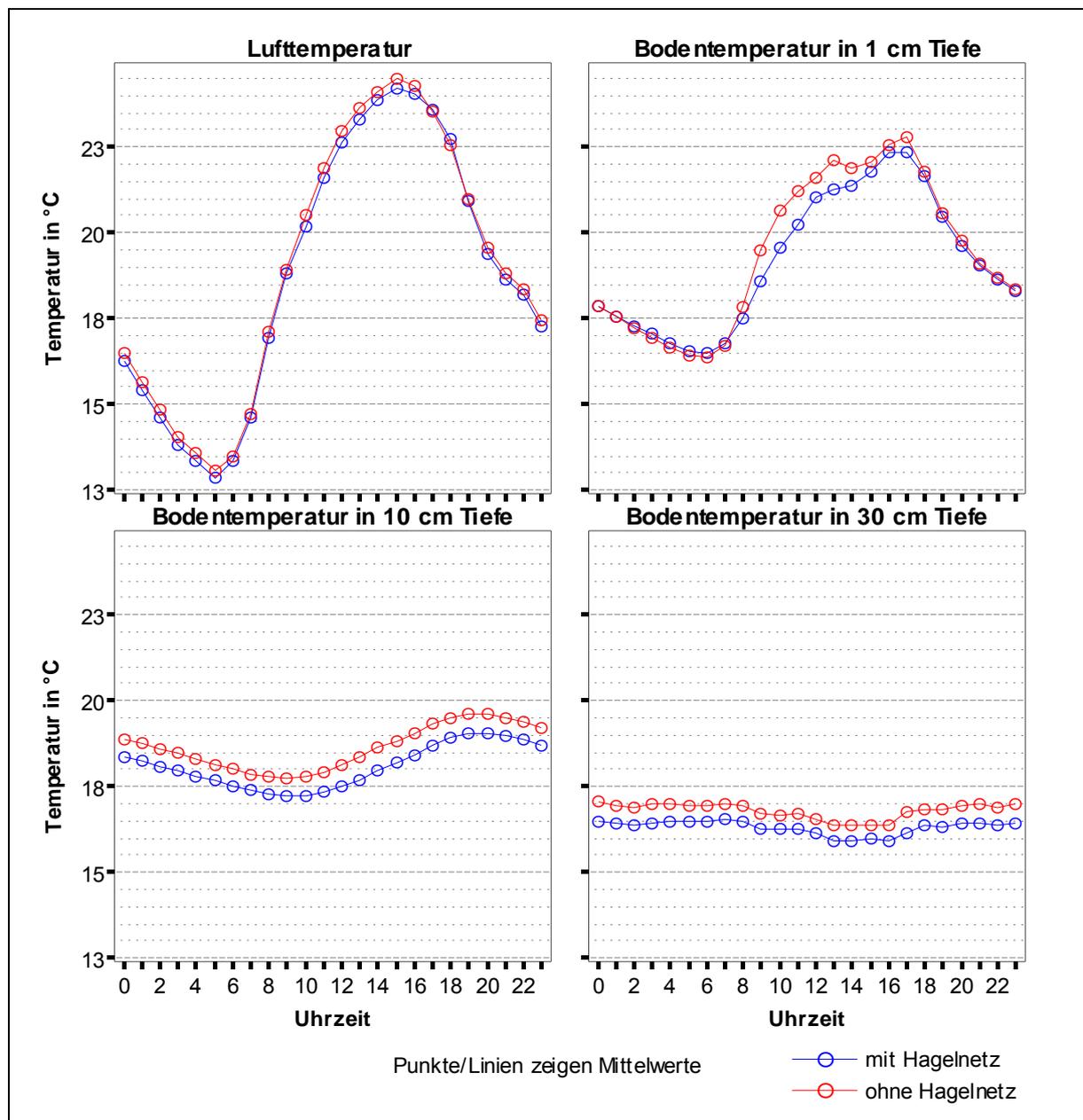


Abbildung 27: Tagesgang der über den Frühling (08.05 – 20.06) gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, Bodentemperatur in 1, 10 und 30 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.

Tabelle 12: Mittelwerte und Standortdifferenzen [%] der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1 (B1), 10 (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (HN) im Frühling.

Tageszeit	LT [°C]			BT1 [°C]			BT10 [°C]			BT30 [°C]		
	mit HN	ohne HN	Diff. [%]	mit HN	ohne HN	Diff. [%]	mit HN	ohne HN	Diff. [%]	mit HN	ohne HN	Diff. [%]
Nacht	15,73	15,93	1,2	17,74	17,73	-0,1	18,30	18,80	2,7	16,44	16,96	3,2
Vormittag	17,64	17,81	0,9	18,10	18,67	3,1	17,28	17,79	2,9	16,38	16,84	2,8
Mittag	22,84	23,15	1,4	20,97	21,70	3,5	17,61	18,26	3,7	16,05	16,49	2,7
Nachmittag	23,10	23,15	0,2	21,72	21,95	1,1	18,65	19,25	3,2	16,18	16,65	2,9
Tagesmittel	18,77	18,95	1,0	19,17	19,43	1,3	18,09	18,63	3,0	16,32	16,81	3,0

In Abbildung 28 ist Verlauf der Lufttemperatur in der Versuchsparzelle mit und ohne Hagelnetz für die Nachmittagsstunden herausgenommen worden, um zu zeigen, dass nicht immer die Temperatur in der Parzelle ohne Hagelnetz höher ist, sondern in den Nachmittagsstunden auch darunter liegen kann. Möglicherweise ist dies auf unterschiedliche Sonneneinstrahlungsverhältnisse zurückzuführen, auch wenn die Versuchspartzellen unmittelbar nebeneinander lagen.

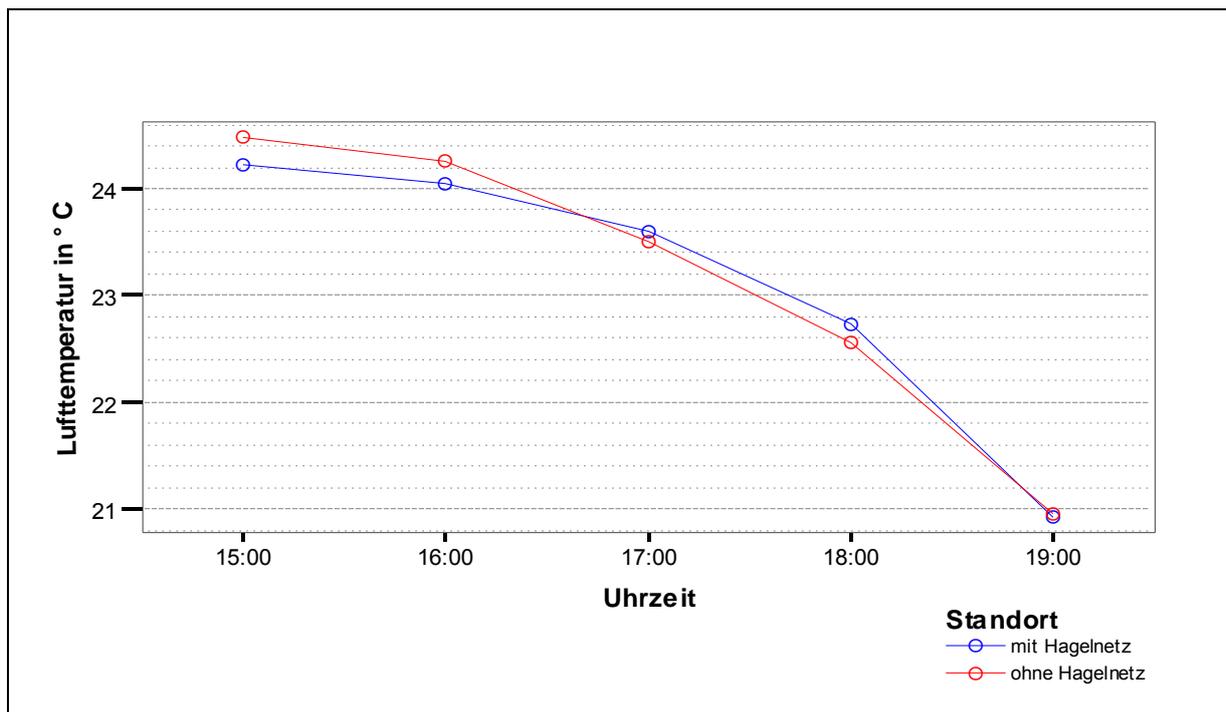


Abbildung 28: Die über den Frühling gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur von 15.00 bis 19.00 Uhr an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.

4.2.2 SOMMER

4.2.2.1 HAUPTKOMPONENTENANALYSE FÜR DIE JAHRESZEIT SOMMER (21.06 – 22.09)

Die Jahreszeit Sommer wurde analog zu Jahreszeit Frühling vorerst mit einer PCA-Methode, bezüglich der Hauptkomponenten unterworfen. Die Parameter, die miteinander korrelieren, wurden zu einer Hauptkomponente zusammengefasst.

Insgesamt wurden bei der PCA-Analyse drei Hauptkomponenten, Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte, extrahiert. Mit den drei Faktoren lässt sich zu 90,4 % die Gesamtvariabilität des Datensatzes erklären. Die Hauptkomponente Strahlung (zusammengefasst aus der Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und der kurzwellige Strahlungsbilanz) trägt zur 65,7 %, die Hauptkomponente Temperatur (zusammengefasst aus der Lufttemperatur und den Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe) zur 15,6 % und die relative Luftfeuchte zur 9,1 % zu der Gesamtvariabilität bei (Tab. 13, Abbildung 29).

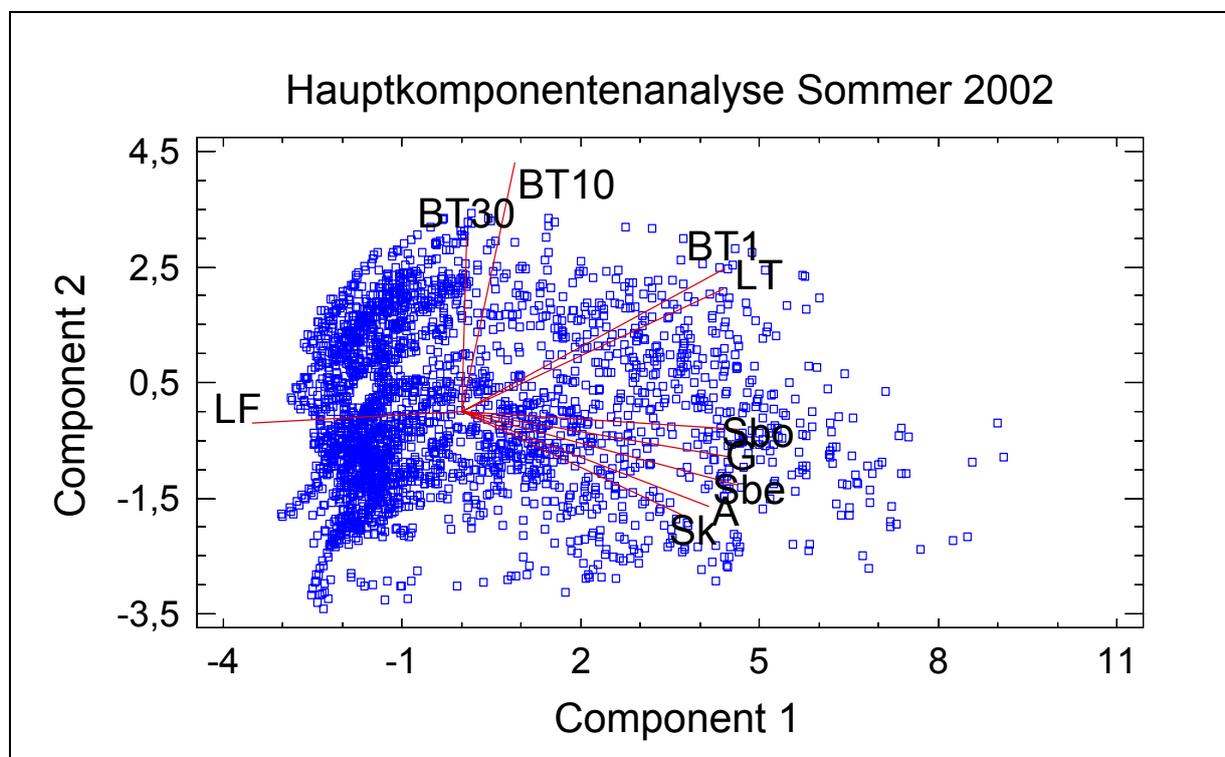


Abbildung 29: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten für die Jahreszeit Sommer 1. Strahlung; Global (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk), 2. Temperatur; Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1, 10, 30 cm Tiefe (BT1, BT10, BT30), 3. Relative Luftfeuchte (LF). (Erklärung im Text).

Tabelle 13: Hauptkomponentenextraktion mit einer Gesamtvarianz für Sommer (Erklärung im Text).

Number of components extracted: 3			
Principal Components Analysis			
Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	7,2238	65,671	65,671
2	1,71347	15,577	81,248
3	1,0052	9,138	90,386
4	0,384211	3,493	93,879
5	0,248391	2,258	96,137
6	0,15608	1,419	97,556
7	0,133796	1,216	98,772
8	0,068289	0,621	99,393
9	0,0490657	0,446	99,839
10	0,0176979	0,161	100,000
11	0,0	0,000	100,000

4.2.2.1.1 Hauptkomponente Strahlung

Für die Analyse der Strahlungsparameter wurde aus dem zur Verfügung stehenden Datensatz ähnlich, wie im Frühling, die Nacht ausgeschlossen. Die zu untersuchende Tagesperiode dauert von 7.00 bis 19.00 Uhr. Die Hauptkomponente wurde aus der Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und der kurzweilige Strahlungsbilanz zusammengefasst.

Tabelle 14: Median- und Mittelwerte sowie die Standortdifferenzen (%) der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Sommer.

	Hauptkomponente Strahlung [W/m^2]					
	mit Hagelnetz		ohne Hagelnetz		Standortdifferenz [%]	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Vormittag	130,54	69,50	137,19	77,11	5,09	10,94
Mittag	229,44	141,60	308,06	201,14	34,27	42,05
Nachmittag	103,39	57,99	125,72	71,54	21,60	23,37
Tagesmittel	154,46	89,70	190,32	116,60	20,32	25,45

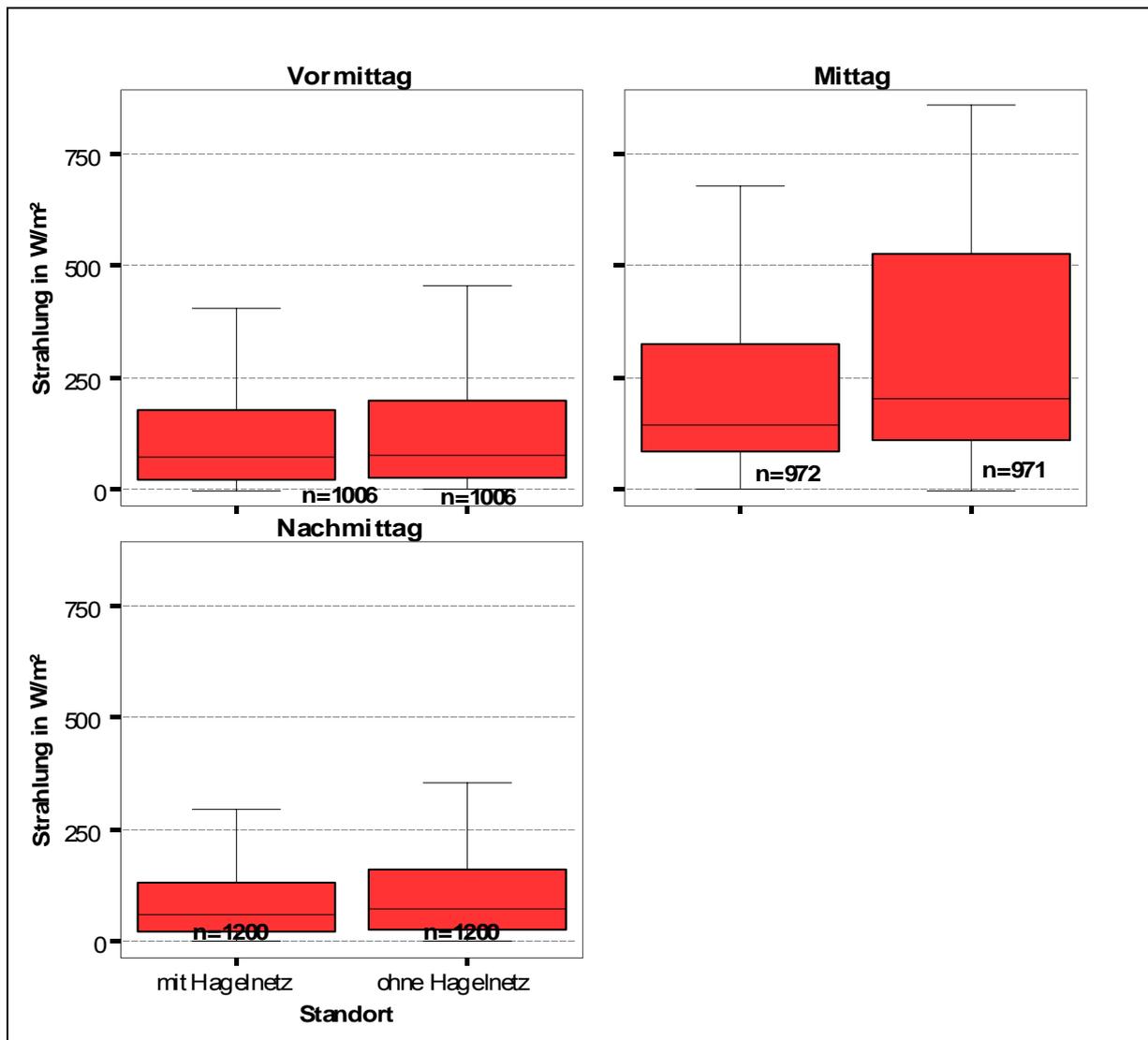


Abbildung 30: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Anzahl der Fälle).

Die Boxplot-Darstellung (Abbildung 30) gibt die Verteilung der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Sommer wieder. In Tabelle 14 sind zusätzlich die Median- und Mittelwerte wie auch die Differenz (%) zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz in Zahlen ausgedrückt. Zu allen drei Tageszeiten sind die Strahlungswerte unter dem Hagelnetz niedriger gegenüber der Kontrolle. Die Werte des Vor- und Nachmittags sind viel niedriger und weisen geringere Streuung auf als die Werte zu Mittagszeit. Obwohl es im Boxplot (Abb. 30) kaum zu sehen ist, ist die Abschwächung durch Hagelnetz am Vormittag, die im Mittel bei ca. 5,09 % liegt, deutlich niedriger als am Nachmittag (Tab. 14).

Zu Mittagszeit steigt die Standortdifferenz (34,27 %) mit zunehmender Strahlungsintensität. Die Mittagswerte unter dem Hagelnetz streuen viel weniger auseinander als die in der

Kontrollparzelle (Abb. 30, Tab. 14). Der Nachmittagsmittelwert ist unter dem Hagelnetz um ca. 21,60 % (die Medianwert um 23,37 %) niedriger als am Standort ohne Hagelnetz.

Im Tagesmittel beträgt die Hauptkomponente Strahlung im Sommer ca. 154,46 W/m² unter der Hagelnetzabdeckung und ca. 190,32 W/m² bei der Kontrolle, was eine Standortdifferenz von 25,45 % ergibt.

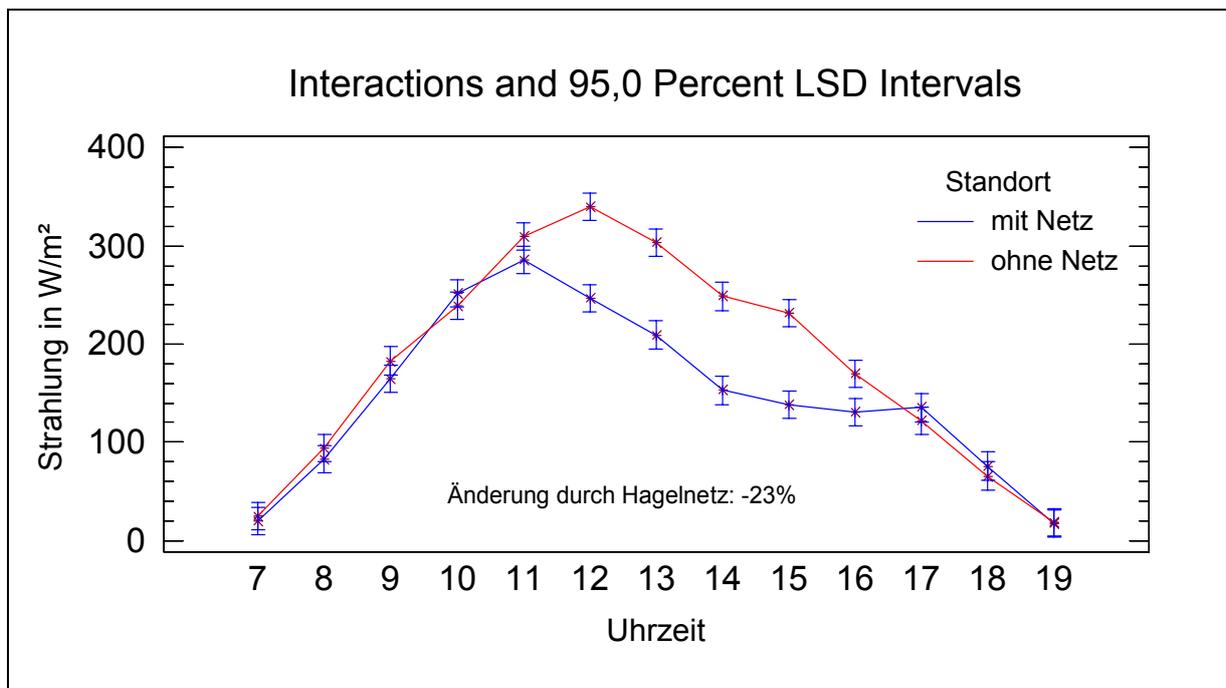


Abbildung 31: Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Sommer 2002 (21.06. – 22.09.).

Die Abbildung 31 zeigt den Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz. In den Morgenstunden (ca. 7.00 – 9.00 Uhr) ist die Abschwächung durch Hagelnetz gering. Um 10.00 Uhr vormittags war die Hauptkomponente Strahlung am Kontrollstandort einem Schatteneffekt ausgesetzt, deswegen ist sie in der Stunde niedriger als in der Parzelle mit Hagelnetz. In dem Zeitraum zwischen ca. 12.00 und 16.00 Uhr liegen die Strahlungswerte der beiden Standorte weit auseinander. Ab 17.00 Uhr sind die Werte unter dem Hagelnetz höher als bei der Kontrolle, was wieder auf die Licht-Schatten-Klima in einem Pflanzenbestand zurückzuführen ist.

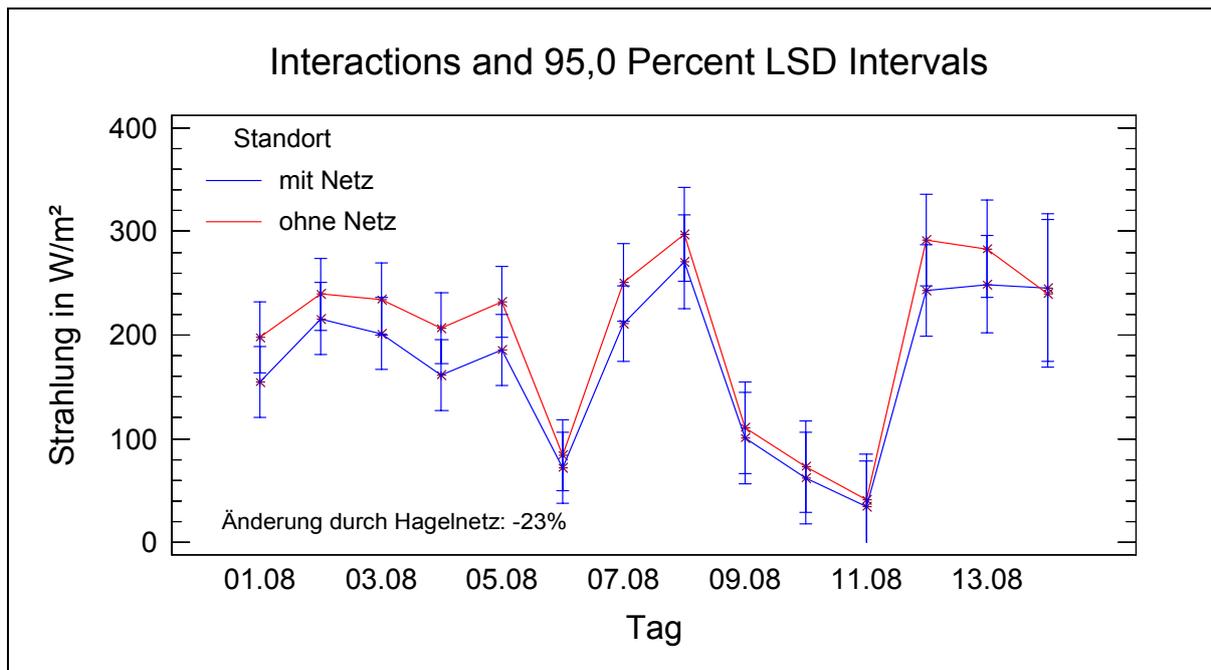


Abbildung 32: Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Sommer (1.08. – 13.08.).

In Abbildung 32 wurden die zwei Versuchsfäche aufgrund von Tagesmittelwerten der Hauptkomponente Strahlung vom 1. - 13. August miteinander verglichen. Ein vergleichbarer Effekt wie im Frühling zeigte sich bei den Tagesmittelwerten im Sommer. Die Abschwächung der Hauptkomponente Strahlung durch Hagelnetz ist an den strahlungsreichen Tagen höher, als während einer strahlungsarmen Wetterperiode. Bei den Messwerten sind feine Reaktionen auf unterschiedliche Bewölkung abzulesen. Der Beschattungsgrad durch das schwarze Hagelnetz weist keine gleichmäßigen Abstände zwischen den beiden Standorten auf, sondern ist von Tag zu Tag unterschiedlich. Im Tagesmittel ergibt sich zwischen den Versuchspartellen mit und ohne Hagelnetz eine Differenz von 23 %.

4.2.2.1.2 Hauptkomponente Temperatur

Die Hauptkomponente Temperatur im Sommer setzt sich aus den Teilkomponenten, Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1, 10 und 30 cm Tiefe zusammen. In Tabelle 15 wurde die Hauptkomponente tageszeitlich getrennt (Nacht, Vormittag, Mittag, Nachmittag) und zahlenmäßig ausgedrückt, in Abbildung 33 die Tageszeiten in den Versuchspartellen mit und ohne Hagelnetz grafisch dargestellt.

Tabelle 15: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur (°C) in den Versuchsf lächen mit und ohne Hagelnetz im Sommer.

Tageszeiten-Mittelwerte	Hauptkomponente Temperatur [°C]		Differenz	
	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	relativ [%]	absolut [°C]
Nacht	19,20	19,29	0,48	0,09
Vormittag	19,64	20,09	2,30	0,45
Mittag	22,55	22,89	1,51	0,34
Nachmittag	22,54	22,65	0,48	0,11
Tagesmittel	20,98	21,23	1,19	0,25

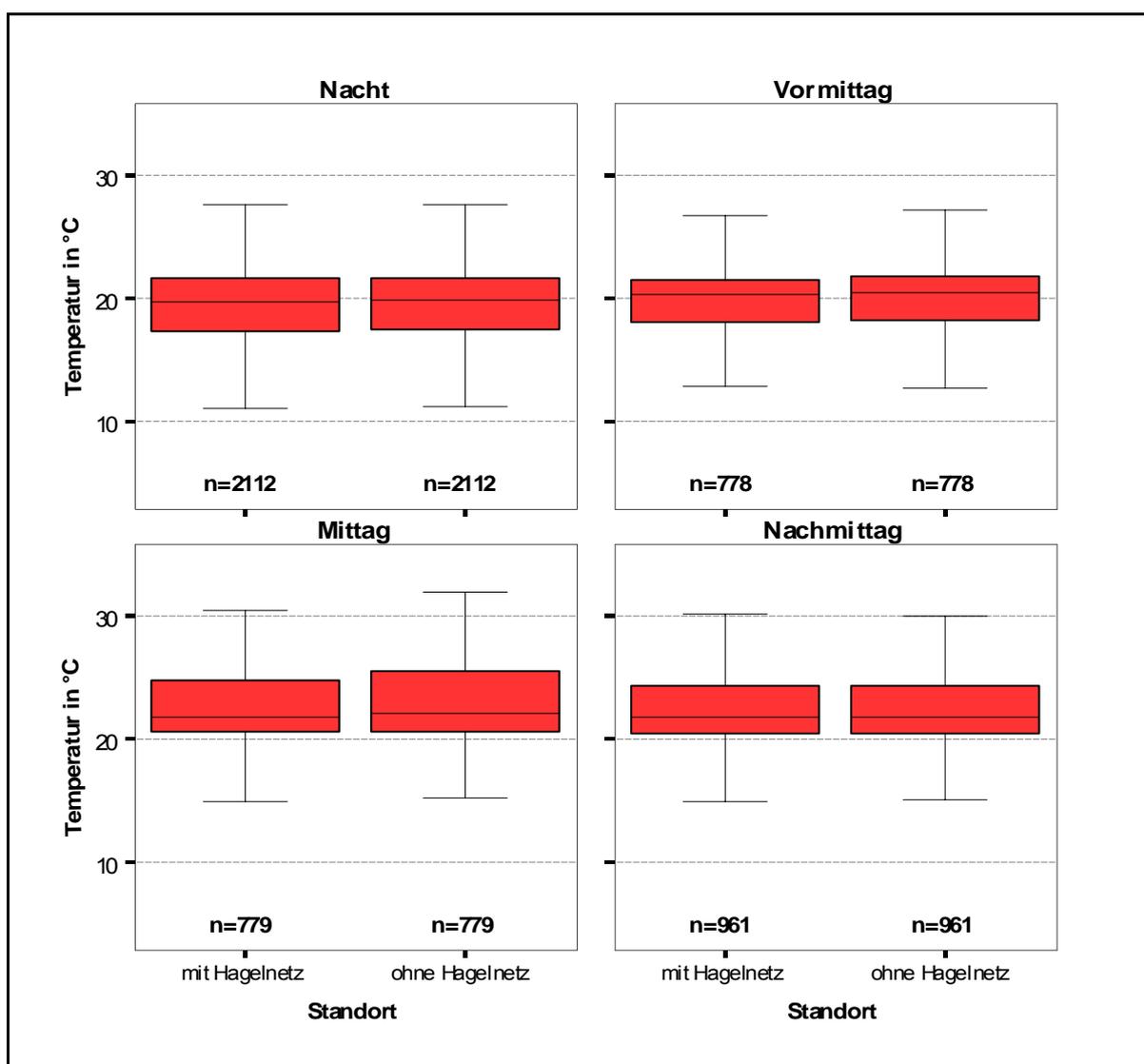


Abbildung 33: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Temperatur (°C) in der Nacht, am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Anzahl der Fälle).

Bei der Boxplot-Darstellung (Abb. 33) sind keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Versuchsp arzellen zu sehen. Die Streuung der Werte wie auch die Medianwerte sind an den beiden Standorten nur wenig unterschiedlich. Die Verteilung der Werte in der Nacht und am

Vormittag sind ähnlich. Zu den beiden Tageszeiten liegen die Medianwerte bei ca. 20 °C. In den Tageszeiten Mittag und Nachmittag liegt der gesamte Boxplot über der 20 °C, ähnlich wie im Frühling. Tabelle 15 zeigt, dass die höchsten Standortdifferenzen bei der Hauptkomponente Temperatur in Sommerperiode am Vormittag (2,3 %, bzw. 0,48 °C) und zu Mittag (1,51 %, bzw. 0,34 °C) auftreten. Im Tagesmittel beträgt die Hagelnetzbeschattung der Hauptkomponente Temperatur ca. 1,19 % bzw. 0,25 °C.

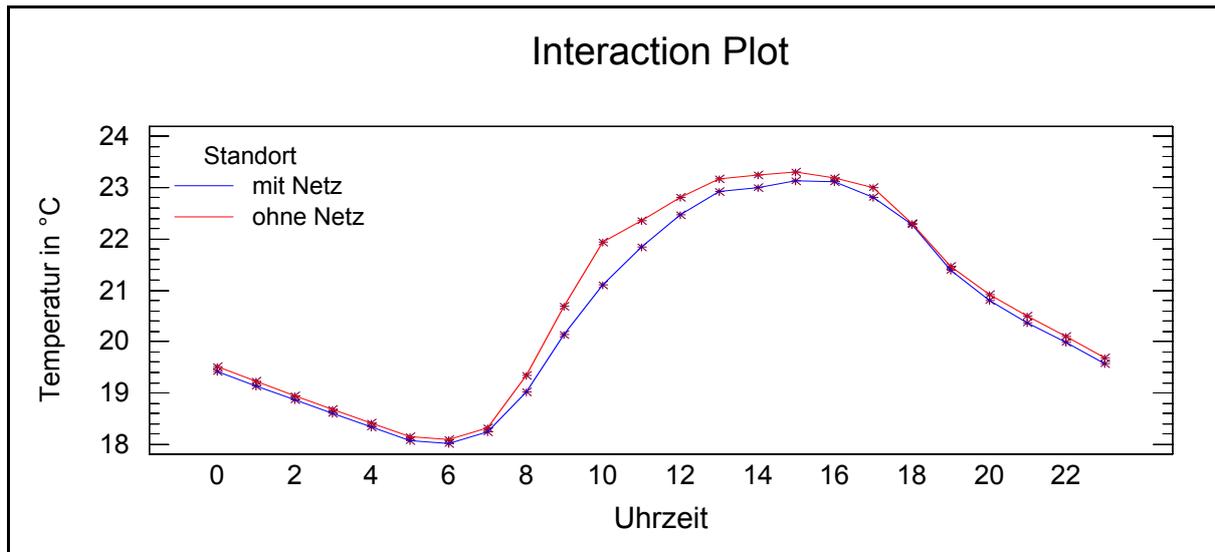


Abbildung 34: Tagesgang der Hauptkomponente Temperatur an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Sommer (21.06. – 22.09.) gemittelte Stundenmittelwerte.

Der Tagesverlauf der Hauptkomponente Temperatur (Abb. 34) zeigt, dass die Werte unter der Hagelnetzabdeckung generell niedriger sind als am Kontrollstandort. In der Nacht bis ca. 7.00 Uhr Früh ist die Temperatur unter dem Hagelnetz ständig um ca. 0,09 °C bzw. 0,48 % niedriger als bei der Kontrolle (vergl. Tab. 15). Wie schon oben erwähnt, wurde die Vormittagstemperatur mit ca. 2,3 % am meisten gesenkt, die Mittagstemperatur um ca. 1,51 %. Um 18.00 Uhr (Mittelwert von der gesamten Sommerperiode) war die Temperatur in der Versuchsparzelle mit Hagelnetz kurzfristig etwas höher als bei der Kontrolle, in der Nacht dann wieder um ca. 0,48 % niedriger (Tab. 15).

Allgemein waren die Temperaturen im Sommer (21.06. – 22.09.) um ca. 2 °C höher als die im Frühling (08.05 - 20.06), der Prozent der Abschwächung durch das Netz aber um etwa 0,15°C bzw. 0,95 % niedriger (Tab. 15).

4.2.2.1.3 Hauptkomponenten- bzw. Detailanalyse der relativen Luftfeuchte im Sommer

Die relative Luftfeuchte ist der einzige Messparameter der Hauptkomponente, sodass die Besprechung der Ergebnisse der Hauptkomponente gleichzeitig die Detailanalyse der relativen Luftfeuchte darstellt.

Tabelle 16: Tageszeitenmittelwerte und Medianen der Luftfeuchte (%) an den Versuchsf lächen mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf höhere Feuchtwerte unter dem Hagelnetz hin.

		relative Luftfeuchte [%]					
		Standort mit Hagelnetz		Standort ohne Hagelnetz		Differenz [%]	
		Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Tageszeit	Nacht	90	94	86	90	-4	-4
	Vormittag	85	86	82	84	-3	-2
	Mittag	65	63	61	60	-4	-3
	Nachmittag	68	66	64	62	-4	-4
	Tagesmittel	77	77	73	74	-4	-3

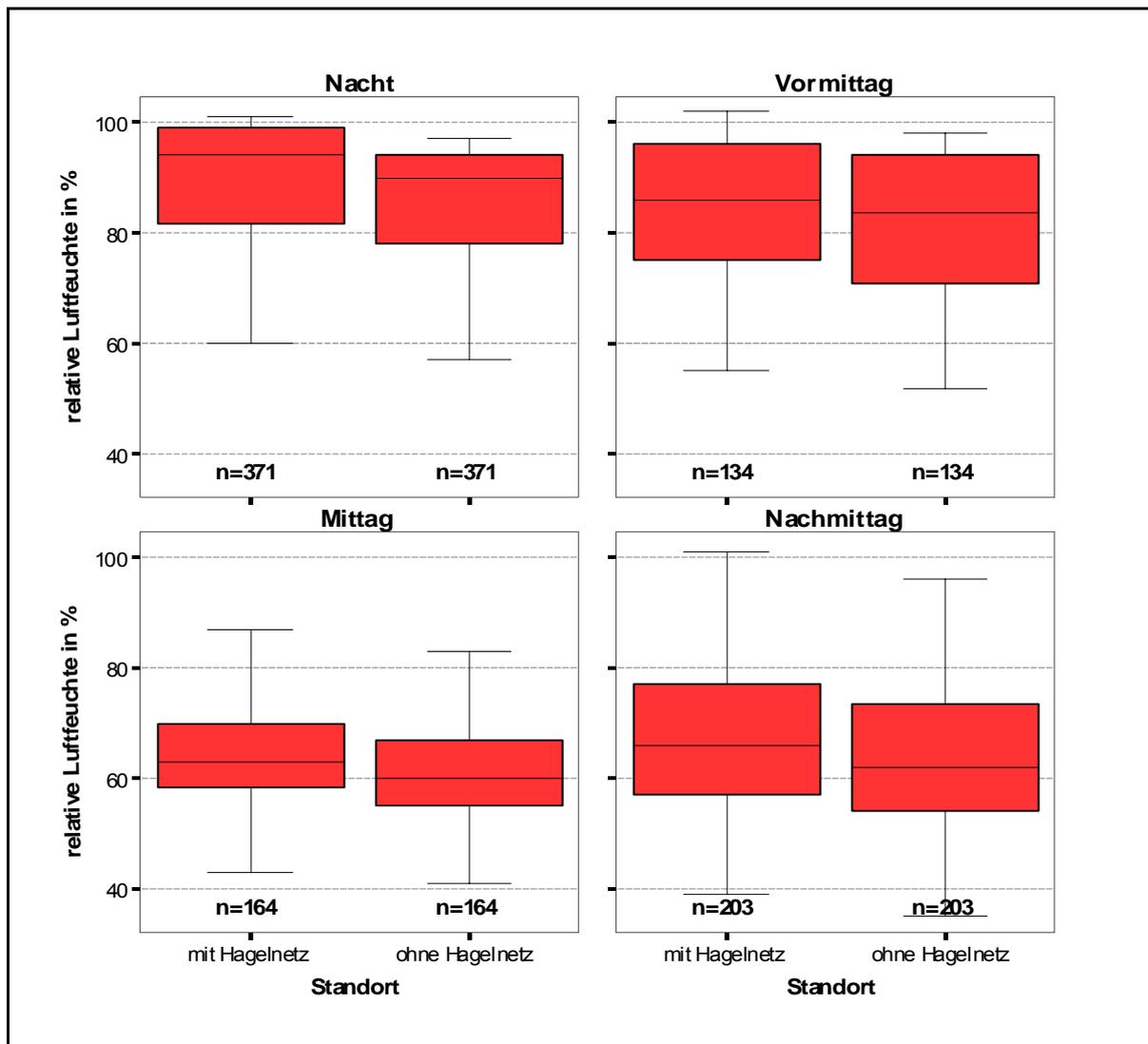


Abbildung 35: Boxplot-Darstellung: Verteilung der relativen Luftfeuchte (%) in der Nacht, am Vormittag, Mittag und Nachmittag der Sommerperiode (21.06. – 22.09.) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.

Die Abbildung 35 zeigt die Verteilung der relativen Luftfeuchte in den vier Tageszeiten (zeitliche Gliederung siehe Material und Methodik) der Sommerperiode an den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz. Die Werte unter der Hagelnetzabdeckung wurden zu allen Tageszeiten um ca. 3 bis 4 % erhöht. Am Vormittag weisen sie einen Unterschied von ca. 3 % auf, ansonsten immer ca. 4 %. Die Höchstwerte weist die Luftfeuchte in der Nacht (ca. 90 % unter dem Hagelnetz und ca. 86% bei der Kontrolle) auf, die Tiefstwerte hingegen zu Mittag (ca. 65 % unter dem Hagelnetz und ca. 61 % bei der Kontrolle), wo auch die Streuung geringer ist (Abb. 35). Im Tagesmittel liegen die Werte bei ca. 77 % am Standort mit Hagelnetz, am Kontrollstandort ca. 73 %, was eine Differenz von ca. 4 % ergibt (Tab. 16).

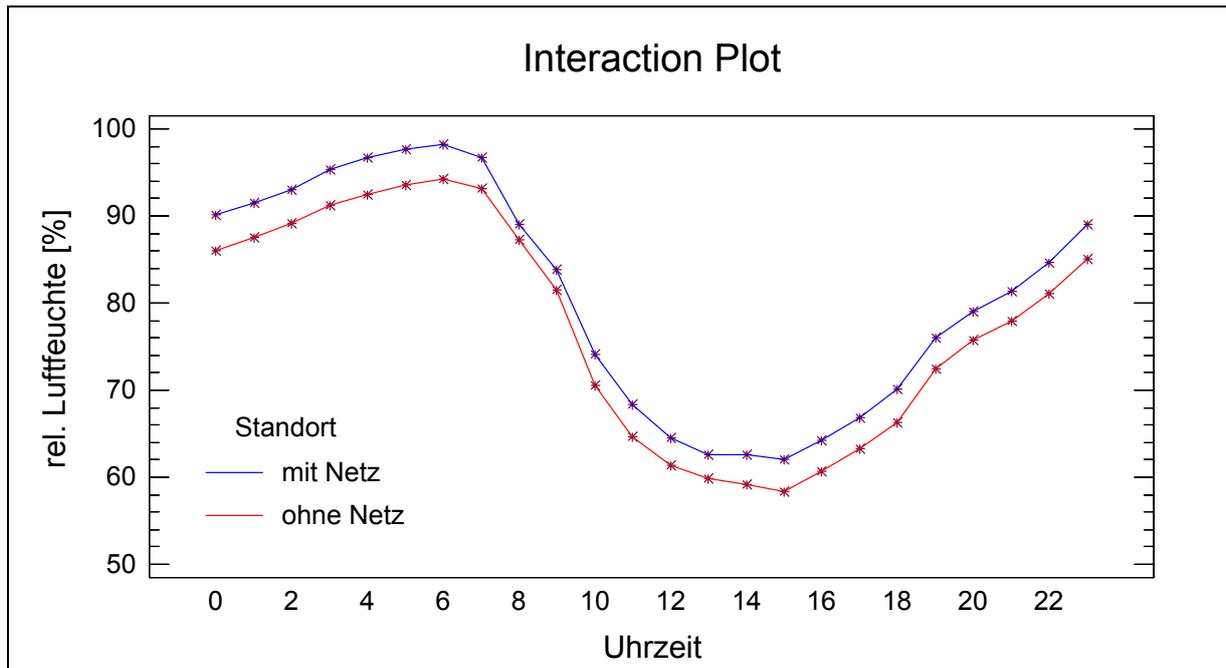


Abbildung 36: Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Sommer. Die Datenpunkte sind über den Sommer gemittelte Stundenmittelwerte.

Der Tagesverlauf der relativen Luftfeuchte in Abbildung 36 zeigt, dass sowohl am Tag als auch in der Nacht die Luft unter der Hagelnetzabdeckung feuchter war. Bis auf die Morgenstunden 8.00 und 9.00 Uhr sind die Standortunterschiede über den ganzen Tag gleichmäßig verteilt.

4.2.2.2 DETAILANALYSE DER STRAHLUNGSPARAMETER IM SOMMER

Im laufenden Kapitel wurden folgende Strahlungskomponenten: Globalstrahlung (3 m Höhe), Albedo (1,5 m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe), Strahlung am Boden, kurzweilige Strahlungsbilanz (1,5 m Höhe) sowie Gesamtstrahlungsbilanz (1,5 m Höhe) am hagelnetzbedeckten und hagelnetzfriem Feld, miteinander verglichen. Tabelle 17 zeigt Prozentanteile der verarbeiteten (gültigen) und fehlenden Messwerte der Strahlungsparameter im Sommer 2002.

Tabelle 17: Prozentanteile der gültigen und fehlenden Strahlungswerte im Sommer. (n = Anzahl der Fälle).

	Verarbeitete Fälle n					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	n	Prozent	n	Prozent	n	Prozent
Globalstrahlung	878	33,7%	1726	66,3%	2604	100,0%
Albedo	878	33,7%	1726	66,3%	2604	100,0%
Strahlung am Boden	878	33,7%	1726	66,3%	2604	100,0%
Strahlung im Bestand	878	33,7%	1726	66,3%	2604	100,0%
kurzwellige Bilanz	878	33,7%	1726	66,3%	2604	100,0%
Gesamtbilanz	878	33,7%	1726	66,3%	2604	100,0%

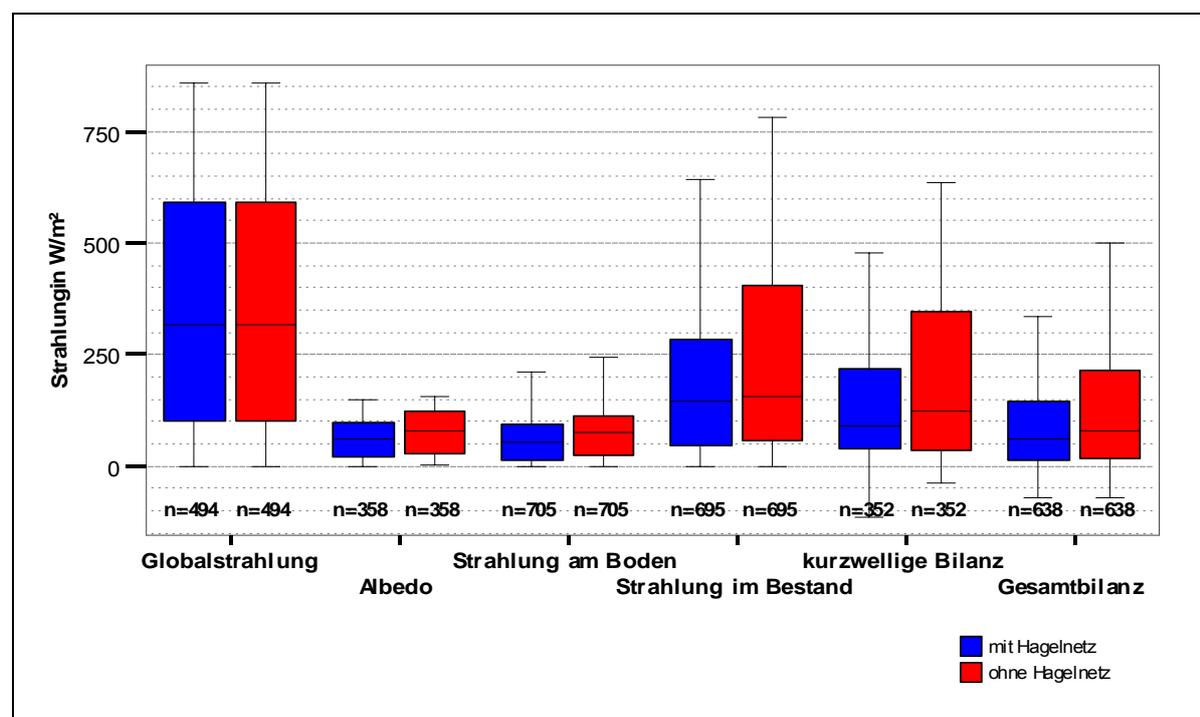


Abbildung 37: Boxplot-Darstellung der Strahlungsparameter: Globalstrahlung (G), Albedo, kurzweilige Strahlungsbilanz (Sk), Gesamtstrahlungsbilanz (S), Strahlung am Boden (Sbo) und im Bestand (Sbe) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer.

Tabelle 18: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Standortdifferenzen (%) der Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Sommer; Globalstrahlung (G), Albedo (A), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo), kurzwellige Strahlungsbilanz (Sk) und Gesamtstrahlungsbilanz (S). (Negative Werte weisen auf höhere Strahlung unter dem Hagelnetz hin).

Tageszeit	Strahlungs-Parameter	Strahlung [W/m^2]					
		mit Hagelnetz		ohne Hagelnetz		Differenz [%]	
		Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Vormittag	G	262,91	249,66	262,91	249,66	0,00	0,00
	A	49,75	40,28	58,83	53,38	18,24	32,54
	Sbo	47,65	40,76	55,60	49,05	16,68	20,33
	Sbe	168,89	110,21	193,25	160,05	14,43	45,23
	Sk	132,20	75,98	155,89	133,28	17,92	75,42
	S	113,44	63,11	87,80	41,07	-22,60	-34,91
Mittag	G	570,30	661,69	570,30	661,69	0,00	0,00
	A	101,79	111,59	114,86	125,88	12,84	12,81
	Sbo	93,17	83,98	116,54	104,06	25,09	23,91
	Sbe	274,77	266,06	465,62	525,00	69,46	97,32
	Sk	188,76	186,02	407,81	466,98	116,05	151,03
	S	139,66	110,41	167,79	120,68	20,14	9,30
Nachmittag	G	250,67	193,55	250,67	193,55	0,00	0,00
	A	41,47	39,85	60,87	62,63	46,80	57,19
	Sbo	50,73	30,44	77,38	49,95	52,55	64,08
	Sbe	117,94	103,65	101,14	75,95	-14,25	-26,72
	Sk	101,42	71,76	61,97	37,27	-38,89	-48,07
	S	50,88	29,98	161,23	110,01	216,86	266,93
Tagesmittel	G	352,26	317,77	352,26	317,77	0,00	0,00
	A	63,01	60,04	77,29	80,77	22,68	34,52
	Sbo	62,83	54,56	82,64	74,08	31,53	35,78
	Sbe	181,46	143,52	240,43	157,38	32,50	9,66
	Sk	137,66	89,88	196,90	122,00	43,03	35,74
	S	97,35	61,07	140,20	79,32	44,02	29,89

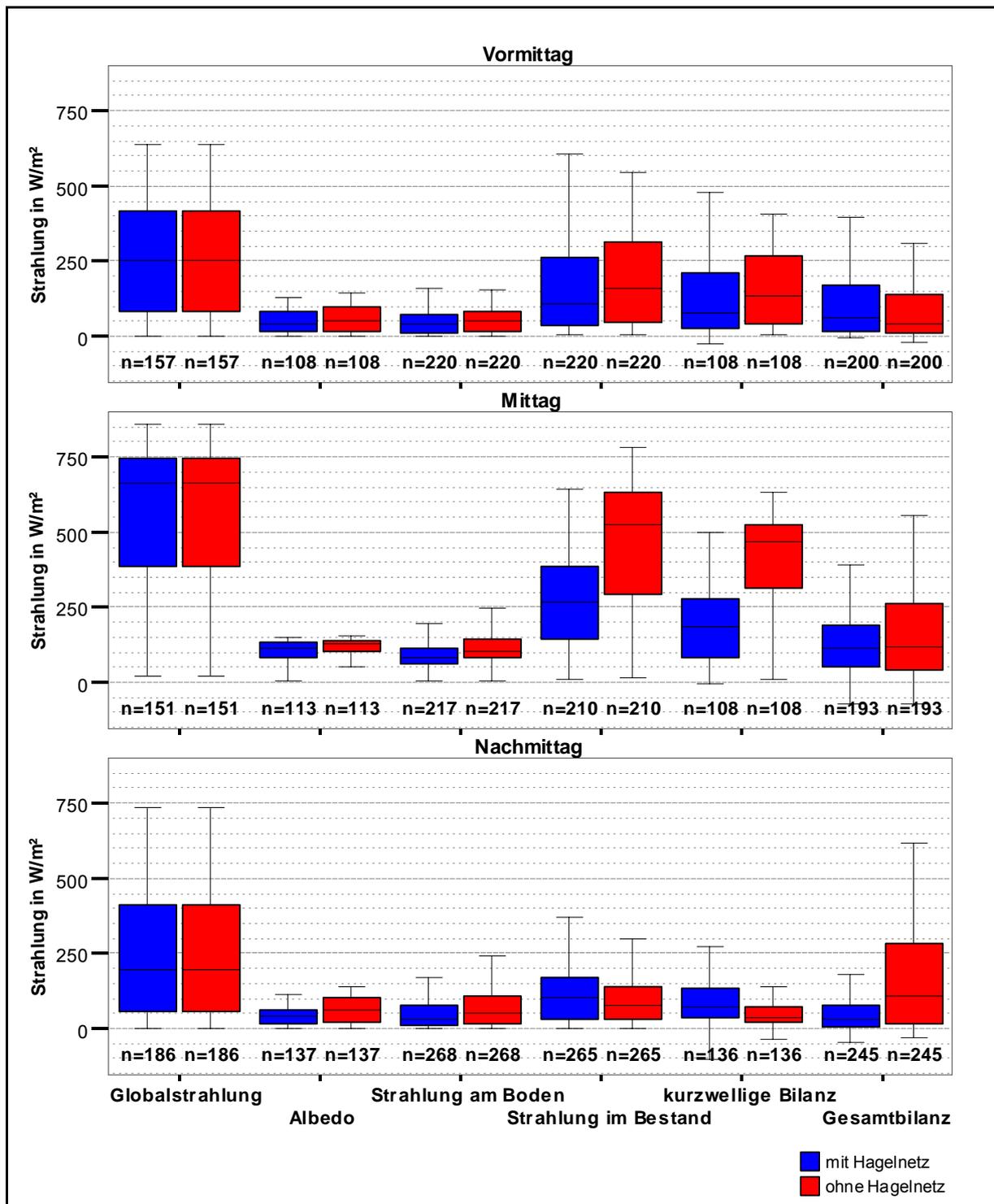


Abbildung 38: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter; Global, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, kurzweilige Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz, an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Vormittags-, Mittags- und Nachmittags-Mittelwerte wurden über die Sommerperiode gemittelt.

In Tabelle 18 wurden die Median- und Mittelwerte (W/m^2) wie auch die Differenzen (%) zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz wiedergegeben. Abbildung 37 spiegelt die Verteilung der Strahlungsparameter im Sommer wieder. Abbildung 38 zeigt zusätzlich einer Gliederung der Strahlungswerte auf Vormittag, Mittag und Nachmittag.

Die Zusammensetzung der Globalstrahlung in 3m Höhe, der Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und der Strahlung am Boden (Abb. 37, 38) zeigt, wie die Strahlung durch die Belaubung (Standort ohne Hagelnetz) und zusätzlich durch die Hagelnetzabdeckung (Standort mit Hagelnetz) reduziert wird. Aus der Tabelle 18 konnte errechnet werden, dass die Globalstrahlung im Tagesmittel um ca. 45 % im 1,5 m Höhe im Bestand durch die Belaubung reduziert wird und zusätzlich um 32 % durch die Hagelnetzbeschattung. Letztendlich erreicht nur mehr ca. 23 % der Globalstrahlung die Bodenoberfläche am Kontrollstandort und 18 % unter dem Hagelnetz. In Abbildung 37 ist zu sehen, dass die Strahlungswerte am Standort mit Hagelnetzabdeckung immer niedriger ausfallen. Die Strahlungsintensität unter dem Netz ist im Tagesmittel bei den meisten Parametern um ca. 30 % niedriger als bei der Kontrolle (sie beträgt 9 % bei der Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe). Wenn man aber zwischen dem Vormittag, Mittag und dem Nachmittag differenziert (Abb. 38), zeigt sich, wie stark die Werte der Strahlung im Bestand, der kurzwelligen und der Gesamtstrahlungsbilanz zwischen den einzelnen Tageszeiten variieren.

Bei **Reflexionsstrahlung (Albedo)** ist die Abschwächung durch das Hagelnetz zu Mittag mit 12,8 % am niedrigsten und am Nachmittag mit 46 % am höchsten, im Durchschnitt liegt sie bei 23 % (Tab. 18).

Bei der **Strahlung am Boden** steht Einfluss der Belaubung im Vordergrund. In Abbildungen 37 und 38 ist sehr starke Strahlungsreduktion durch die Belaubung im Pflanzenbestand (Standort ohne Hagelnetz) zu sehen und zusätzlich die Abschwächung der einfallenden Strahlung durch die schwarzen Hagelnetze (Standort mit Hagelnetz). Am Vormittag und zu Mittag sind die Werte am Standort mit Hagelnetz um ca. 20 bis 23 % niedriger gegenüber der Kontrolle. Am Nachmittag ist die Strahlungsdurchlässigkeit um 60 % niedriger unter dem Netz. Daran können mehrere Faktoren beteiligt sein, wie die Belaubung, die unterschiedliche Witterung in den beiden Parzellen und schließlich auch der Einfallswinkel der Sonne.

Sowohl bei der **Strahlung im Bestand** als auch bei der daraus resultierenden **kurzwelligen Bilanzstrahlung** (die kurzwellige Strahlungsbilanz wurde aus der Differenz zwischen Einstrahlung im Bestand und Albedo berechnet) ist ein vergleichbarer Effekt zu sehen. Am Vormittag liegt die Abschwächung durch das Hagelnetz zwischen 14 % (Strahlung im Bestand) und 18 % (kurzwellige Strahlungsbilanz). Zu Mittag sind die Unterschiede deutlich höher und zwar bei den beiden Strahlungsparametern. Die Werte am Standort mit Hagelnetzabdeckung streuen viel weniger, auch die Medianen sind an dem Standort deutlich niedriger. Am Nachmittag sind die Werte der beiden Strahlungsparameter am Standort mit Hagelnetz höher gegenüber der Kontrolle.

Die Werte der *Gesamtstrahlungsbilanz* sind am Vormittag unter dem Hagelnetz um ca. 20 % höher als bei der Kontrolle, zu Mittag hingegen um diesen Betrag niedriger. In den Nachmittagsstunden erreicht die Strahlung am Standort mit Hagelnetz nur bis zu 50,88 W/m², bei der Kontrolle beträgt sie ca. 161,23 W/m², was prozentuell einen sehr hohen Unterschied ergibt. Daraus lässt sich schließen, dass die Strahlungsunterschiede zwischen den beiden Versuchspartzen in den einzelnen Tageszeiten zwar sehr stark variieren, im Resultat ergibt sich um ca. 44 % niedrigere Strahlungsintensität unter der Hagelnetzabdeckung (Abb. 37, 38, Tab. 18).

4.2.2.2.1 Tagesgang der Strahlungsparameter im Sommer

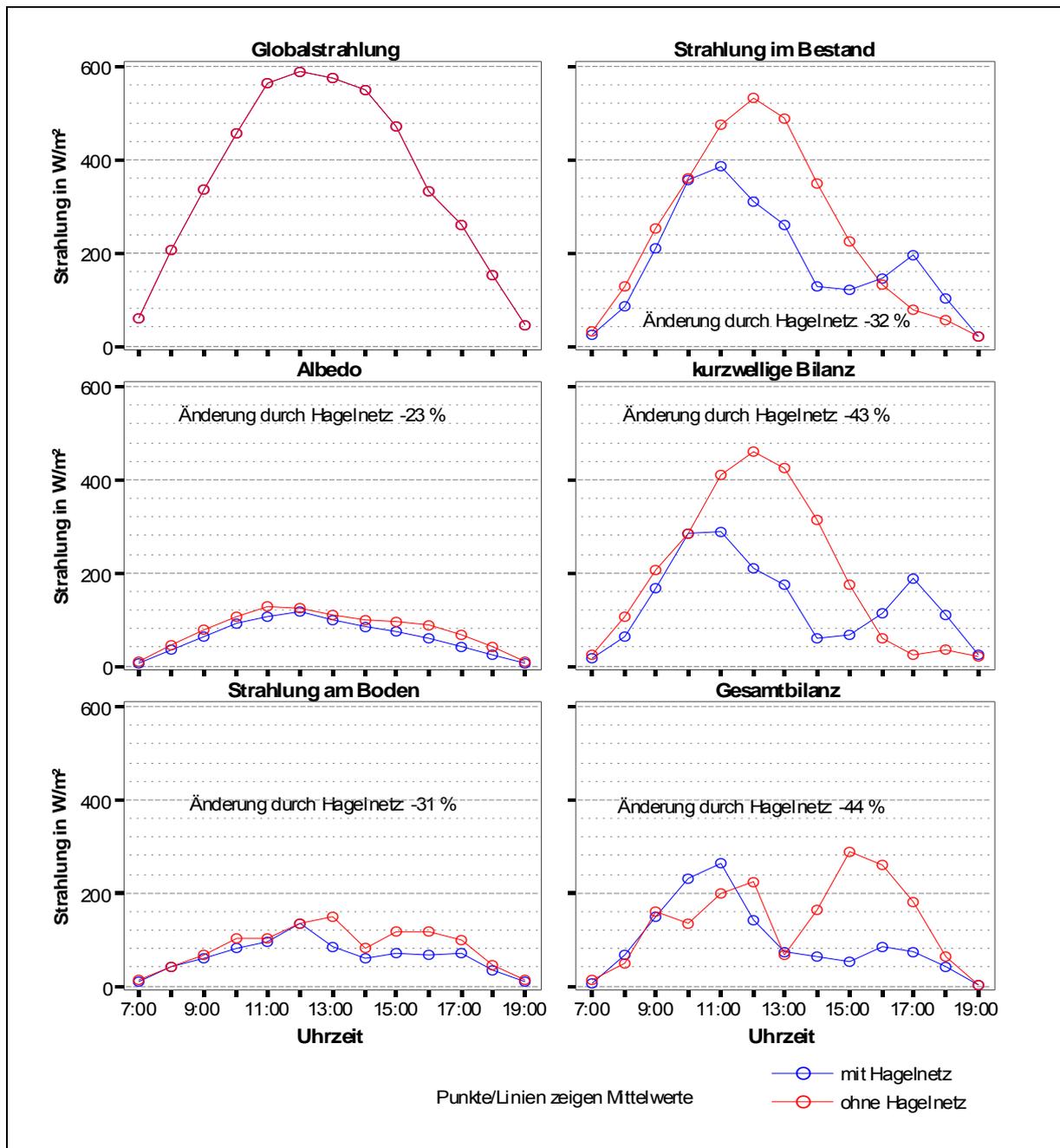


Abbildung 39: Tagesgang von Globalstrahlung, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. (Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Sommer von 21.06. - 20.09.).

Die Abbildung 39 gibt einen Tagesverlauf der gemessenen Strahlungsparameter an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Sommer wieder.

Der Tagesgang der Globalstrahlung im Sommer ist dem im Frühling sehr ähnlich (vergl. Abbildung 24 und Abbildung 39). Der Strahlungsbereich erstreckt sich von 0 – 600 W/m². Die Höchstwerte wurden von 11.00 bis 14.00 Uhr notiert.

Der Tagesverlauf der Reflexionsstrahlung (Albedo) an den beiden Standorten verteilt sich über den ganzen Tag ziemlich gleichmäßig. Die Abschwächung durch das Hagelnetz beträgt 28 % im Tagesmittel.

Bei der Strahlung am Boden sind feine Reaktionen auf wechselhafte Bewölkung in den beiden Parzellen zu sehen. Die Reduzierung der Strahlung am Boden durch das Hagelnetz beträgt im Tagesmittel 31 %.

Der Tagesverlauf der kurzwelligen Strahlungsbilanz zeigt einen engen Zusammenhang mit der Strahlung im Bestand 1,5 m Höhe. Wie bereits angeführt wurde die kurzwellige Bilanz aus der Differenz zwischen Strahlung im Bestand und Albedo errechnet. Die Hagelnetzbeschattung beträgt bei der kurzwelligen Strahlungsbilanz im Tagesmittel 43 %, bei der Strahlung im Bestand 32 %.

Der Tagesgang der Gesamtstrahlungsbilanz, z.T. auch bei der Strahlung im Bestand und der kurzwelligen Strahlungsbilanz in den beiden Versuchspartellen zeigte deutliche Abhängigkeit von dem Licht-Schatten-Effekt im Pflanzenbestand.

4.2.2.3 DETAILANALYSE DER LUFTTEMPERATUR UND DER BODENTEMPERATUREN IN 1, 10 UND 30 CM TIEFE IM SOMMER

Bei der Hauptkomponente Temperatur konnte man keine signifikante Unterschiede zwischen den zwei Versuchspartellen feststellen. Es war also notwendig weiter nach Unterschiede zu suchen. Zu diesem Zweck wurde die Hauptkomponente auf einzelne Komponente zerlegt und einer genauen Analyse unterworfen. Die Lufttemperatur in 1,5 m Höhe und die Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe wurden zwischen den Partellen mit und ohne Hagelnetz miteinander verglichen.

Abbildung 40 zeigt die Temperaturdifferenzen (in °C) zwischen den Versuchsfächen mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Bei der Lufttemperatur beträgt die Abschwächung durch das Hagelnetz 0,41 °C und ist ähnlich wie bei der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (0,36 °C). Bei den Temperaturen in 1 und 30 cm Bodentiefe wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsfächen mit und ohne Hagelnetz festgestellt. Die Bodentemperaturen sind um ca. 1,5 °C höher als die Lufttemperatur.

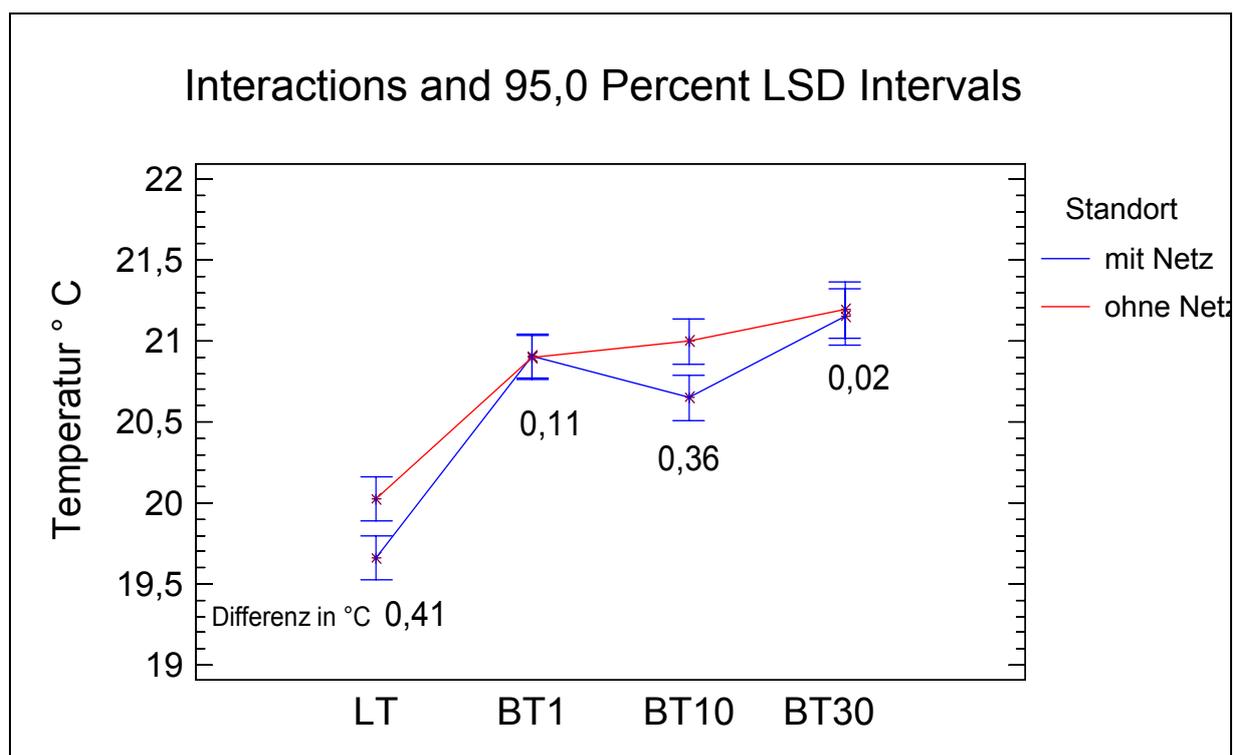


Abbildung 40: Mittelwertevergleich (vom 21.06. – 22.09.) der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1) , im 10 cm (BT10) und 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer 2002.

4.2.2.3.1 Verteilung der Temperaturwerte zu den Tageszeiten im Sommer

Die Lufttemperatur und die Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe wurden mit Unterteilung auf Nacht, Vormittag, Mittag und Nachmittag in die Versuchsparzellen mit und ohne Hagelnetz grafisch dargestellt (Abb. 38). Die einzelne Temperaturwerte und die Differenzen zwischen den beiden Versuchsfeldern wurden zusätzlich in Tabelle 19 eingebracht.

Tabelle 19: Mittelwerte (°C) und Standortdifferenzen (%) der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1), in 10 cm (BT10) und 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf höhere Temperaturen unter dem Hagelnetz hin.

Tageszeit	LT [°C]			BT1 [°C]			BT10 [°C]			BT30 [°C]		
	mit HN	ohne HN	Differenz [%]	mit HN	ohne HN	Differenz [%]	mit HN	ohne HN	Differenz [%]	mit HN	ohne HN	Differenz [%]
Nacht	16,61	16,86	1,51	18,99	18,74	-1,31	20,87	21,16	1,40	21,23	21,31	0,42
Vormittag	18,09	18,69	3,33	19,98	20,76	3,91	19,94	20,17	1,16	21,15	21,15	0,00
Mittag	24,43	24,97	2,21	23,93	24,20	1,16	20,16	20,60	2,16	21,06	21,03	-0,15
Nachmittag	23,90	24,15	1,08	23,49	23,13	-1,51	21,14	21,62	2,26	21,04	21,08	0,18
Tagesmittel	20,76	21,17	2,03	21,60	21,71	0,56	20,53	20,89	1,75	21,12	21,14	0,11

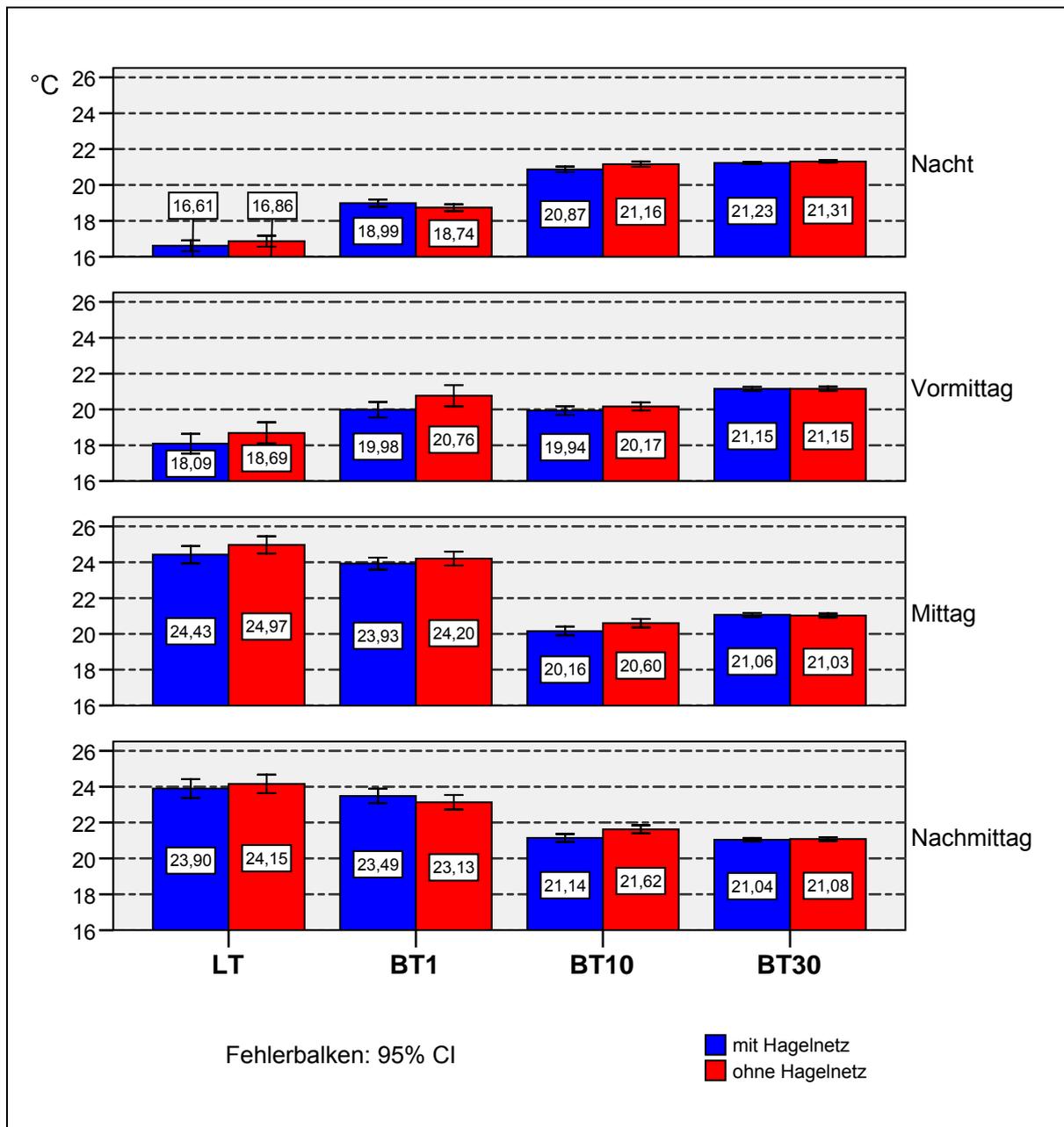


Abbildung 41: Balkendiagramm-Darstellung der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1), in 10 cm (BT10) und in 30 cm (BT30) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. (Datenpunkte sind Tageszeitenmittelwerte von Messungen im Sommer vom 21.06. – 22.09.)

Aus der Analyse der Sommerwerte der Temperaturparametern (Abb. 41 und Tab. 19) tauchen folgende Tendenzen auf: In der Nacht und am Vormittag steigen die Temperaturen mit steigender Bodentiefe auf. Zu Mittag und am Nachmittag lässt sich eher eine umgekehrte Tendenz erkennen.

Die *Lufttemperatur* in der Nacht beträgt ca. 16,6 °C unter dem Hagelnetz und 16,9 °C bei der Kontrolle. Sie steigt bis zu Mittag kontinuierlich an, bis sie im Mittel 24,4 °C unter dem Hagelnetz und 25 °C am Kontrollstandort erreicht. In den Nachmittagsstunden ist ein leichtes Temperaturgefälle zu sehen. Die Abschwächung durch das Hagelnetz ist am Nachmittag am

niedrigsten (ca. 0,25 °C bzw. 1 %). Sie bleibt auch in der Nacht niedrig (0,25 bzw. 1,5 %). Erst am Vormittag steigt sie bis zu 0,6 °C bzw. 3,4 % an. Zu Mittag sinkt sie allmählich wieder.

Das gleiche Prinzip gilt für die **Bodentemperatur in 1 cm Tiefe**. Die Temperatur am Boden ist dabei in der Nacht und auch am Vormittag um 2 °C wärmer als die Lufttemperatur. Im Tagesmittel (Abb. 40) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten festgestellt werden. Erst bei einer genaueren Analyse (Abb. 41) ergab sich, dass bei der Temperatur in 1 cm Tiefe die Standortunterschiede von den Tageszeiten abhängig sind. Die Werte unter dem Hagelnetz waren am Vormittag um 0,78 °C bzw. 3,9 % niedriger, zu Mittag um 0,27 °C bzw. 1,2 % niedriger und am Nachmittag sogar um 0,36 °C höher als bei der Kontrolle.

Die Werte der **Bodentemperatur in 10 cm Tiefe** sind über den ganzen Tag ziemlich stabil. Die Hagelnetzbeschattung liegt zwischen 1,16 % (am Vormittag) bis 2,26 % (am Nachmittag).

Die **Bodentemperatur in 30 cm Tiefe** weist keine signifikanten Unterschiede auf, weder zwischen den Standorten, noch zwischen den Tageszeiten (Abb. 41, Tab. 19).

4.2.2.3.2 Tagesgang der Temperatur der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Sommer

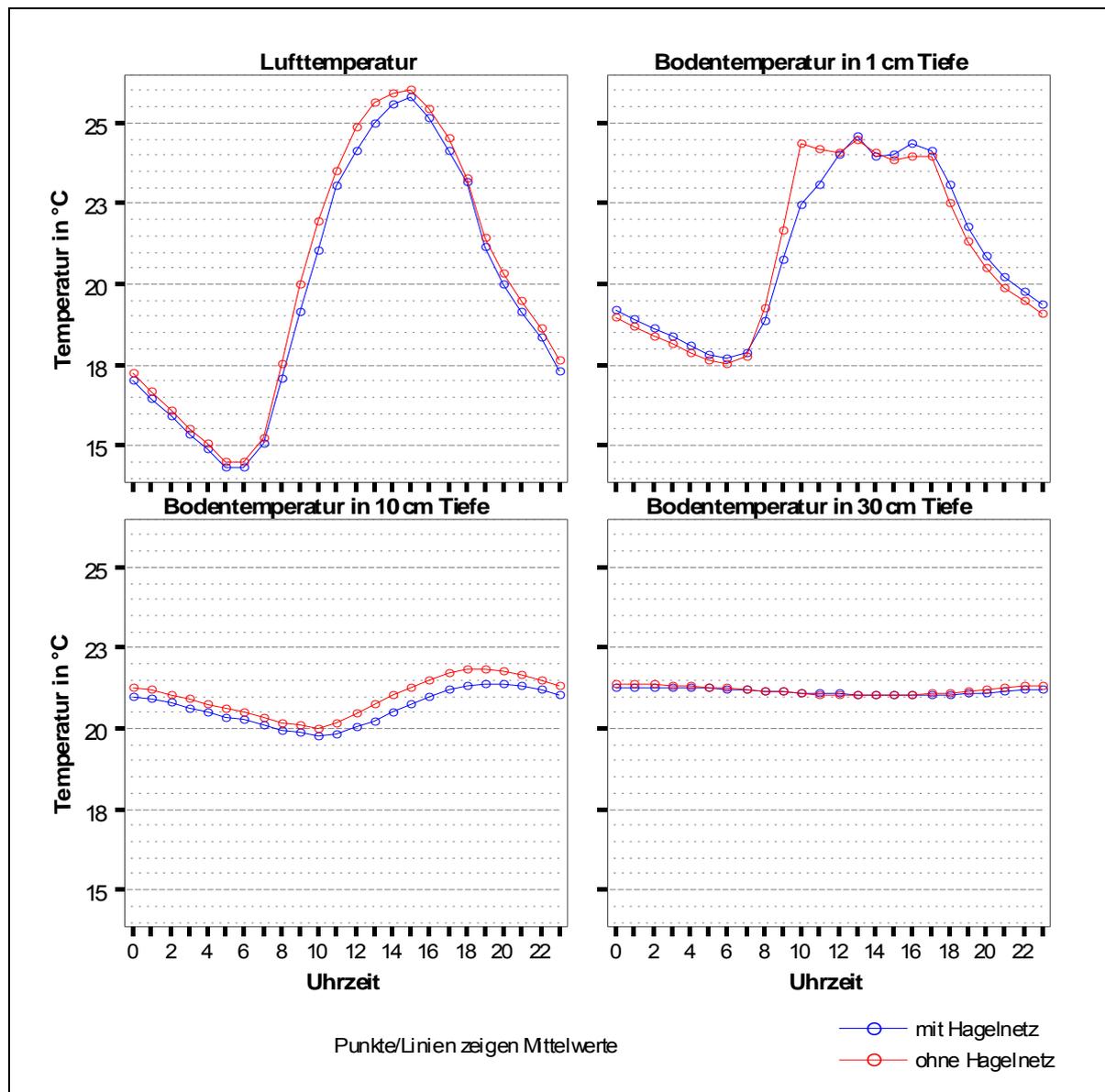


Abbildung 42: Tagesgang der über den Sommer (21.06 – 22.09) gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, Bodentemperatur in 1, 10 und 30 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.

Abbildung 42 zeigt den Tagesgang der Lufttemperatur und der Bodentemperatur 1, 10 und 30 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Die Temperaturamplitude nimmt mit zunehmender Bodentiefe ab. Die ist bei der Lufttemperatur am stärksten und bei der Bodentemperatur im 30 cm kaum zusehen mehr. Die Temperaturen unter dem Hagelnetz sind fast immer niedriger als in der Kontrollparzelle und verlaufen proportional zueinander. In den oberen Bodenschichten (1 cm Tiefe) ist am frühen Nachmittag und in der Nacht unter dem Hagelnetz wärmer, am Vormittag hingegen deutlich kälter als am Kontrollstandort.

4.2.3 HERBST

Im Jahreszeit Herbst sind die Messwerte der Bodentemperatur in 30 cm Tiefe, die der Albedo und der kurzwelligen Strahlungsbilanz ausgefallen. Aus diesem Grund besteht die Hauptkomponente Strahlung nur aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und Strahlung am Boden, die Hauptkomponente Temperatur aus Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1 und 10 cm Tiefe und sind nicht direkt vergleichbar mit den Hauptkomponenten im Frühling und im Sommer!!!

4.2.3.1 HAUPTKOMPONENTENANALYSE FÜR DIE JAHRESZEIT HERBST (23.09 – 30.10)

Um alle vorhandene Messparameter zu einer kleineren Anzahl der Hauptkomponenten zu reduzieren, wurde die Jahreszeit Herbst, zu den anderen Jahreszeiten analog, einer PCA-Methode unterworfen.

Drei Hauptkomponenten: Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte wurden bei der Analyse extrahiert. Mit den drei lässt sich bereits 82,17 % der Gesamtvarianz des Datensatzes erklären. Die Hauptkomponente Strahlung (besteht aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und Strahlung am Boden) trägt zur 48,1 %, die Hauptkomponente Temperatur (besteht aus Lufttemperatur und Bodentemperaturen in 1 und 10 cm Tiefe) zur 21,4 % und die relative Luftfeuchte zur 12,6 %, zu der Gesamtvariabilität bei (Tab. 20, Abb. 43). Die Teilkomponenten der Hauptkomponenten Strahlung und Temperatur unterscheiden sich von denen im Frühling und Sommer.

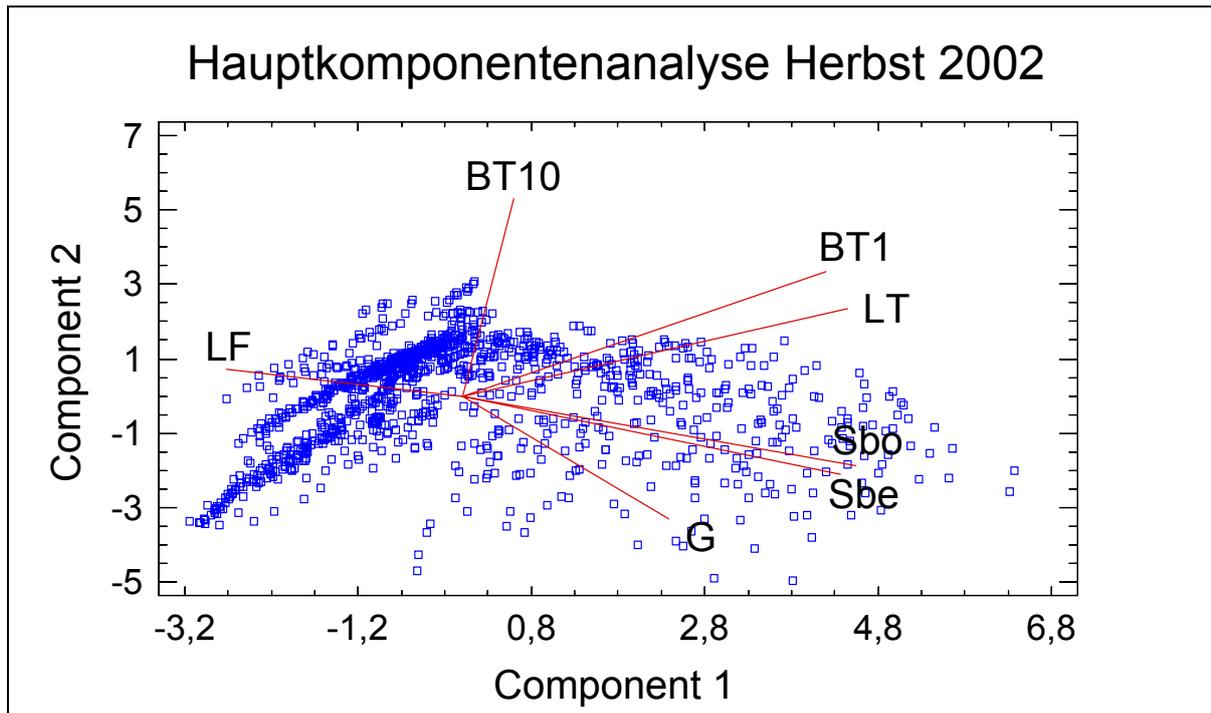


Abbildung 43: Biplot-Darstellung der Hauptkomponenten im Herbst. 1. Strahlung: Globalstrahlung (G), Strahlung im Bestand (Sbe) und Strahlung am Boden (Sbo) 2. Temperatur: Lufttemperatur (LT) und Bodentemperatur in 1 und 10, cm Tiefe (BT1, BT10). 3. Relative Luftfeuchte (LF) (Erklärung im Text).

Tabelle 20: Hauptkomponentenextraktion mit Gesamtvarianz für Herbst 2002 (Erklärung im Text).

Number of components extracted: 3

Principal Components Analysis

Component Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	3,84933	48,117	48,117
2	1,71229	21,404	69,520
3	1,01215	12,652	82,172
4	0,692113	8,651	90,824
5	0,394529	4,932	95,755
6	0,237818	2,973	98,728
7	0,0770379	0,963	99,691
8	0,0247219	0,309	100,000

4.2.3.1.1 Hauptkomponente Strahlung

Im folgenden Kapitel wird die Auswirkung der Hagelnetze auf die Hauptkomponente Strahlung dargestellt. **Für die Analyse der Strahlungsparameter wurde aus dem gesamten Datensatz die Tageszeit Nacht ausgeschlossen. Die Tagesperiode wurde mit der Zeit 7.00 bis 19.00 Uhr begrenzt.**

Die Hauptkomponente Strahlung im Herbst besteht aus der Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und Strahlung am Boden. Die Werte der Albedo und der kurzwelligen Strahlungsbilanz im Herbst sind ausgefallen, deswegen ist ein direkter Vergleich mit den anderen Jahreszeiten nicht möglich.

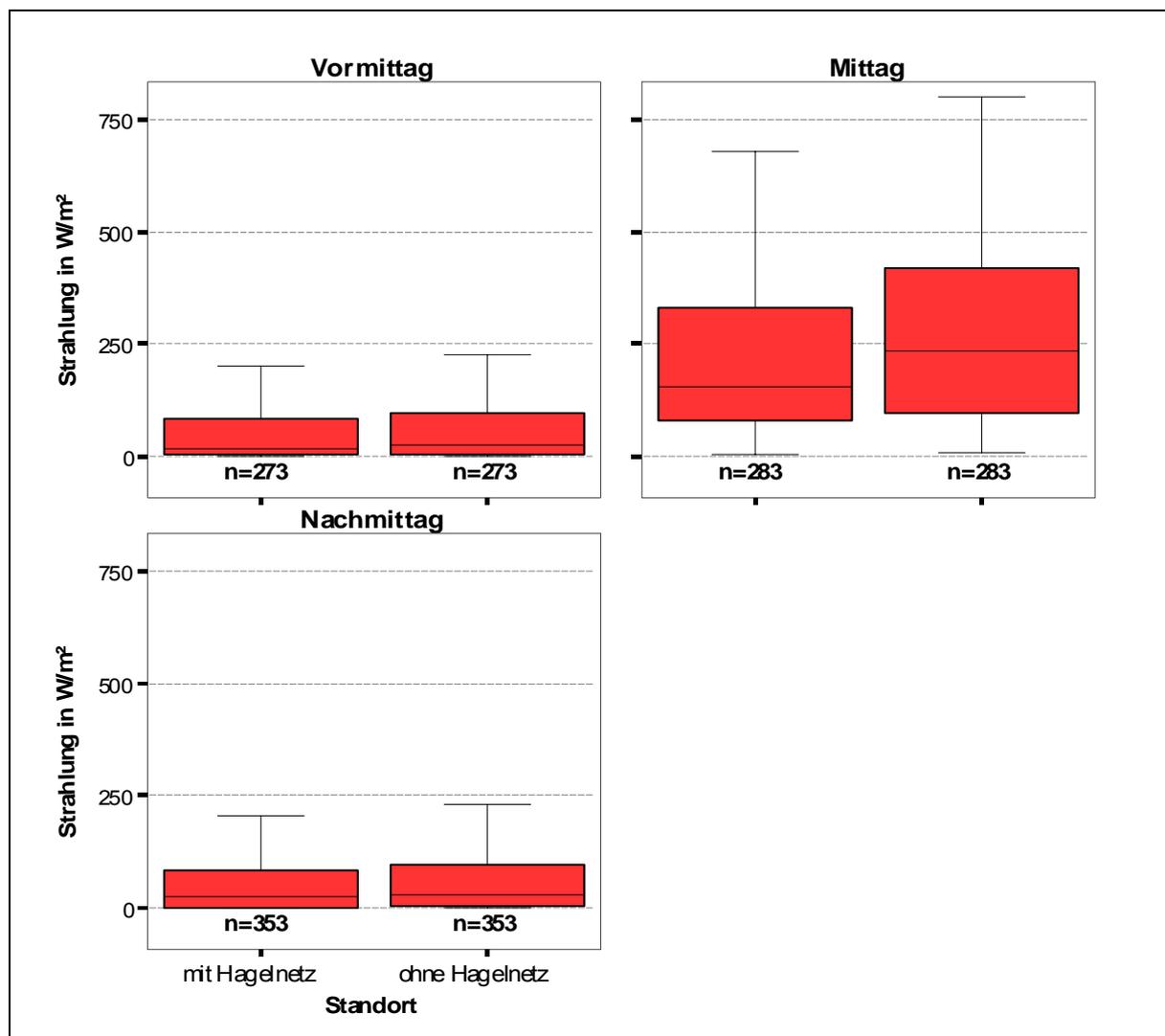


Abbildung 44: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (n = Anzahl der Fälle), dargestellt für die Zeitperiode Herbst (23.09. – 30.10.).

Die Abbildung 44 gibt Verteilung der Werte der Hauptkomponente Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag wieder, die Tabelle 21 beinhaltet die Mittel- und Medianwerte der Hauptkomponente Strahlung an den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Herbst.

Die Werte des Vor- und Nachmittags sind ganz ähnlich verteilt. Die Höchstwerte liegen zu den beiden Tageszeiten unter 250 W/m^2 , die Hagelnetzbeschattung beträgt im Mittel 7 %. Zu Mittag ist die Abschwächung durch das Hagelnetz mit 21,19 % am höchsten, auch die Streuung der Werte ist am höchsten. Die Höchstwerte der Hauptkomponente Strahlung zu Mittag liegen oberhalb von 750 W/m^2 am Standort mit Hagelnetzabdeckung, am Kontrollstandort hingegen leicht darunter.

Im Tagesmittel beträgt die Hauptkomponente Strahlung $100,37 \text{ W/m}^2$ unter dem Hagelnetz und $116,04 \text{ W/m}^2$ bei der Kontrolle, was eine Standortdifferenz von 12,05 % ergibt.

Tabelle 21: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Differenzen (%) der Hauptkomponente Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.

	Hauptkomponente Strahlung in W/m^2					
	mit Hagelnetz		ohne Hagelnetz		Differenz in %	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Vormittag	59,87	13,15	64,46	18,06	7,68	37,30
Mittag	178,67	113,53	216,54	141,54	21,19	24,67
Nachmittag	62,58	18,65	67,13	26,87	7,27	44,08
Tagesmittel	100,37	48,44	116,04	62,16	12,05	35,35

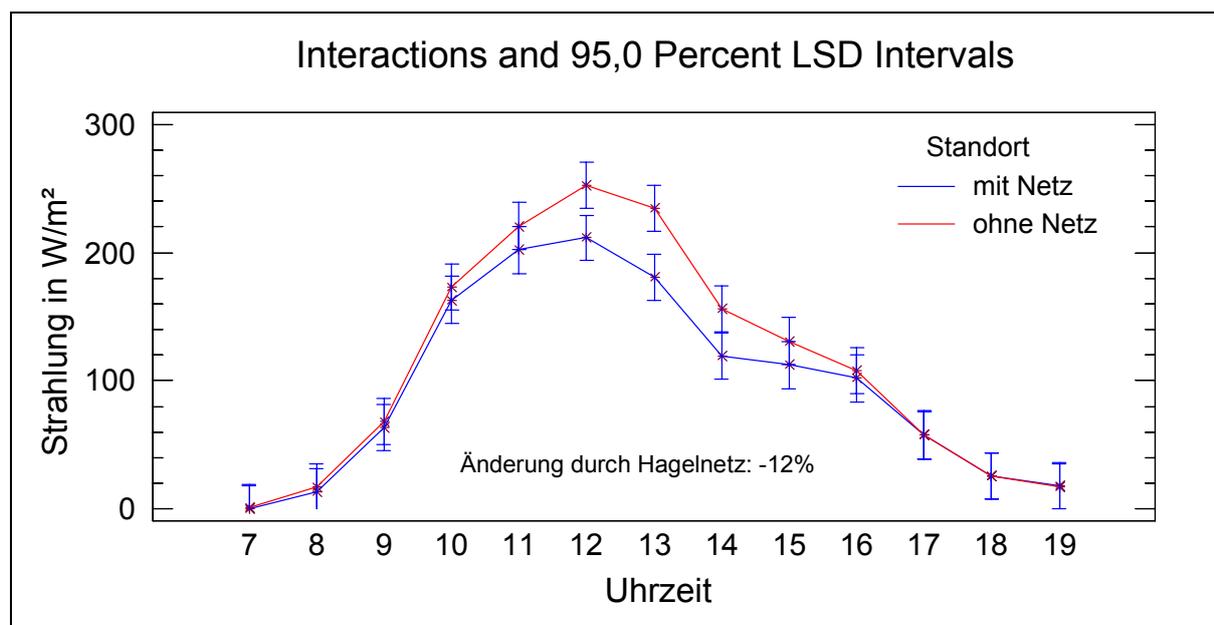


Abbildung 45: Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (Datenpunkte sind Stundenmittelwerte von Messungen im Herbst vom 23. 09. – 30.10.)

Die Abbildung 45 stellt den Tagesgang der Hauptkomponente Strahlung dar. In den Morgenstunden liegen die Strahlungswerte in der Parzelle mit Hagelnetz nur leicht unter denen ohne Hagelnetz. Die höchsten Standortunterschiede sind in dem Zeitraum zwischen 11.00 und 15.00 Uhr, also zu Mittagszeit und am frühen Nachmittag zu sehen, bis in die Abendstunden werden sie immer geringer, so dass ab ca. 17.00 Uhr keine Unterschiede zwischen den Parzellen mit und ohne Hagelnetz mehr zu sehen sind.

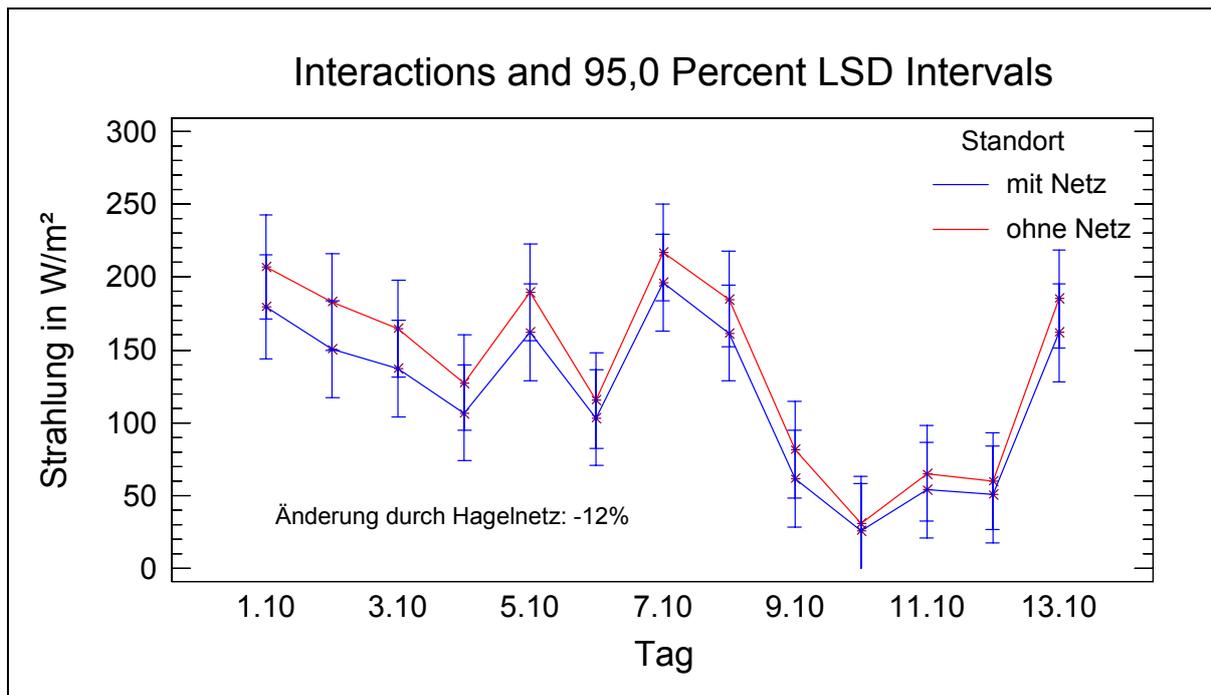


Abbildung 46: Tagesmittelwerte der Hauptkomponente Strahlung (W/m^2) an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz im Herbst von 1.10 – 13.10.

Abbildung 46 zeigt die Tagesmittelwerte der Strahlungshauptkomponente von 1. bis 13. Oktober. Die Temperaturwerte unter dem Hagelnetz sind immer niedriger als die bei der Kontrolle. Die Abstände zwischen den beiden Standorten variieren je nach Tag und Strahlungsintensität und sind von vielen anderen Faktoren, wie Wind, Belaubung, oder Einfallswinkel der Sonne (je steiler der Einfallswinkel der Sonne ist, desto mehr Sonnenstrahlung erreicht den Boden) abhängig (Abb. 46).

4.2.3.1.2 Hauptkomponente Temperatur

Tabelle 22: Mittelwertevergleich der Hauptkomponente Temperatur (°C) in den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Herbst.

Tageszeiten	Hauptkomponente Temperatur [°C]		Differenz	
	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	relativ [%]	absolut [°C]
Nacht	10,19	10,50	3,03	0,31
Vormittag	10,03	10,34	3,03	0,30
Mittag	14,84	15,25	2,75	0,41
Nachmittag	14,34	14,44	0,68	0,10
Tagesmittel	12,35	12,63	2,29	0,28

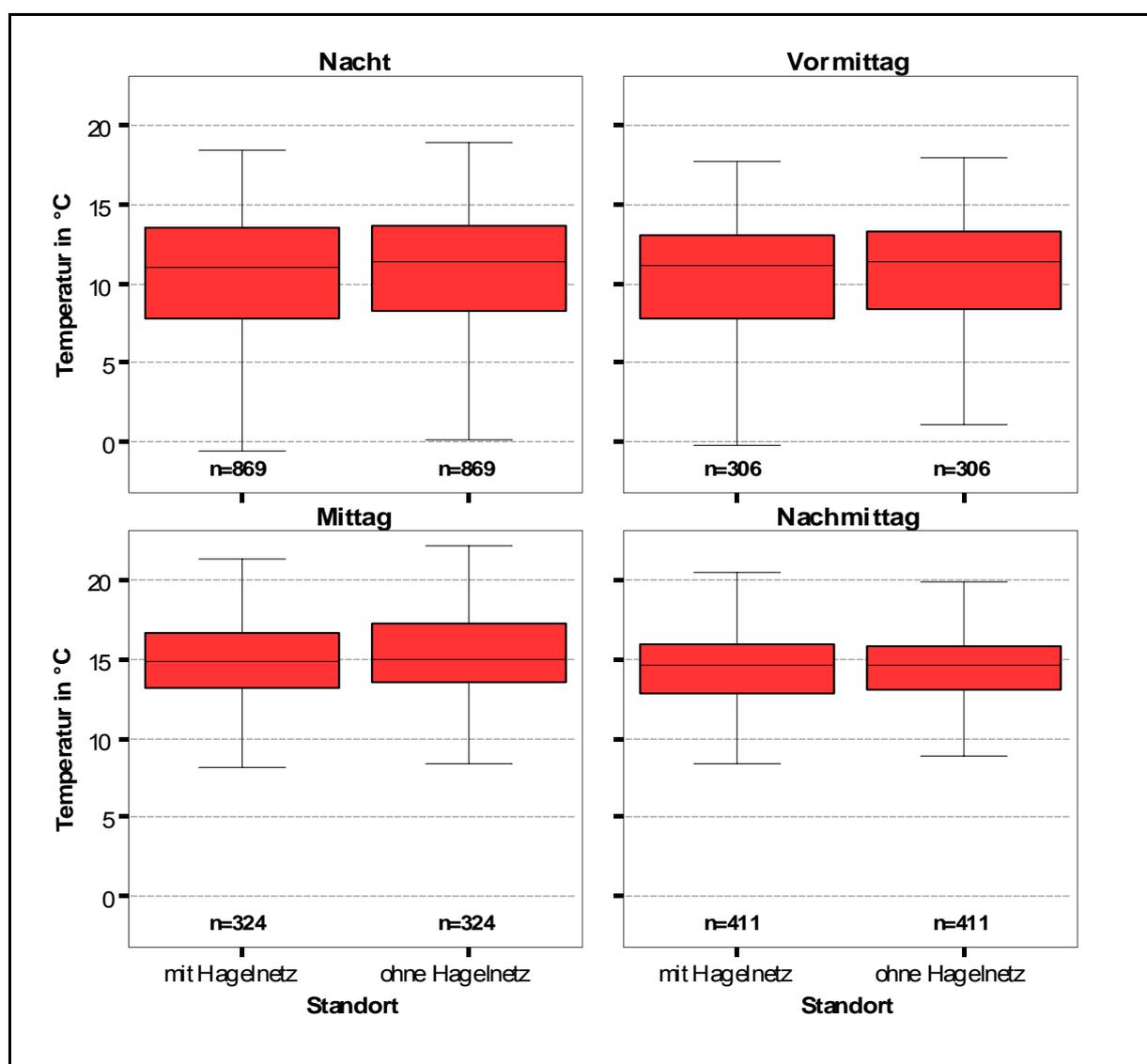


Abbildung 47: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Hauptkomponente Temperatur (°C) in der Nacht, Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (n = Anzahl der Fälle), dargestellt für die Zeitperiode Herbst (23.09 – 30.10.).

In Abbildung 47 ist die Verteilung der Hauptkomponente Temperatur über vier Tageszeiten (Nacht: 20.00 – 6.00 Uhr, Vormittag, 7.00 Uhr – 10.00 Uhr, Mittag: 11.00 Uhr – 14.00 Uhr, Nachmittag: 15.00 Uhr – 19.00 Uhr) im Herbst wiedergegeben. Die Temperatur in der Nacht und am Vormittag weist ziemlich ähnliche Werte auf. Die Mittelwerte liegen im Durchschnitt bei ca. 10 °C Auch die Werte zu Mittag und am Nachmittag sind miteinander vergleichbar. Sie liegen im Durchschnitt bei ca. 15 °C (Tab. 22). Die Hagelnetzbeschattung in der Nacht und am Vormittag beträgt ca. 0,3 °C bzw. 3 %, zu Mittag sinkt sie bis zu ca. 0,41 °C bzw. 2,75 %. Am Nachmittag ist die Hauptkomponente Temperatur unter dem Hagelnetz nur um 0,1 °C bzw. 0,68 % niedriger als bei der Kontrolle (Tab. 22), was in Abbildung 48 nachzuvollziehen ist. Um 16.00 Uhr ist die Temperatur unter dem Hagelnetz sogar höher als in der Kontrollparzelle.

Im Tagesmittel liegt die Hauptkomponente Temperatur unter dem Hagelnetz bei 12,35 °C und bei der Kontrolle bei 12,63 °C, was eine Differenz von ca. 2,29 %, bzw. 0,28 °C ergibt (Tab. 22).

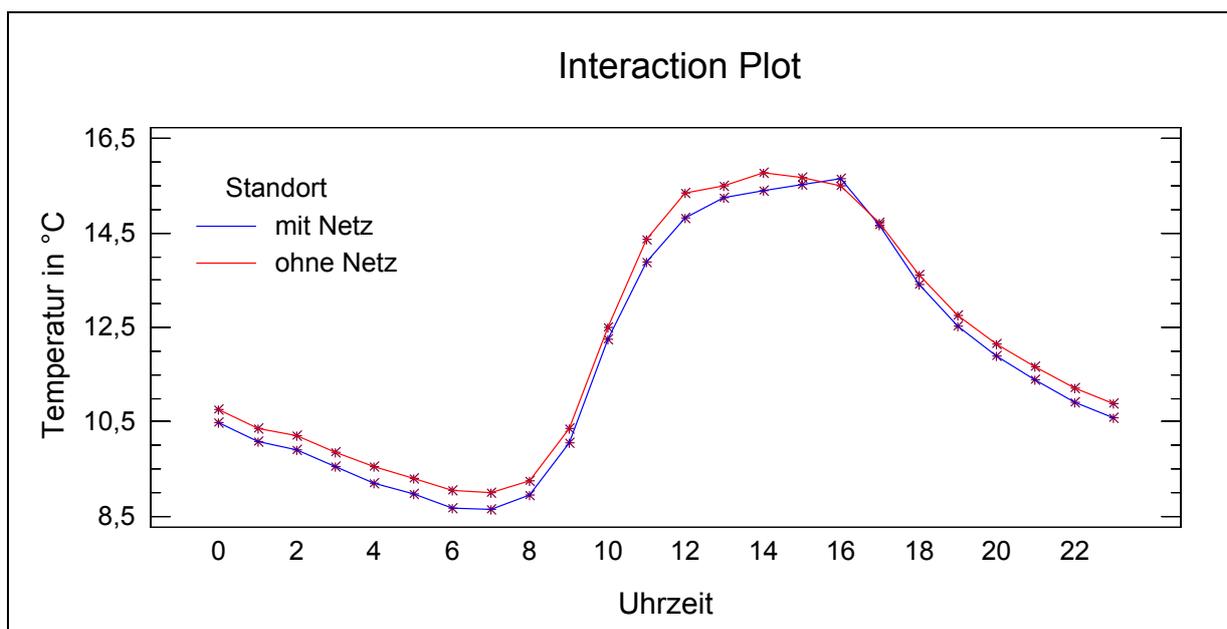


Abbildung 48: Tagesgang der Hauptkomponente Temperatur an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Datenpunkte sind über den Herbst (23. 09. – 30.10.) gemittelte Stundenmittelwerte.

4.2.3.1.3 Hauptkomponenten- bzw. Detailanalyse der relativen Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte ist der einzige Messparameter der Hauptkomponente, sodass die Besprechung der Ergebnisse der Hauptkomponente gleichzeitig die Detailanalyse der Feuchte darstellt. Für die Zeitperiode Herbst sind viele Werte der relativen Luftfeuchte ausgefallen, es kann in weiterer Folge die Aussagekraft der Ergebnisse schwächen.

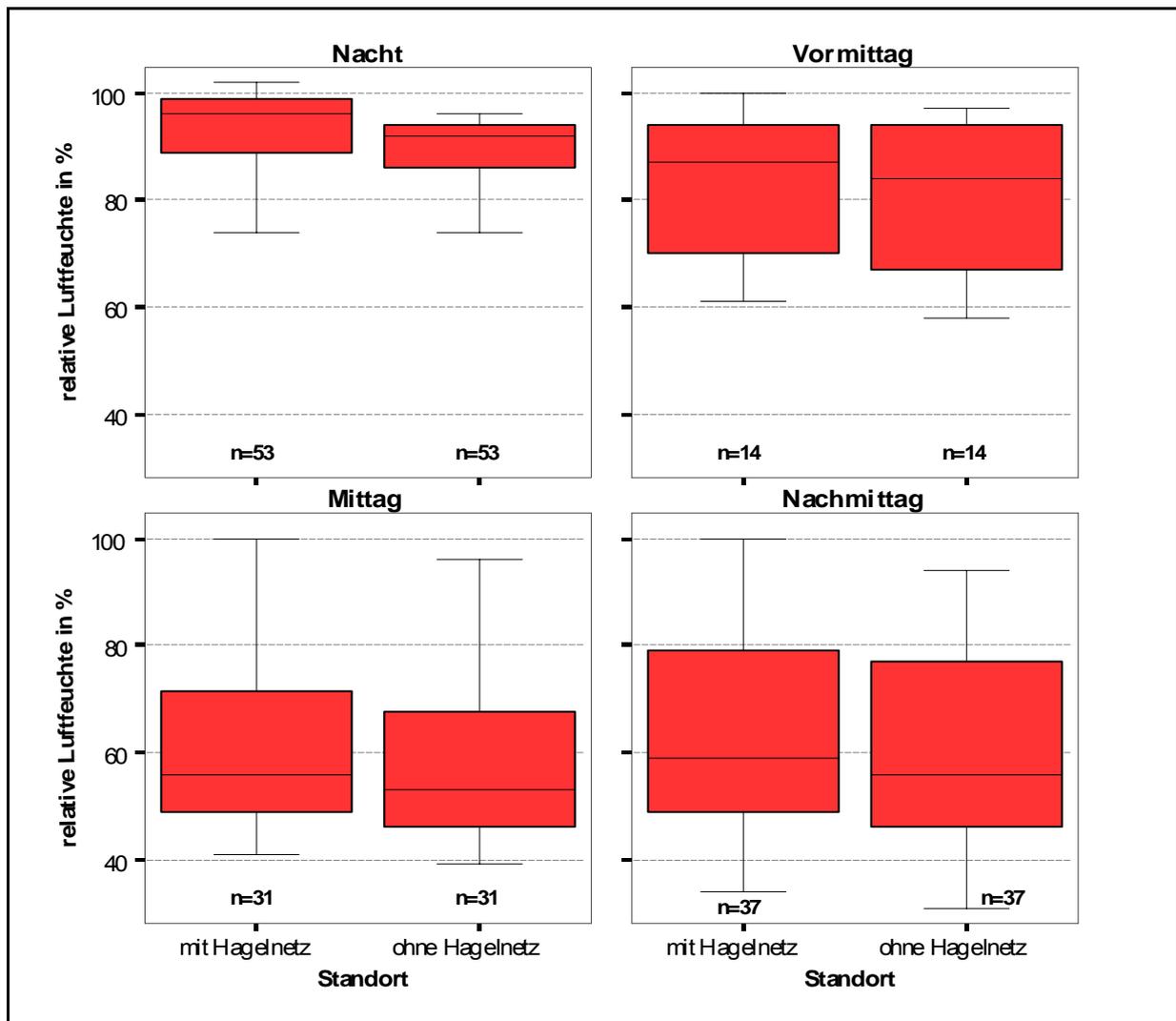


Abbildung 49: Boxplot-Darstellung: Verteilung der relativen Luftfeuchte (%) über die Tageszeiten an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.

In Abbildung 49 ist die Verteilung der relativen Luftfeuchte über vier Tageszeiten (genaue Einteilung siehe oben) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz dargestellt. Die Werte in der Herbstperiode sind im Vergleich zu den anderen Jahreszeiten deutlich gestiegen. Die Höchstwerte (93 % unter dem Netz, 89 % bei der Kontrolle) wurden in der Nacht registriert und nur in der Nacht ist die relative Luftfeuchte um 4 % höher unter dem Hagelnetz, ansonsten immer um 3 % (Tab. 23).

Tabelle 23: Tageszeitenmittelwerte und Medianwerte der Luftfeuchte (%) in der Nacht, Vormittag, Mittag, Nachmittag an den Versuchsf lächen mit und ohne Hagelnetz im Herbst. Negative Werte weisen auf höhere Feuchtwerte unter dem Hagelnetz hin.

		relative Luftfeuchte [%]					
		Standort mit Hagelnetz		Standort ohne Hagelnetz		Differenz [%]	
		Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Tageszeit	Nacht	93	96	89	92	-4	-4
	Vormittag	83	87	82	84	-1	-3
	Mittag	62	56	59	53	-3	-3
	Nachmittag	64	59	61	56	-3	-3
	Tagesmittel	76	75	73	71	-3	-3

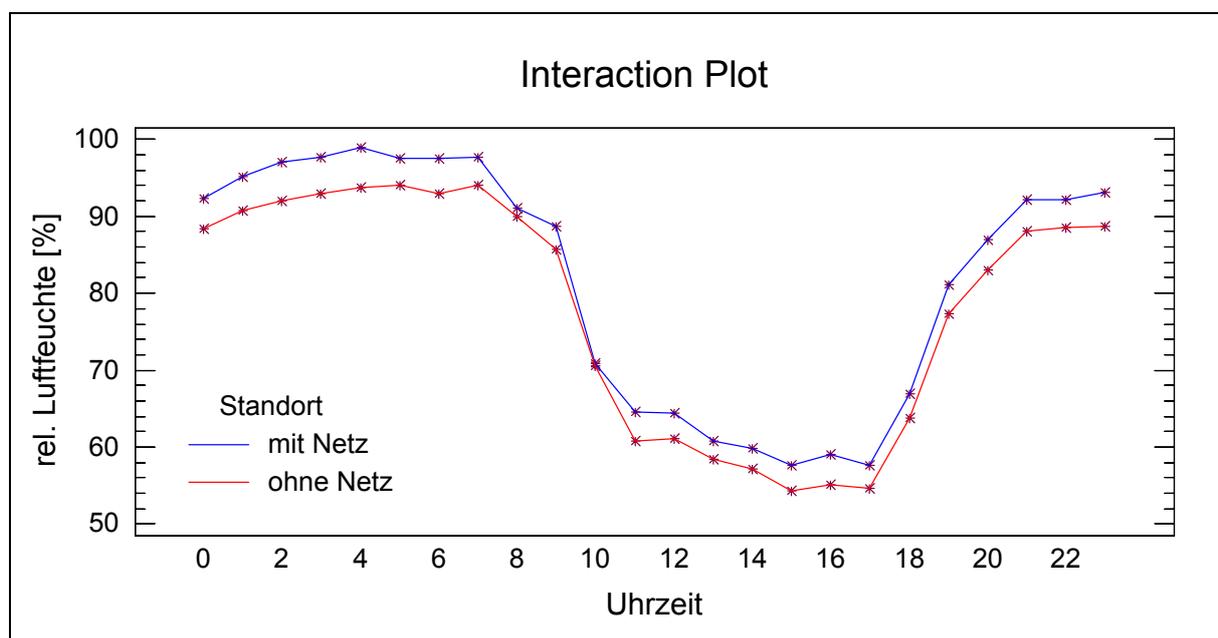


Abbildung 50: Tagesgang der relativen Luftfeuchte an den Standorten mit (blau) und ohne (rot) Hagelnetz. Die Datenpunkte sind über den Herbst (23. 09. – 30.10.) gemittelte Stundenmittelwerte.

Abbildung 50 zeigt den Tagesverlauf der relativen Luftfeuchte im Herbst 2002. Die Abstände zwischen den Versuchsf lächen mit und ohne Hagelnetz sind nicht mehr so regelmäßig über den ganzen Tag verteilt wie im Frühling und Sommer, was an der mangelhaften Messdaten in der Herbstperiode liegen kann.

4.2.3.2 DETAILANALYSE DER MIKROKLIMATISCHEN PARAMETER IM HERBST

Im laufenden Kapitel wird jede Teilkomponente der Hauptkomponenten Strahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte für die Herbstperiode einzeln betrachtet.

4.2.3.2.1 Detailanalyse der Strahlungsparameter

Folgende Strahlungsparameter werden in der Herbstperiode analysiert: Globalstrahlung, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und Gesamtstrahlungsbilanz. Die Werte der Albedo und der kurzwelligen Strahlungsbilanz sind in dem Zeitraum von 23. 09. – 30.10 aus der Messung ausgefallen. In Tabelle 24 wurden Prozentanteile der gültigen und fehlenden Messwerte der Strahlungsparameter im Herbst zusammengestellt.

Tabelle 24: Prozentanteile der gültigen und fehlenden Strahlungswerte im Herbst (n = Anzahl der Fälle).

	Verarbeitete Fälle n					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	n	Prozent	n	Prozent	n	Prozent
Globalstrahlung	376	53,3%	330	46,7%	706	100,0%
Strahlung am Boden	376	53,3%	330	46,7%	706	100,0%
Strahlung im Bestand	376	53,3%	330	46,7%	706	100,0%
Gesamtbilanz	376	53,3%	330	46,7%	706	100,0%

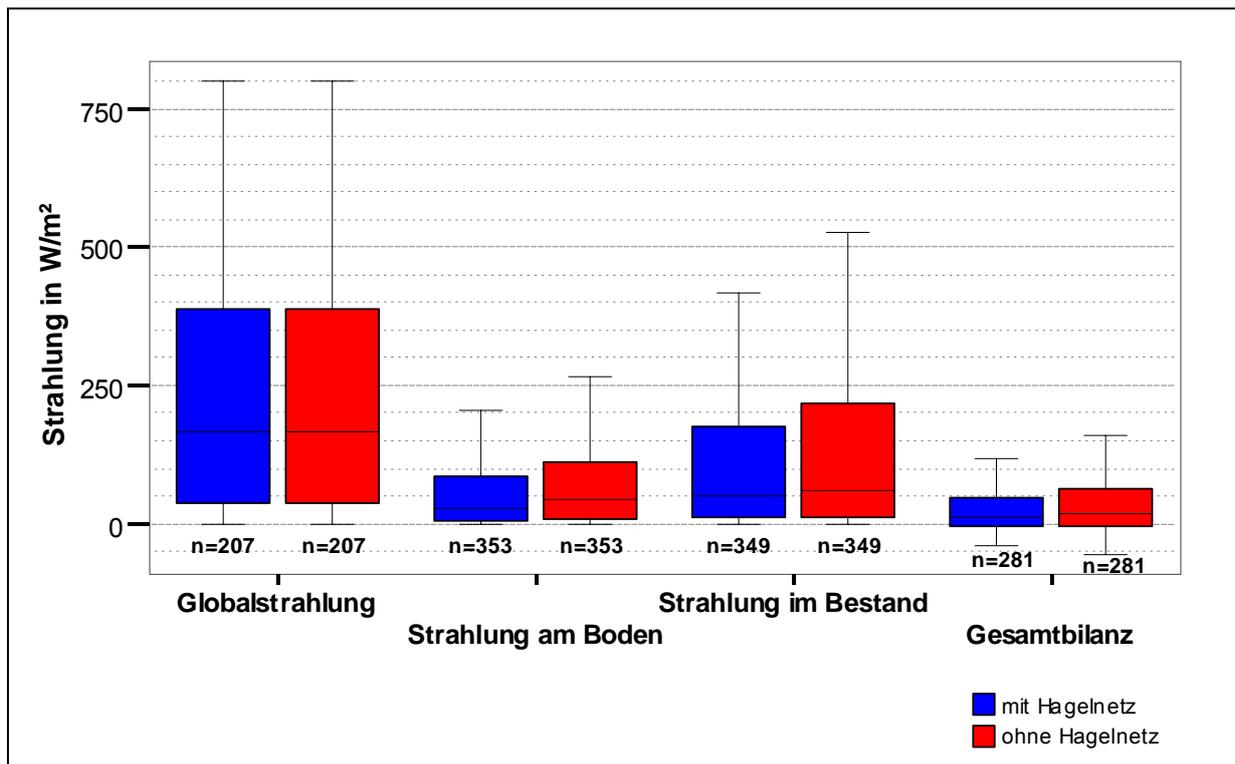


Abbildung 51: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter (W/m^2) über eine Tagesperiode von 7.00 - 19.00 Uhr an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst (23. 09. – 30.10).

In Abbildung 51 ist die Verteilung der Strahlungsparameter an den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz im Herbst dargestellt. Der Streubereich (50 % der Messwerte) der Globalstrahlung umfasst Werte zwischen ca. 40 – 350 W/m^2 , die Höchstwerte erreichen bis zu 800 W/m^2 . Am Beispiel der Globalstrahlung ist zu sehen, dass die Strahlungsintensität durch das Licht-Schatten-Phänomen im Bestand in 1,5 m Höhe bis zu ca. 500 W/m^2 , am Boden sogar bis zu 250 W/m^2 reduziert wurde (Abb. 51). Bei der Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe ist eine Reduzierung der Globalstrahlung durch die Belaubung von ca. 45,7 % zu sehen (Kontrollstandort) und ca. 37 % zusätzlich durch das schwarze Hagelnetz. Bis zu Bodenoberfläche im Bestand kommen nur 26 % der Globalstrahlung in der Parzelle mit Hagelnetz an, am Kontrollstandort hingegen 38 %. (Die Werte wurden aus der Tabelle 25 (Tagesmittelwerte) als Prozent der Globalstrahlung errechnet).

Tabelle 25: Median- und Mittelwerte (W/m^2) sowie die Standortdifferenzen (%) der Strahlung am Vormittag, Mittag und Nachmittag im Herbst: Globalstrahlung (G), Strahlung im Bestand (Sbe), Strahlung am Boden (Sbo) und Gesamtstrahlungsbilanz (S). Negative Werte weisen auf höhere Strahlung unter dem Hagelnetz hin.

		Strahlung [W/m^2]					
		mit Hagelnetz		ohne Hagelnetz		Differenz [%]	
		Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Vormittag	G	99,52	38,33	99,52	38,33	0,00	0,00
	Sbo	36,11	9,75	46,46	15,49	28,65	58,95
	Sbe	83,35	17,52	90,36	25,77	8,41	47,10
	S	35,35	5,53	33,13	8,89	-6,26	60,76
Mittag	G	372,40	414,14	372,40	414,14	0,00	0,00
	Sbo	115,09	97,45	171,62	127,20	49,11	30,54
	Sbe	230,23	183,44	306,11	301,57	32,96	64,40
	S	44,32	31,89	42,33	42,53	-4,49	33,35
Nachmittag	G	174,44	113,13	174,44	113,13	0,00	0,00
	Sbo	27,47	9,74	43,32	15,79	57,70	62,11
	Sbe	58,24	21,36	40,35	23,44	-30,71	9,74
	S	25,53	2,77	48,02	10,77	88,11	288,81
Tagesmittel	G	218,84	165,04	218,84	165,04	0,00	0,00
	Sbo	56,92	26,64	83,53	44,63	46,75	67,53
	Sbe	118,74	50,40	137,31	58,31	15,63	15,69
	S	34,59	12,95	41,42	17,89	19,73	38,15

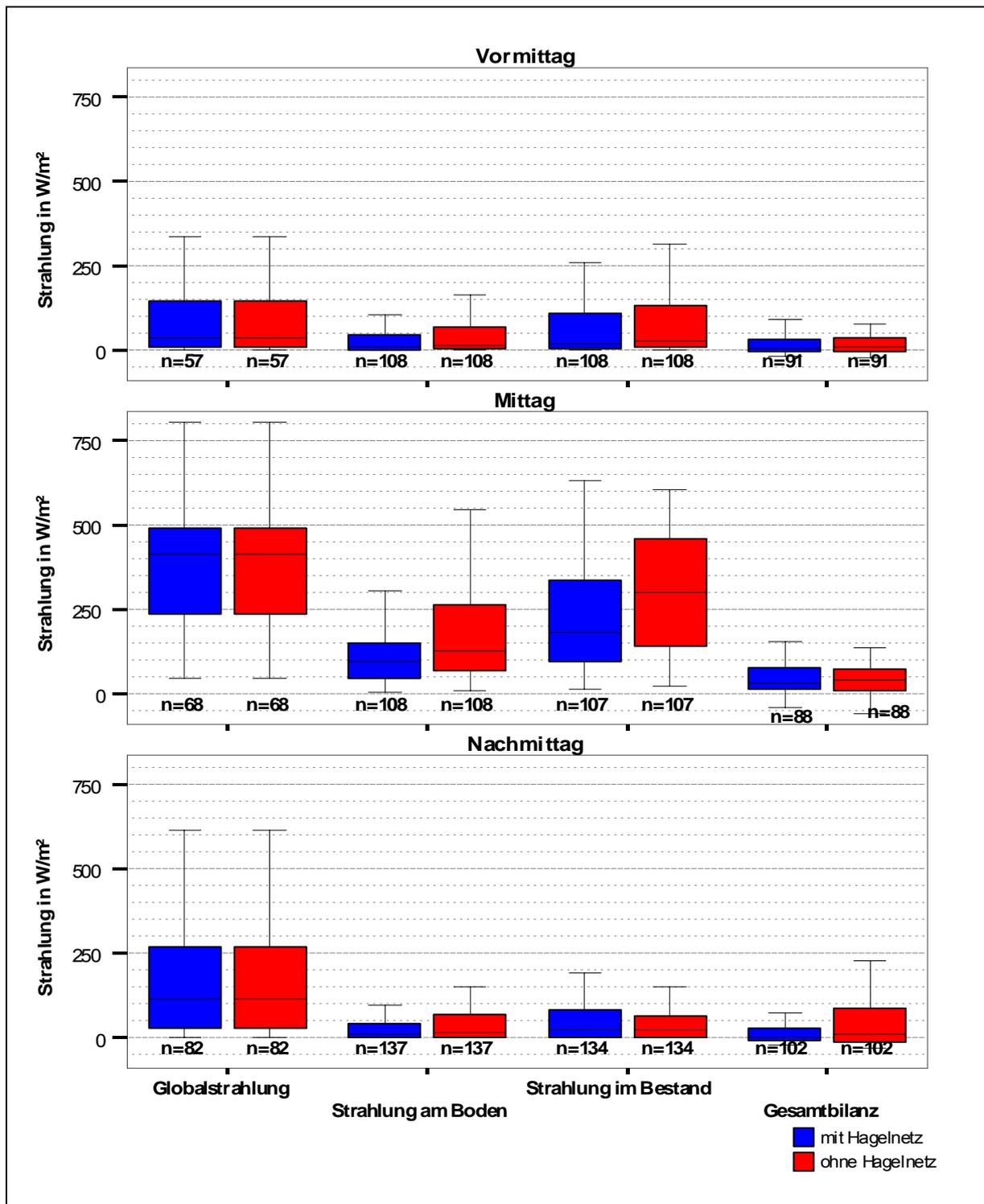


Abbildung 52: Boxplot-Darstellung: Verteilung der Werte der Strahlungsparameter: Global, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. Vormittags-, Mittags- und Nachmittags-Mittelwerte wurden über den Herbst (23. 09. – 30.10.) gemittelt.

In Abbildung 52 wurden die Strahlungsparameter detailliert erfasst. Die Strahlung im Bestand weist sowohl am Vormittag, als auch am Nachmittag viel niedrigere Werte auf als zu Mittag. Der Prozent der Netzbeschattung beträgt am Vormittag ca. 8,41 %, zu Mittag ca. 32,96 %. Am Nachmittag ist die Strahlung im Bestand unter der Netzabdeckung sogar um 30,71 %

höher als bei der Kontrolle. Im Tagesmittel beträgt die Verminderung der Strahlungswerte im Bestand 15,69 % (Tab. 25).

Die Wirkung des Hagelnetzes ist bei der Strahlung am Boden am höchsten und beträgt am Vormittag ca. 28,65 %, zu Mittag ca. 49,11 % und am Nachmittag ca. 57,70 %, im Tagesmittel 46,75 %.

Die Gesamtstrahlungsbilanz erreicht im Tagesmittel nur 34,59 W/m² unter dem Netz und 41,42 W/m² am Kontrollstandort. Die Abschwächung beträgt im Mittel 38,15% (Tab. 25).

4.2.3.2.1.1 Tagesgang der Strahlungsparameter im Herbst

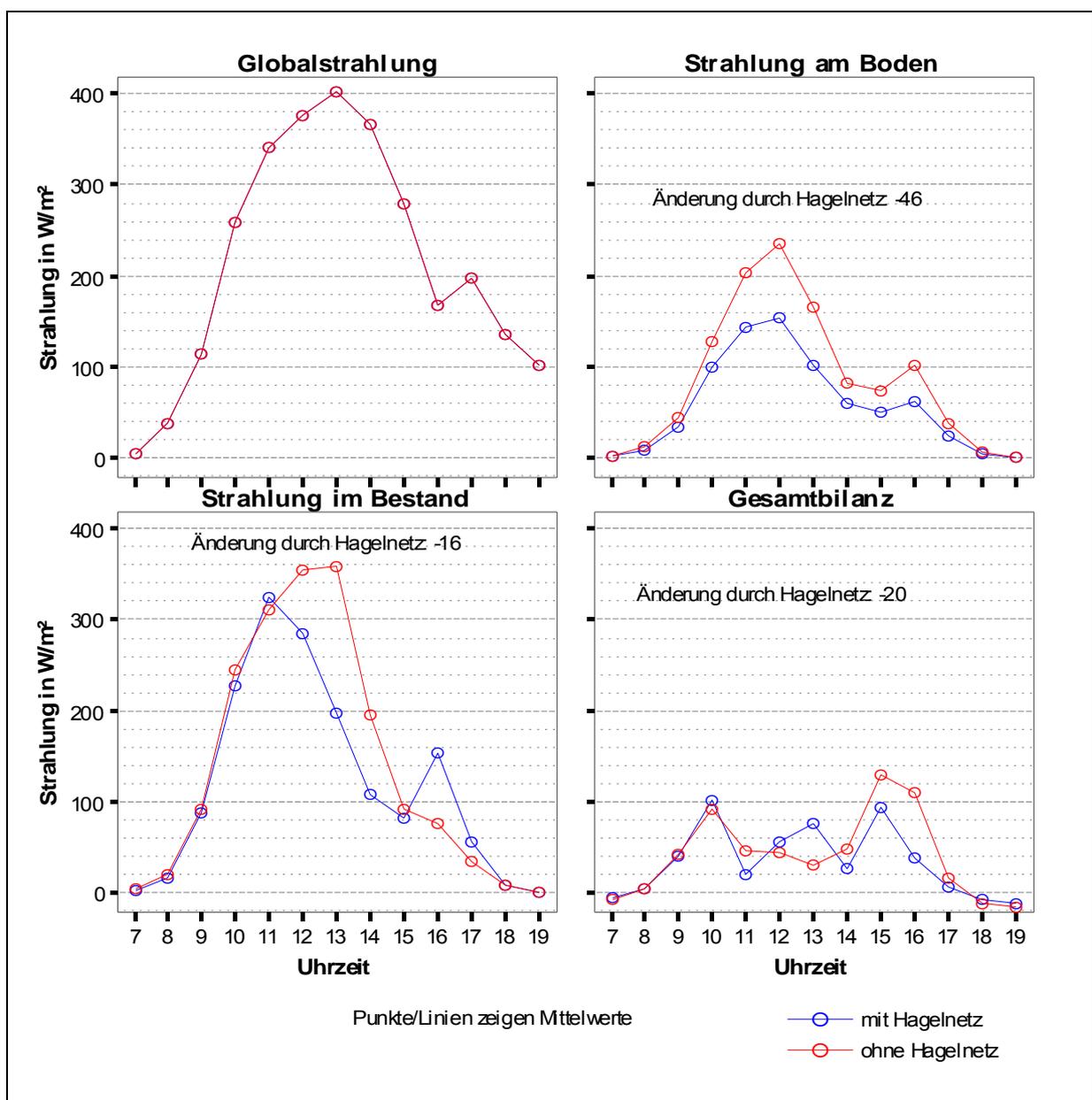


Abbildung 53: Tagesgang von Globalstrahlung, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden, und Gesamtstrahlungsbilanz an den Standorten mit und ohne Hagelnetz. Datenpunkte sind über die Herbstperiode (23.09. – 30.10.) gemittelte Stundenmittelwerte von 7.00 – 19.00 Uhr.

Die Globalstrahlung im Herbst (Abb. 53) zeigt einen glockenförmigen Verlauf, allerdings erleidet er in den Nachmittagsstunden durch die Witterung geprägte Einbrüche. Die Intensität der Globalstrahlung erreicht einen Spitzenwert von ca. 400 W/m² (Stundenmittelwert von 23.09 – 30.10).

Die Strahlung im Bestand ist zu Mittag niedriger unter dem Hagelnetz. Im Zeitraum zwischen 16.00 – 17.00 Uhr ist Sie in dieser Parzelle jedoch deutlich höher als bei der Kontrolle.

Die Werte der Strahlung am Boden sind unter einer Hagelnetzabdeckung deutlich niedriger als am Kontrollstandort, der Tagesverlauf in den beiden Feldern ist aber ganz ähnlich, allerdings um ca. 46 % unter dem Netz gesenkt.

Die Gesamtstrahlungsbilanz (gemessen in 1,5 m Höhe) zeigt in den beiden Fällen (Standorten mit und ohne Hagelnetz) sehr unterschiedliche Kurvenverläufe. **Auf Grund des Sonnenflecken-Phänomens führen die Ergebnisse zu keinen schlüssigen Aussagen über den Einfluss des Hagelnetzes.**

4.2.3.3 DETAILANALYSE DER LUFT- UND BODENTEMPERATUREN IN 1 UND 10 CM TIEFE IM HERBST

Die Herbstmittelwerte der Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1 und 10 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz wurden miteinander verglichen.

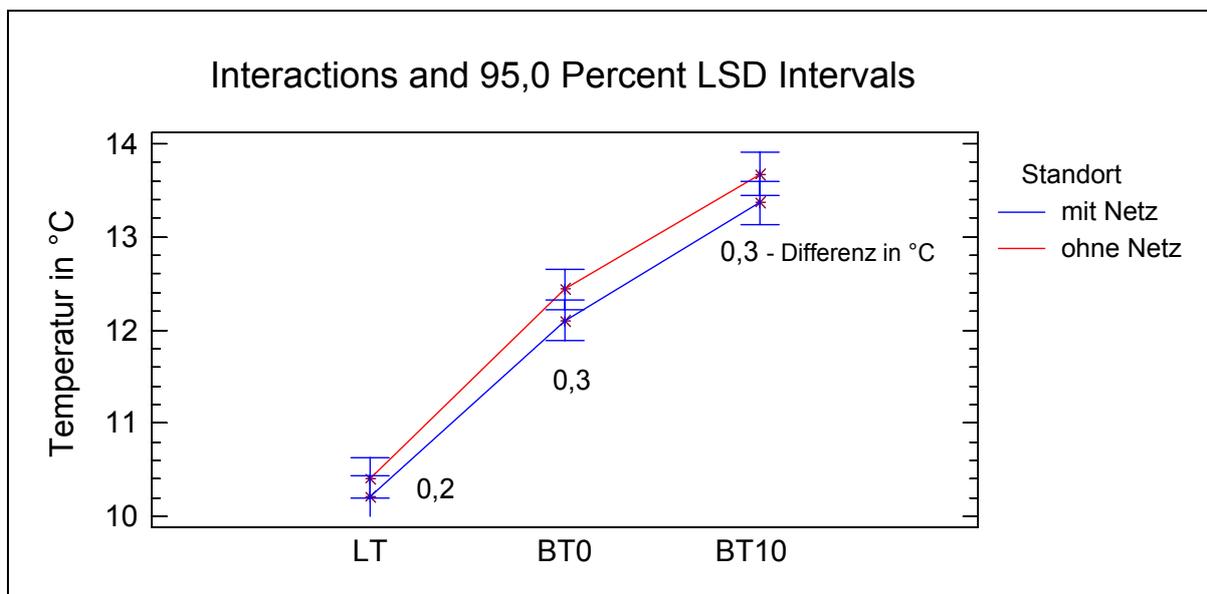


Abbildung 54: Mittelwertvergleich der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT0) und in 10 cm (BT10) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst 2002.

In Abbildung 54 ist eine Steigung der Temperaturen mit zunehmender Bodentiefe zu sehen. Aufgrund der drei Temperaturwerte konnte festgestellt werden, dass im Herbst die

Temperaturen in den Tiefen Bodenschichten höher sind als die Lufttemperatur. Auch die Differenz zwischen den Standorten mit und ohne Hagelnetz sind bei den Bodentemperaturen in 1 und 10 cm Tiefe geringfügig höher (0,3 °C) als bei der Lufttemperatur (0,2 °C). Da die Werte der Bodentemperatur in 30 cm Tiefe im Herbst ausgefallen sind, ist ein weiterer Vergleich nicht möglich.

4.2.3.3.1 Verteilung der Temperaturwerte zu den Tageszeiten im Herbst

Die Lufttemperatur und die Bodentemperatur in 1 und 10 cm Tiefe wurden unter Berücksichtigung der Tageszeiten für die Versuchspartzellen mit und ohne Hagelnetz in der Abbildung 55 grafisch dargestellt. In der Tabelle 26 wurden die Mittelwerte (°C) und Standortdifferenzen hinzugefügt.

Tabelle 26: Mittelwerte (°C) und Standortdifferenzen (%) der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1) und in 10 cm (BT10) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.

	Temperaturmittelwerte [°C]								
	LT [°C]			BT1 [°C]			BT10 [°C]		
	mit HN	ohne HN	Differenz [%]	mit HN	ohne HN	Differenz [%]	mit HN	ohne HN	Differenz [%]
Nacht	7,04	7,24	2,89	10,47	10,91	4,23	13,54	13,81	2,04
Vormittag	7,64	7,78	1,87	10,35	10,73	3,72	12,52	12,92	3,19
Mittag	16,21	16,44	1,44	15,45	16,00	3,51	12,86	13,31	3,49
Nachmittag	14,56	14,75	1,27	14,48	14,37	-0,79	13,98	14,20	1,58
Tagesmittel	11,36	11,55	1,87	12,69	13,00	2,67	13,22	13,56	2,57

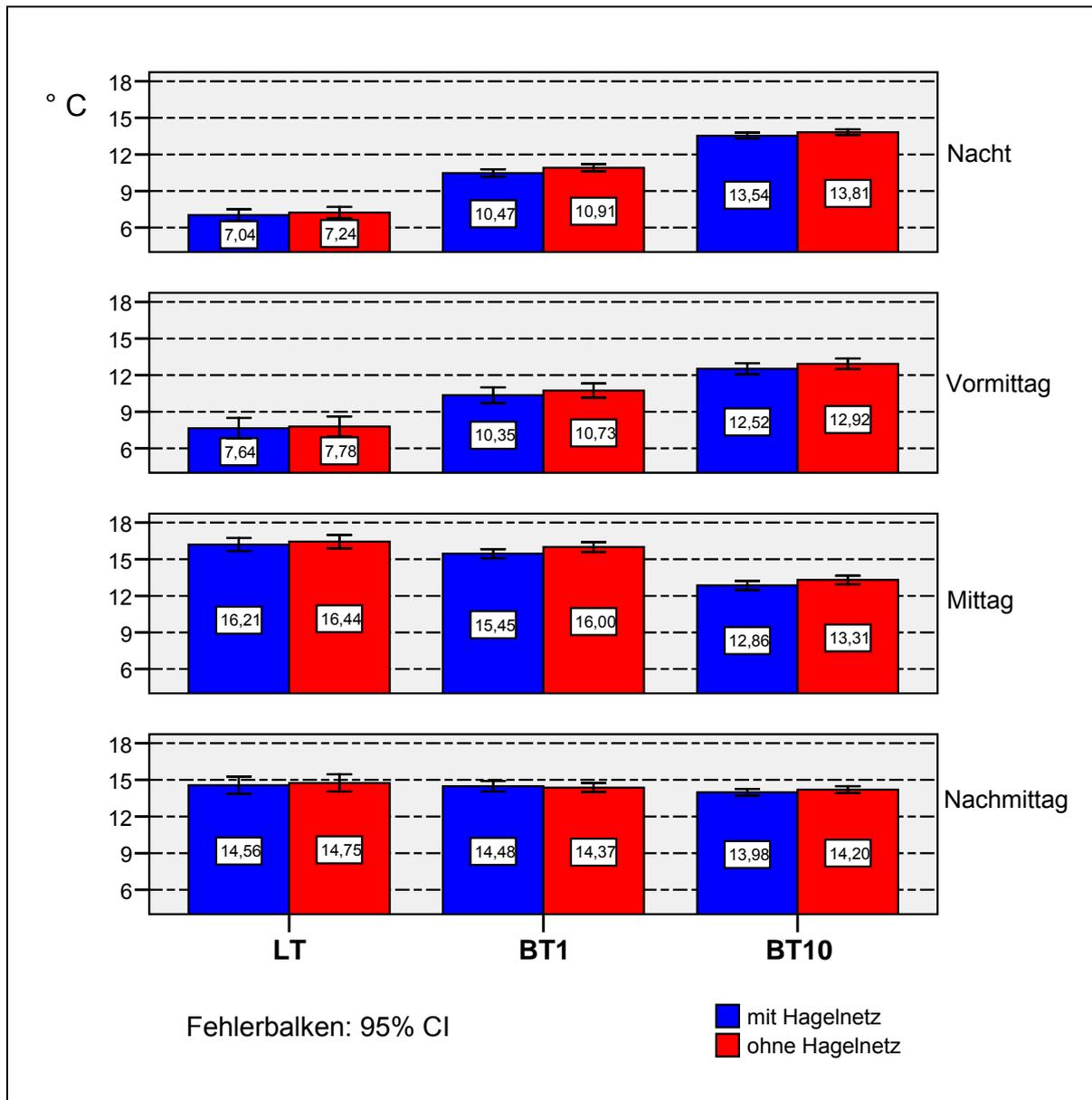


Abbildung 55: Balkendiagramm-Darstellung der Lufttemperatur (LT), Bodentemperatur in 1cm (BT1) und in 10 cm (BT10) Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz (Datenpunkte sind Tageszeitenmittelwerte von Messungen im Herbst (23.09. – 30.10.).

Die Lufttemperatur ist in der Nacht und am Vormittag viel niedriger als zu Mittag und am Nachmittag. Die Abschwächung unter der Hagelnetzabdeckung ist in der Nacht am höchsten mit ca. 2,98 % und am Nachmittag mit ca. 1,27 % am niedrigsten.

Bei der **Temperatur in 1 Bodentiefe** ist die Differenz zwischen den Standorten mit und ohne Hagelnetz ebenfalls in der Nacht am höchsten und liegt um ca. 4,23 % niedriger unter dem Hagelnetz. Am Nachmittag ist die Temperatur in der abgedeckten Parzelle sogar um 0,79 % höher gegenüber der Kontrolle.

Die **Temperatur in 10 cm Bodentiefe** weist sehr stabile Werte auf, auch die Amplitude ist viel niedriger als bei der Lufttemperatur. Die Abschwächung liegt am Nachmittag bei ca. 1,58 %

und ist somit zu dieser Tageszeit am niedrigsten, zu Mittag liegt sie bei 3,49 % und ist somit zu dieser Tageszeit am höchsten. Im Tagesmittel beträgt sie ca. 2,57 %. (Abb. 55, Tab. 26)

4.2.3.3.2 Tagesgang der Temperatur der Luft- und Bodentemperaturen in 1, 10 und 30 cm Tiefe im Herbst

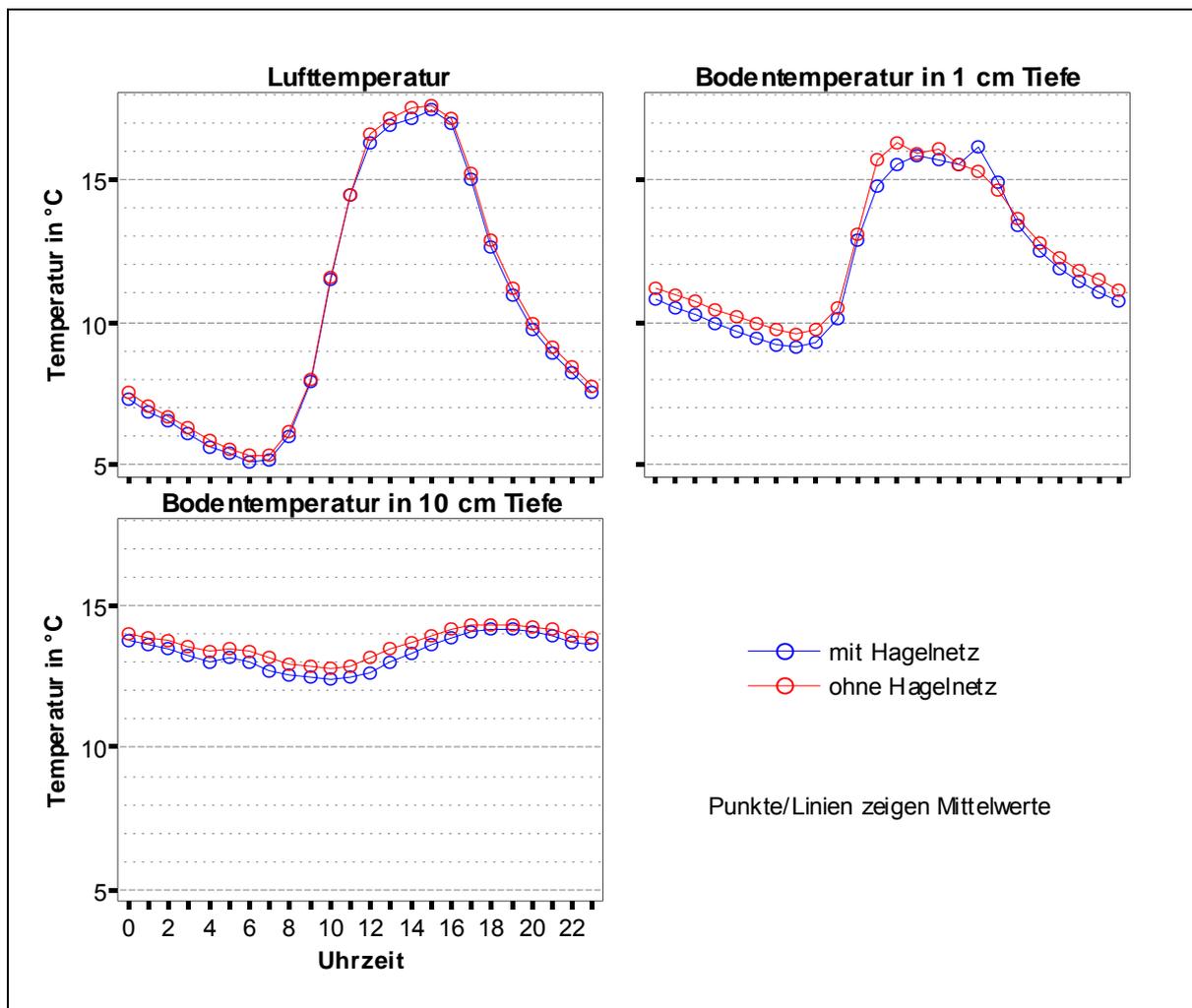


Abbildung 56: Tagesgang der über den Herbst (23.09. – 30.10.) gemittelten Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, Bodentemperatur in 1 und 10 cm Tiefe an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.

In Abbildung 56 ist der Tagesverlauf der Lufttemperatur und Bodentemperatur in 1 und 10 cm Tiefe im Herbst dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Temperaturen unter dem Hagelnetz immer niedriger liegen als am Kontrollstandort. Man sieht jedoch eine kurzfristige Temperatursteigerung (16.00 Uhr) in 1 cm Bodentiefe unter dem Hagelnetz.

4.3 ANALYSE DER STRAHLUNGSINTENSITÄTS-KLASSEN VON GLOBALSTRAHLUNG, STRAHLUNG IM BESTAND IN 1,5 M HÖHE UND STRAHLUNG AM BODEN

Sonnenlicht ist zwar einer der begrenzenden Faktoren für die Photosynthese und damit für die Assimilationsleistung, eine Begrenzung des Lichtangebotes muss jedoch nicht unbedingt zu ungünstigen Nebenwirkungen führen.

Die Versuche von Marsoner (1996) von Mai bis September 1994 zur Lichtabhängigkeit der Apfelsorte Royal Gala auf den Versuchsfeldern des Versuchszentrum Laimburg in Auer, Südtirol, zeigen, dass die Lichtsättigung der Photosynthese von Blättern der Sorte Royal Gala (Baumkronenbereich) bei ca. $1000 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PhAR-Strahlung), das sind ca. 500 W/m^2 liegt. Diese Ergebnisse wurden auch im Jahr 1996 von Trenti (1996), die sich in Rahmen einer Diplomarbeit ebenfalls mit dem Thema auseinander gesetzt hatte, bestätigt.

Im Sommer 1997 wurden ähnliche Messungen von Ebert & Casierra (2000) an dreijährigen 'Golden Delicious'/M9-Bäumen, die in Gefäßversuchsanlage des Fachgebietes Obstbau in Berlin standen, durchgeführt. Laut deren Untersuchungen liegt der Sättigungsbereich der Photosynthese von Apfelblättern ebenfalls bei ca. $1000 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ also ca. 500 W/m^2 . Da die Lichtverhältnisse in einem Bestand eine Lichtgradienten unterliegen, muss man zwischen Sonnen- und Schattenblätter unterscheiden. Deswegen wurden Messungen der Photosynthese an zwei aufeinander folgenden Tagen im Juli (14.7. und 15.7) von jeweils vier Blättern pro Baum zu verschiedenen Tageszeiten gemessen und daraus ein Mittelwert berechnet.

Allerdings hängt die Photosyntheseleistung der Pflanzen nicht nur vom Lichtangebot, sondern auch von vielen anderen Faktoren ab. Die wichtigsten sind außer Licht, die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre, Wasserverfügbarkeit sowie die Temperatur. Dem entsprechend kann die Lichtsättigungsgrenze mehr oder weniger vom Wert 500 W/m^2 abweichen.

Daraus ergeben sich folgende Fragen: Wie viele Stunden im Frühling lag die Strahlung oberhalb der Lichtsättigung, spielt hier die Einnetzung eine wesentliche Rolle? Wie werden die strahlungsreichen und wie die strahlungsarmen Tage von den Hagelnetzen beeinflusst?

Im folgenden Kapitel wurden Stundenmittelwerte der Globalstrahlung, Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und der Strahlung am Boden einer Analyse unterworfen.

Es wurden die Messwerte nach der Stärke der Einstrahlung in drei Klassen unterteilt:

- I. Strahlungswerte größer als 500 W/m^2
- II. Strahlungswerte zwischen $100 - 500 \text{ W/m}^2$
- III. Strahlungswerte kleiner als 100 W/m^2

Die obere Grenze wurde bis Einstrahlungsstärke über der mittleren Lichtsättigung der Apfelbäume (500 W/m^2) gesetzt. Als Maß für die strahlungsarmen Tage wurde eine untere Grenze bei 100 W/m^2 angenommen.

Die drei Strahlungsparameter: Globalstrahlung, Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und die Strahlung am Boden wurden für jede Jahreszeit getrennt analysiert, zum einem als Hauptkomponente und zum anderen jede Teilkomponente detailliert (dazu Näheres in Material und Methodik).

4.3.1 FRÜHLING

4.3.1.1 DIE ANALYSE DER STRAHLUNGSINTENSITÄTSKLASSEN DER HAUPTKOMponente STRAHLUNG IM FRÜHLING (8.05 - 20.06).

Die Globalstrahlung, Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und Strahlung am Boden wurden zu einer Strahlungshauptkomponente zusammengefasst. Damit wird mit einem Mittelwert operiert, der mit der mittleren Sättigungsgrenze verglichen wird. Die Hauptkomponente, die für die Intensitätsklassenanalyse gebildet wurde ist jedoch nicht mit der Hauptkomponente für die allgemeine Analyse (4.1) gleich zu setzen. Die Reflexionsstrahlung und die kurzweilige Strahlungsbilanz wurden hier nicht berücksichtigt.

Da der zur Verfügung stehende Datensatz zu Stundenmittelwerten zusammengefasst wurde, ist der Wert n , der in der Statistik die Häufigkeit der Messwerte beschreibt, hier mit der Anzahl der Stunden gleich zu setzen.

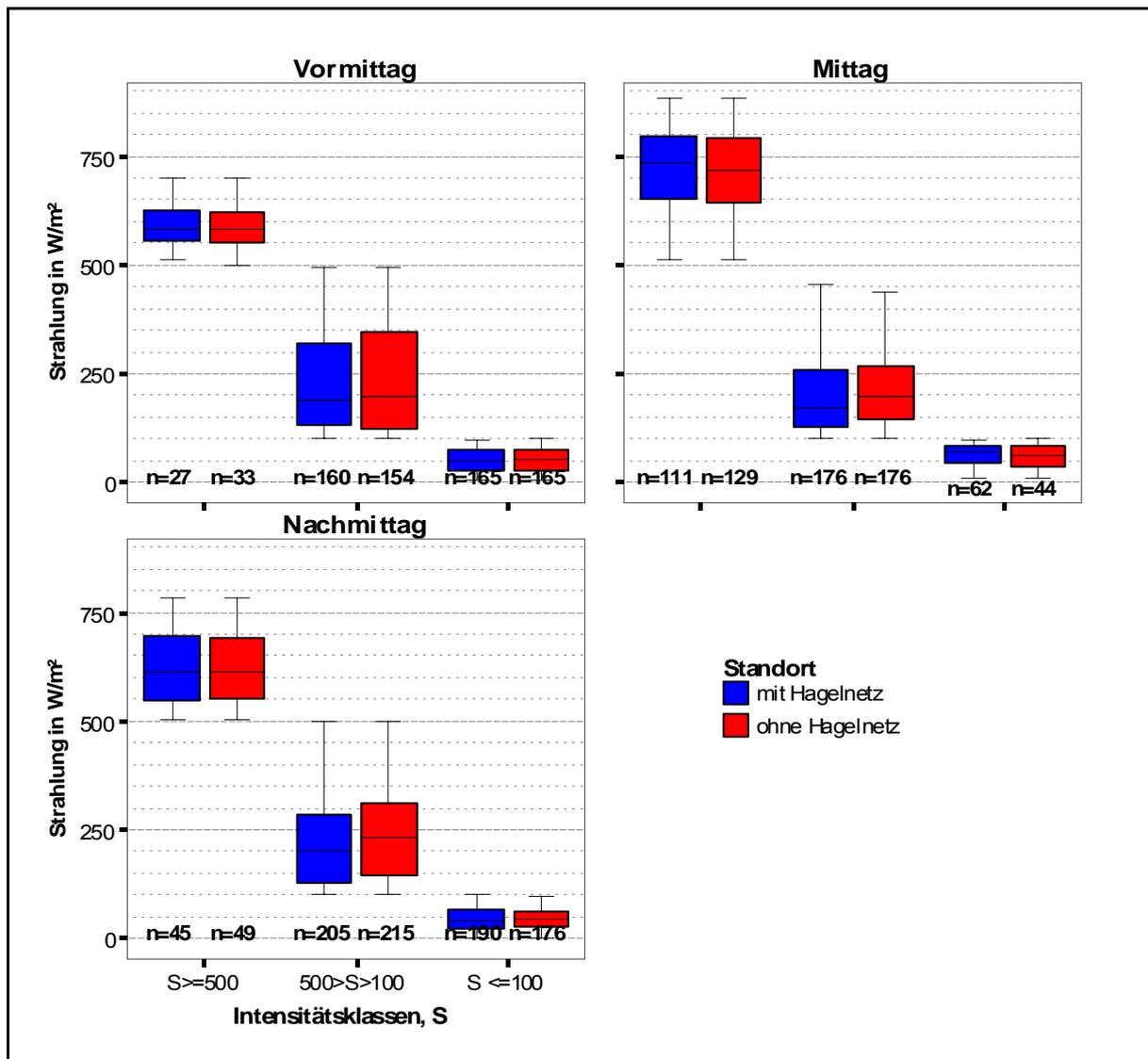


Abbildung 57: Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling ($S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², $S < 500$: kleiner als 500 W/m²).

Tabelle 27: Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente nach Stundenanzahl (n), definiert zwischen Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. ($S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: kleiner als 500 und größer als 100 W/m², $S < 500$: kleiner als 500 W/m²).

	Intensitätsklassen, S [W/m ²]	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	Gesamt Gültige n	Differenz	
		Gültige n	Gültige n		relativ (%)	Absolut
Vormittag	$S \geq 500$	27	33	60	22	6
	$500 > S > 100$	160	154	314	-4	-6
	$S < 500$	165	165	330	0	0
Mittag	$S \geq 500$	111	129	240	16	18
	$500 > S > 100$	176	176	352	0	0
	$S < 500$	62	44	106	-29	-18
Nachmittag	$S \geq 500$	45	49	94	9	4
	$500 > S > 100$	205	215	420	5	10
	$S < 500$	190	176	366	-7	-14
Tagessumme	$S \geq 500$	183	211	394	15	28
	$500 > S > 100$	541	545	1086	1	4
	$S < 500$	417	385	802	-8	-32

Abbildung 57 stellt die Verteilung der Hauptkomponente Strahlung (bestehend aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und Strahlung am Boden) nach Intensitätsklassen (S) definiert zwischen Vormittag, Mittag und Nachmittag im Frühling. Analog dazu wurde Tabelle 27 mit Stundenanzahl zu jede Tageszeit gebildet.

Am Vormittag lagen im Bereich über 500 W/m² 33 Stunden in der Kontrollparzelle und 27 Stunden am Standort mit Hagelnetz, damit um 6 Stunden, (bzw. 22 %) weniger gegenüber der Kontrolle. In dem Bereich spielt die Hagelnetzabdeckung aber keine Rolle, weil die Blätter schon mit 500 W/m² die Lichtsättigung erreicht haben. Im Bereich zwischen 100 - 500 W/m² lagen 160 am Kontrollstandort und 154 Stunden unter dem Hagelnetz. Die Sonnenscheindauer im Bereich unter 100 W/m² war an beiden Standorten gleich. Am Standort ohne Hagelnetz lagen also insgesamt nur um 6 Stunden weniger als in der Parzelle mit Hagelnetz unter der Sättigungsgrenze.

Zu Mittag lagen im Bereich über 500 W/m² 129 Stunden in der Kontrollparzelle und 111 Stunden am Standort mit Hagelnetz, im Bereich zwischen 100 - 500 W/m² wurden 176 Stunden an beiden Standorten registriert. Ein wesentlicher Unterscheid zwischen den beiden Parzellen, der auch für die Photosyntheseleistung der Apfelblätter wichtig ist, weißt die Strahlung in der untersten Intensitätsklasse ($S < 100$) auf. In der Kontrollparzelle lagen unter der 100 W/m² nur 44 Stunden, während sich am Standort mit Hagelnetz 62 Stunden befanden. Das waren also insgesamt 18 Stunden mehr am Standort mit Hagelnetz.

Am Nachmittag lagen im Bereich über 500 W/m² 49 Stunden in der Kontrollparzelle und 45 Stunden am Standort mit Hagelnetz, zwischen 100 - 500 W/m² lagen 215 Stunden am Kontrollstandort und 205 am Standort mit Hagelnetz. Im Bereich unter 100 W/m² lagen am Kontrollstandort 176 Stunden, unter dem Hagelnetz hingegen um 7 Stunden mehr. Insgesamt gab es am Kontrollstandort um 4 Stunden mehr, die im Sättigungsbereich lagen.

Gesamt (Tagessumme) lagen über 500 W/m² am Kontrollstandort um 28 Stunden (15 %) mehr als unter dem Hagelnetz, zwischen 100 - 500 W/m² lagen nur 4 Stunden (1 %) mehr am Kontrollstandort und im Bereich unter 100 W/m² lagen am Kontrollstandort 32 weniger als unter dem Hagelnetz. Zusammenfassend lässt sich schließen, dass die negative Wirkung der Hagelnetzabdeckung vor allem zu Mittag vorlag, wo rund um 18 Stunden (8 %) mehr bei der Kontrolle die Sättigung erreicht hat.

4.3.1.2 DETAILANALYSE DER INTENSITÄTSKLASSEN DER GLOBALSTRAHLUNG, DER STRAHLUNG IM BESTAND UND DER STRAHLUNG AM BODEN IM FRÜHLING

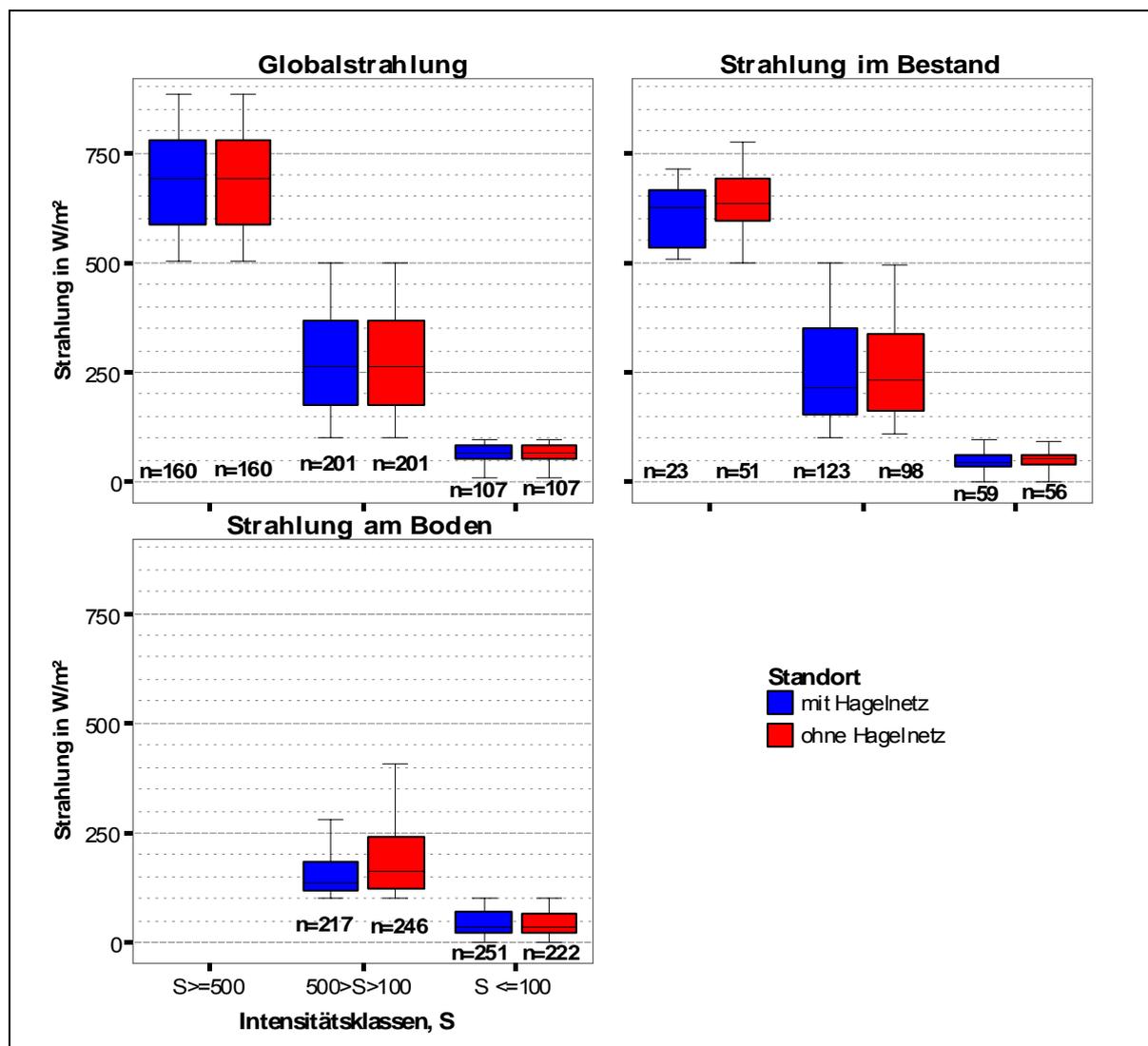


Abbildung 58: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling (n = Stundenanzahl, $S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², $S \leq 100$: kleiner als 100 W/m²).

Tabelle 28: Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und der Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. (n = Stundenanzahl, $S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², $S \leq 100$: kleiner als 100 W/m²).

Strahlungstyp	Intensitätsklassen S, [W/m ²]	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	Gesamt	Differenz	
		Gültige n	Gültige n		Gültige n	relativ (%)
Globalstrahlung	$S \geq 500$	160	160	320	0	0
	$500 > S > 100$	201	201	402	0	0
	$S \leq 100$	107	107	214	0	0
Strahlung am Boden	$S \geq 500$	0	0	0	0	0
	$500 > S > 100$	217	246	463	13	29
	$S \leq 100$	251	222	473	-12	-29
Strahlung im Bestand	$S \geq 500$	23	51	74	122	28
	$500 > S > 100$	123	98	221	-20	-25
	$S \leq 100$	59	56	115	-5	-3

Abbildung 58 zeigt die Verteilung der Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und Strahlung am Boden nach Intensitätsklassen an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Frühling. Zusätzlich wurde der Stundenanzahl n der Strahlungsparameter in Tabelle 28 dargestellt.

Bei der **Globalstrahlung (gemessen in 3m Höhe)** konnten 160 Stunden von insgesamt 468 oberhalb des Lichtsättigungsbereichs gemessen werden. 201 Stunden lag die Strahlung im Bereich zwischen 100 - 500 W/m². 107 Stunden wurden mit einer Strahlungsintensität unter 100 W/m² registriert.

Bei der **Strahlung im Bestand (gemessen in 1,5 m Höhe)** lagen 51 Stunden oberhalb der Lichtsättigungsgrenze am Standort ohne Hagelnetz und um 28 Stunden weniger in der Parzelle mit Hagelnetz. Ein Wert unter 500 W/m² signalisiert, dass die Blätter nicht im Sättigungsbereich waren, das waren zwischen 100 - 500 W/m² am Kontrollstandort 98 Stunden, in der Parzelle mit Hagelnetz 123 Stunden. Im Bereich unter 100 W/m² lagen 56 Stunden am Kontrollstandort und 59 Stunden am Standort mit Hagelnetz. Das bedeutet, dass die Strahlung im Bestand aufgrund von Hagelnetzabdeckung um 28 Stunden länger unter der Sättigungsgrenze (500 W/m²) lag.

Bei der **Strahlung am Boden** lagen alle Werte unter der Sättigungsgrenze der Apfelblätter. Im Bereich zwischen 100 bis 500 W/m² lagen am Standort ohne Hagelnetz 246 Stunden und um 29 Stunden weniger unter der Hagelnetzabdeckung. Im Bereich unter 100 W/m² war genau umgekehrt, d.h. um 29 Stunden weniger lagen am Kontrollstandort. Das bedeutet also, durch die Wirkung des Hagelnetzes wird die Strahlungsstärke am Boden deutlich herabgesetzt, die Benetzung war hier aber nicht für Unterschreiten der Sättigungsgrenze verantwortlich.

4.3.2 SOMMER

4.3.2.1 DIE ANALYSE DER INTENSITÄTSKLASSEN DER HAUPTKOMPONENTE STRAHLUNG IM SOMMER (21.06 – 22.09)

Für die Analyse der Intensitätsklassen wurde **Globalstrahlung (3 m Höhe), die Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und am Boden** zu einer Strahlungshauptkomponente der Sommerperiode zusammengefasst. In weitere Folge wird mit einem Mittelwert operiert, der mit der Sättigungsgrenze verglichen wird.

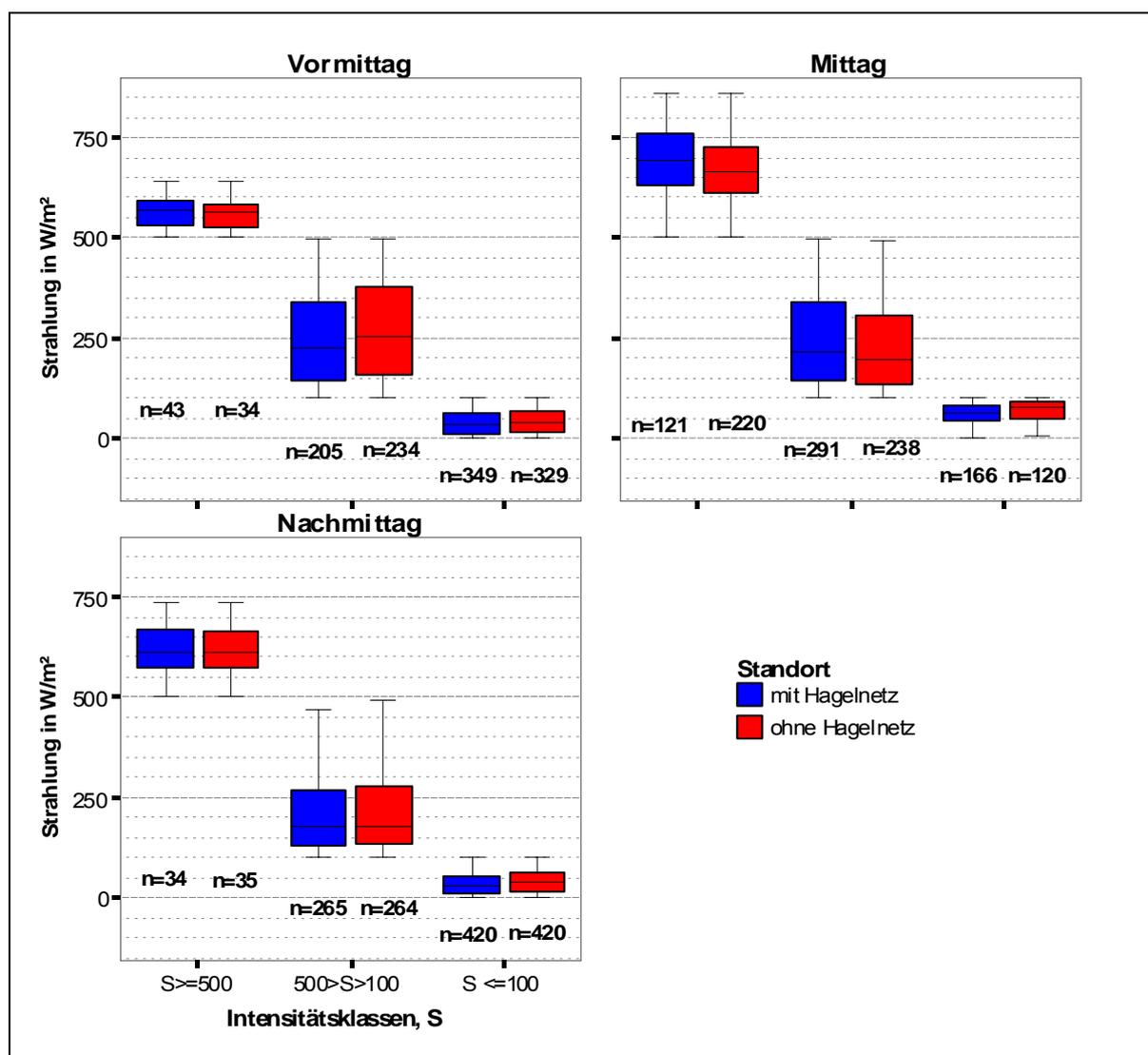


Abbildung 59: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente (Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und am Boden) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer ($S \geq 500$: größer als 500 W/m^2 , $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m^2 und größer als 100 W/m^2 , $S < 100$: kleiner als 100 W/m^2).

Tabelle 29: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente nach Stundenanzahl (n), definiert zwischen Vormittag, Mittag und Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf.

	Intensitätsklassen S, [W/m^2]	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	Gesamt	Differenz	
		Gültige n	Gültige n		Gültige n	relativ (%)
Vormittag	$S \geq 500$	43	34	77	-21	-9
	$500 > S > 100$	205	234	439	14	29
	$S \leq 100$	349	329	678	-6	-20
Mittag	$S \geq 500$	121	220	341	82	99
	$500 > S > 100$	291	238	529	-18	-53
	$S \leq 100$	166	120	286	-28	-46
Nachmittag	$S \geq 500$	34	35	69	3	1
	$500 > S > 100$	265	264	529	0	-1
	$S \leq 100$	420	420	840	0	0
Tagessumme	$S \geq 500$	198	289	487	46	91
	$500 > S > 100$	761	736	1.497	-3	-25
	$S \leq 100$	935	869	1.804	-7	-66

Abbildung 59 stellt die Verteilung der Strahlungshauptkomponente nach Intensitätsklassen dar, Tabelle 29 gibt die Stundenanzahl am Vormittag, Mittag und Nachmittag auf den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz in Sommerperiode wider.

Am Vormittag lagen im Bereich über 500 W/m² 34 Stunden am Kontrollstandort und 43 Stunden in der Parzelle mit Hagelnetz. Im Bereich zwischen 100 - 500 W/m² lagen 234 Stunden am Kontrollstandort, das waren 29 Stunden mehr als unter dem Hagelnetz. Im Bereich unter 100 W/m² lagen bei der Kontrolle 329 Stunden, somit rund um 20 Stunden weniger als am Standort mit Hagelnetz.

Zu Mittag lagen im Sättigungsbereich 220 Stunden in der Kontrollparzelle und 121 Stunden unter dem Hagelnetz. Im dem Bereich zwischen 100 - 500 W/m² lagen 238 Stunden am Kontrollstandort, in der Parzelle mit Hagelnetz 291 Stunden. Unter 100 W/m² lagen in der Kontrollparzelle nur 120 Stunden, während sich unter dem Hagelnetz 166 Stunden befanden. Insgesamt gab's also zu Mittag um 99 Stunden mehr bei der Kontrolle, die in der Sättigung waren. Die entscheidende Rolle für Unterschreiten der Sättigungsgrenze (500 W/m²) hatten die Hagelnetze zu Mittagszeit. An dem benetzten Standort konnten zu dieser Tageszeit um 99 Stunden (bzw. 88 %) weniger als bei der Kontrolle registriert werden.

Am Nachmittag sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Intensitätsklassen zu sehen.

Gesamt (Tagessumme) lagen über 500 W/m² unter dem Hagelnetz um 91 Stunden (46 %) weniger als am Kontrollstandort, zwischen 100 - 500 W/m² lagen um 25 Stunden (3 %) und im Bereich unter 100 W/m sogar 66 Stunden (7 %) mehr in der Parzelle mit Hagelnetz.

4.3.2.2 DIE DETAILANALYSE DER INTENSITÄTSKLASSEN DER GLOBALSTRAHLUNG, DER STRAHLUNG IM BESTAND UND DER STRAHLUNG AM BODEN IM SOMMER.

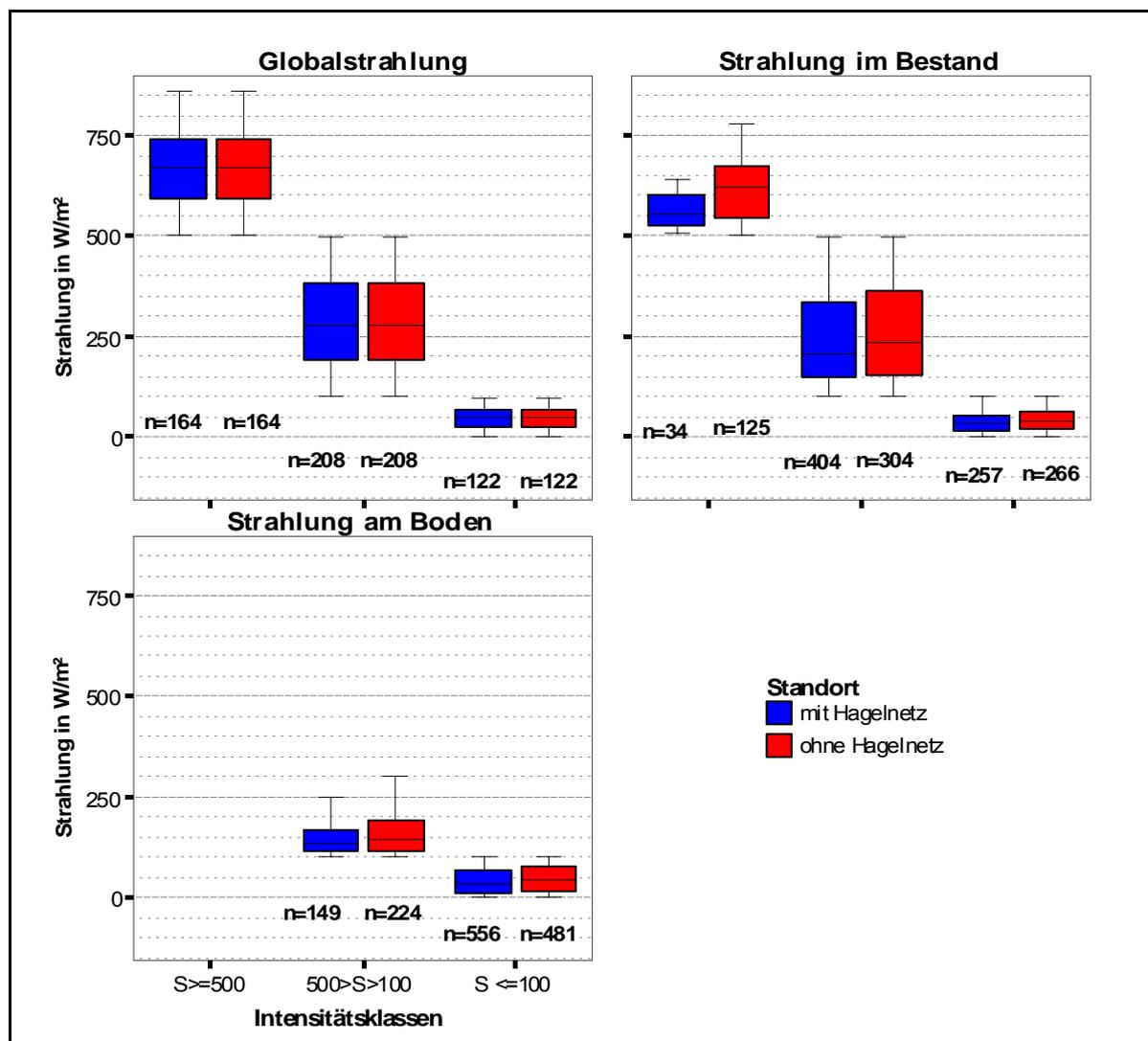


Abbildung 60: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung, Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer (n = Stundenanzahl, $S \geq 500$: größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², $S \leq 500$: kleiner als 500 W/m²).

Tabelle 30: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und der Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Sommer. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. ($S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², $S \leq 500$: kleiner als 500 W/m²).

Strahlungstyp	Intensitätsklassen S, [W/m ²]	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	Gesamt	Differenz	
		Gültige n	Gültige n		Gültige n	relativ (%)
Globalstrahlung	$S \geq 500$	164	164	328	0	0
	$500 > S > 100$	208	208	416	0	0
	$S \leq 100$	122	122	244	0	0
Strahlung am Boden	$S \geq 500$	0	0	0	---	0
	$500 > S > 100$	149	224	373	50	75
	$S \leq 100$	556	481	1.037	-13	-75
Strahlung im Bestand	$S \geq 500$	34	125	159	268	91
	$500 > S > 100$	404	304	708	-25	-100
	$S \leq 100$	257	266	523	4	9

In Abbildung 60 wurden die Intensitätsklassen der Globalstrahlung, der Strahlung im Bestand und der Strahlung am Boden mit der Sättigungsgrenze der Apfelblätter verglichen.

Die Stundenanzahl der Strahlungsparameter für die Intensitätsklassen wurde ebenfalls in Tabelle 30 dargestellt.

Bei der **Globalstrahlung (gemessen in 3 m Höhe)** lagen im Sommer oberhalb der mittleren Lichtsättigungsgrenze (500 W/m^2) 164 Stunden, im Bereich zwischen $100 - 500 \text{ W/m}^2$ 208 und im Bereich unter 100 W/m^2 122 Stunden.

Bei der **Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe** wurden im Bereich über 500 W/m^2 125 Stunden am Kontrollstandort und nur 34 Stunden in der Parzelle mit Netz registriert. Die Hagelnetze haben also die Strahlungsreduktion erheblich verstärkt. Im Bereich zwischen $100 - 500 \text{ W/m}^2$ lagen rund um 100 Stunden mehr bei der Kontrolle. Unter 100 W/m^2 Grenze wurden bei der Kontrolle um 9 Stunden mehr registriert als in der Parzelle mit Hagelnetz.

Die Lichtintensität **der bodennahen Strahlung** war v.a. durch eine dichte Belaubung sehr stark reduziert, deswegen konnten keine Werte im Bereich über 500 W/m^2 festgestellt werden. Im Bereich zwischen $100 - 500 \text{ W/m}^2$ lagen 224 Stunden am Standort ohne Hagelnetz und um 75 Stunden (bzw. 50 %) weniger unter der Hagelnetzabdeckung. Die meisten Stunden (556 am Kontrollstandort und 481 in der Parzelle mit Netz) wurden im Bereich unter 100 W/m^2 registriert.

Der Grad der Beschattung durch die Belaubung an der Bodenoberfläche ist sehr hoch, deswegen wirkt sich die zusätzliche Lichtabschwächung durch das Hagelnetz sehr negativ auf die Photosyntheseleistung der Blätter.

4.3.3 HERBST

4.3.3.1 DIE ANALYSE DER STRAHLUNGSINTENSITÄTSKLASSEN DER HAUPTKOMPONENTE STRAHLUNG IM HERBST (23.09 – 30.10)

Anhand der Hauptkomponente Strahlung, die aus **Globalstrahlung, die Strahlung im Bestand und Strahlung am Boden** zusammengesetzt wurde, wird wie zuvor, Analyse der Intensitätsklassen im Herbst durchgeführt.

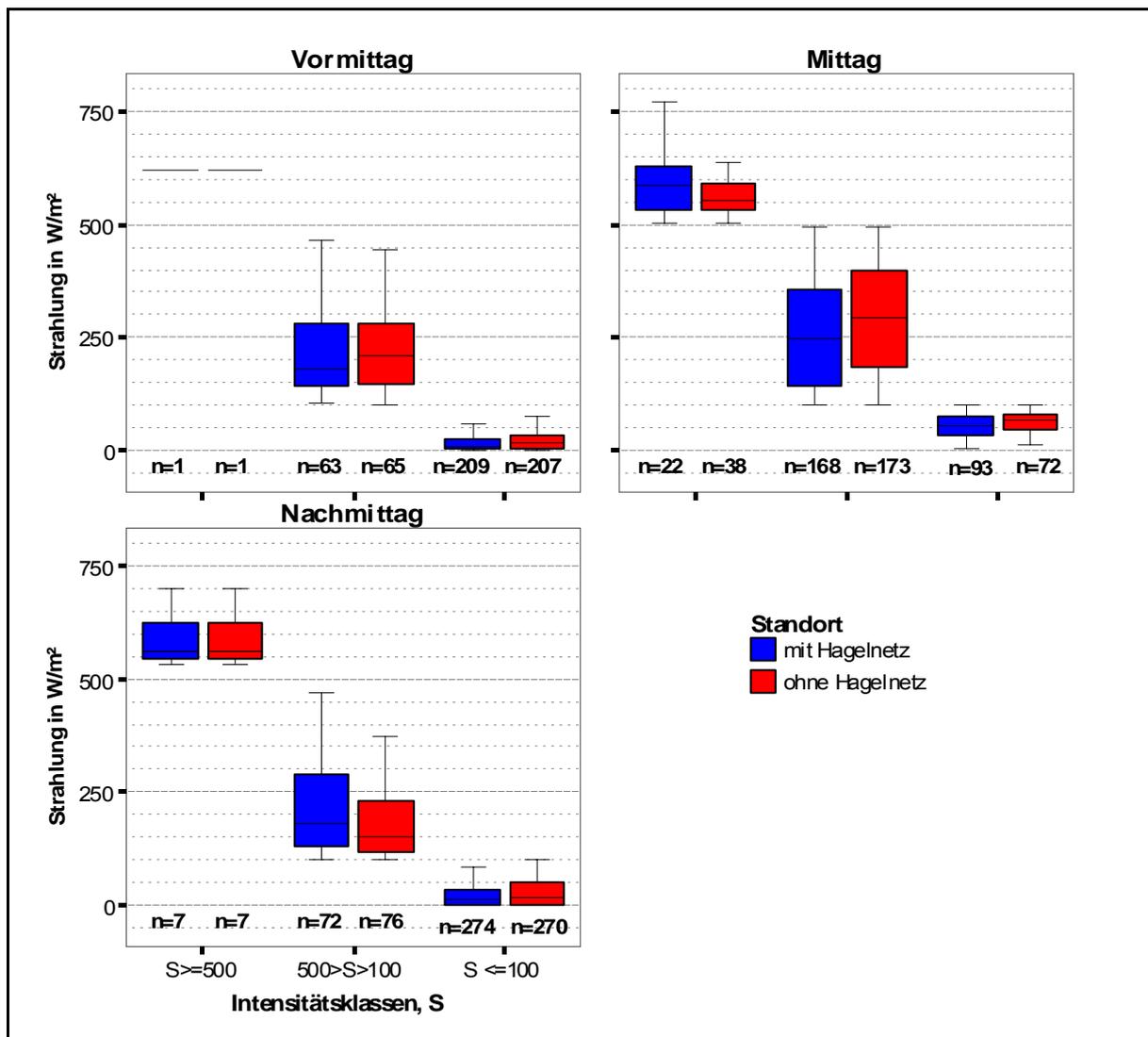


Abbildung 61: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente (bestehend aus Globalstrahlung, Strahlung im Bestand und am Boden) an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst (n = Stundenanzahl, S ≥ 500: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², 500 > S > 100: kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², S ≤ 500: kleiner als 500 W/m²).

Tabelle 31: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Strahlungshauptkomponente nach Stundenanzahl (n), definiert zwischen Vormittag, Mittag, Nachmittag an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst. Negative Werte weisen auf niedrigere Werte am Kontrollstandort auf. (n = Stundenanzahl, $S \geq 500$: Strahlungsintensität größer als 500 W/m², $500 > S > 100$: Strahlungsintensität kleiner als 500 W/m² und größer als 100 W/m², $S \leq 100$: Strahlungsintensität kleiner als 100 W/m²).

HERBST	Intensitätsklassen, S [W/m ²]	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	Gesamt	Differenz	
		Gültige n	Gültige n	Gültige n	relativ (%)	absolut
Vormittag	$S \geq 500$	1	1	2	0	0
	$500 > S > 100$	63	65	128	3	2
	$S \leq 100$	209	207	416	-1	-2
Mittag	$S \geq 500$	22	38	60	73	16
	$500 > S > 100$	168	173	341	3	5
	$S \leq 100$	93	72	165	-23	-21
Nachmittag	$S \geq 500$	7	7	14	0	0
	$500 > S > 100$	72	76	148	6	4
	$S \leq 100$	274	270	544	-1	-4
Tagessumme	$S \geq 500$	30	46	76	53	16
	$500 > S > 100$	303	314	617	4	11
	$S \leq 100$	576	549	1125	-5	-27

Abbildung 61 gibt die Verteilung der Strahlungshauptkomponente nach Intensitätsklassen wider. Die Stundenanzahl der Hauptkomponente am Vormittag, Mittag und Nachmittag wird zusätzlich in Tabelle 31 zahlenmäßig ausgedrückt.

Am Vormittag lag im Sättigungsbereich nur 1 Stunde an den beiden Standorten. In den zwei anderen Intensitätsklassen waren zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz keine signifikanten Unterschiede zu sehen.

Zu Mittag wurden im Sättigungsbereich 38 Stunden am Kontrollstandort und um 16 Stunden weniger in der Parzelle mit Hagelnetz festgestellt. Zwischen 100 – 500 W/m² lagen 173 Stunden am Kontrollstandort und 168 Stunden unter dem Hagelnetz. Unter 100 W/m² lagen um 21 Stunden weniger am Kontrollstandort.

Am Nachmittag lag die Hauptkomponente Strahlung 7 Stunden im Sättigungsbereich sowohl am Kontrollstandort, als auch unter dem Hagelnetz.

Allerdings konnte anhand der Untersuchung im Herbst nur zu Mittag eine eindeutig negative Wirkung von Hagelnetzen auf die Hauptkomponente Strahlung festgestellt werden. Am Vor- und Nachmittag lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Standorten vor.

Die Tagessumme im Herbst zeigt nur im Bereich über 500 W/m² deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz. In dem Bereich lagen 16 Stunden (53 %) mehr am Kontrollstandort. Zwischen 100 – 500 W/m² wurden bei der Kontrolle um 11 Stunden (4 %) mehr registriert, unter 100 W/m² in der Kontrollparzelle um 27 Stunden weniger als unter dem Netz.

4.3.3.2 DIE DETAILANALYSE DER INTENSITÄTSKLASSEN DER GLOBALSTRAHLUNG, DER STRAHLUNG IM BESTAND UND DER STRAHLUNG AM BODEN IM HERBST

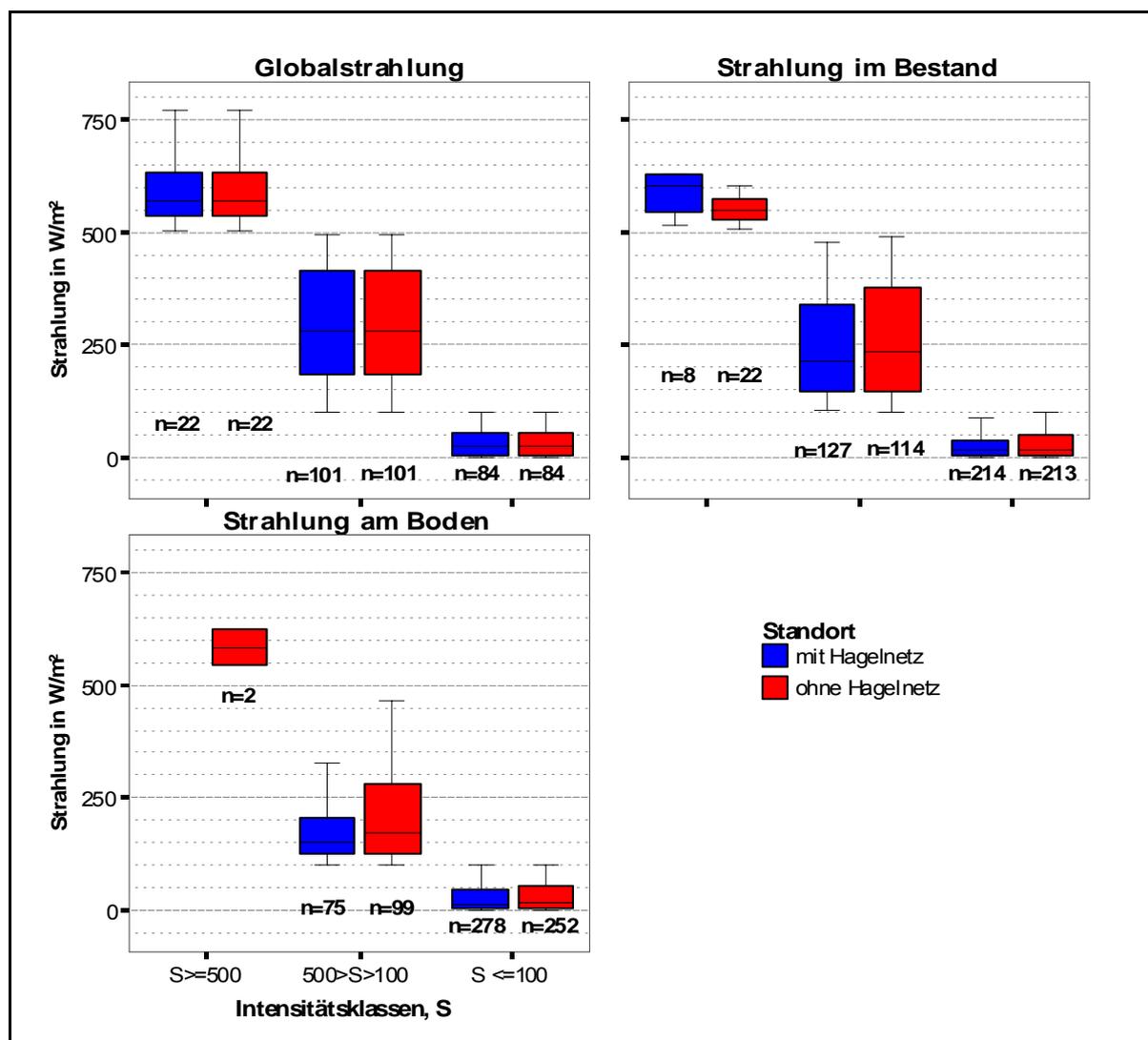


Abbildung 62: Boxplot-Darstellung der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung (3m Höhe), Strahlung im Bestand (1,5 m Höhe) und Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst.

Tabelle 32: Analyse der Intensitätsklassen (S) der Globalstrahlung Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und der Strahlung am Boden an den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Herbst. ($S \geq 500$: größer als 500 W/m^2 , $500 > S > 100$: kleiner als 500 W/m^2 und größer als 100 W/m^2 , $S < 500$: kleiner als 500 W/m^2).

Strahlungstyp	Intensitätsklassen S, [W/m^2]	mit Hagelnetz	ohne Hagelnetz	Gesamt	Differenz	
		Gültige n	Gültige n		Gültige n	relativ (%)
Globalstrahlung	$S \geq 500$	22	22	44	0	0
	$500 > S > 100$	101	101	202	0	0
	$S \leq 100$	84	84	168	0	0
Strahlung am Boden	$S \geq 500$	0	2	2	----	2
	$500 > S > 100$	75	99	174	32	24
	$S \leq 100$	278	252	530	-9	-26
Strahlung im Bestand	$S \geq 500$	8	22	30	175	14
	$500 > S > 100$	127	114	241	-10	-13
	$S \leq 100$	214	213	427	0	-1

In Abbildung 62 und in Tabelle 32 ist zu sehen, dass im Herbst nur wenig Stunden im Sättigungsbereich lagen. Allerdings wurden in dem Bereich bei **Strahlung am Boden** zwei Stunden am Kontrollstandort registriert (im Gegensatz zu Frühjahr und Sommer), was auf die zurückgehende Belaubung in den Herbstmonaten und in weitere folge steigendes Lichtangebot in der bodennahen Schicht im Pflanzenbestand hinweist.

Bei der **Globalstrahlung (gemessen in 3 m Höhe)** lagen 22 Stunden in der Sättigung, zwischen 100 – 500 W/m² 101 und unter 100 W/m² 84 Stunden.

Bei der **Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe** wurden oberhalb der 500 W/m² Grenze 22 Stunden am Kontrollstandort und nur 8 Stunden in der Parzelle mit Hagelnetz registriert. Zwischen 100 – 500 W/m² lagen 114 Stunden bei der Kontrolle und 127 Stunden am Standort mit Hagelnetz. Unter 100 W/m² lag 1 Stunde mehr in der Kontrollparzelle.

Da am Kontrollstandort viel mehr Stunden im Sättigungsbereich lagen, als in der Parzelle mit Hagelnetz, ist eine negative Wirkung der Hagelnetzbedeckung leicht nachvollziehbar.

4.4 SCHWÄCHUNG DER STRAHLUNG DURCH DAS SCHWARZE HAGELNETZ IN ABHÄNGIGKEIT VOM EINFALLSWINKEL DER SONNE

4.4.1 MESSUNGEN IM FREILAND

Als Ergänzung wurden an einem wolkenlosen, strahlungsreichen Tag im September 2007 zu Mittag Strahlungsmessungen an der Universität Wien durchgeführt. Zur Messung wurde ein Spektralphotometer verwendet, der mit Photodioden ausgestattet war. Über dem Spektralphotometer wurde auf ca. 1,5 m Höhe ein schwarzes Hagelnetz aufgespannt, wobei es in unterschiedlichem Winkel, senkrecht (90°) und schräg (45°) zur Sonne gerichtet wurde.

Das Ziel der Untersuchung war, zu zeigen, welchen Einfluss der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung auf die Tageslänge unter einer Hagelnetzabdeckung hat und welcher prozentuelle Anteil der Globalstrahlung durch das Hagelnetz absorbiert wird.

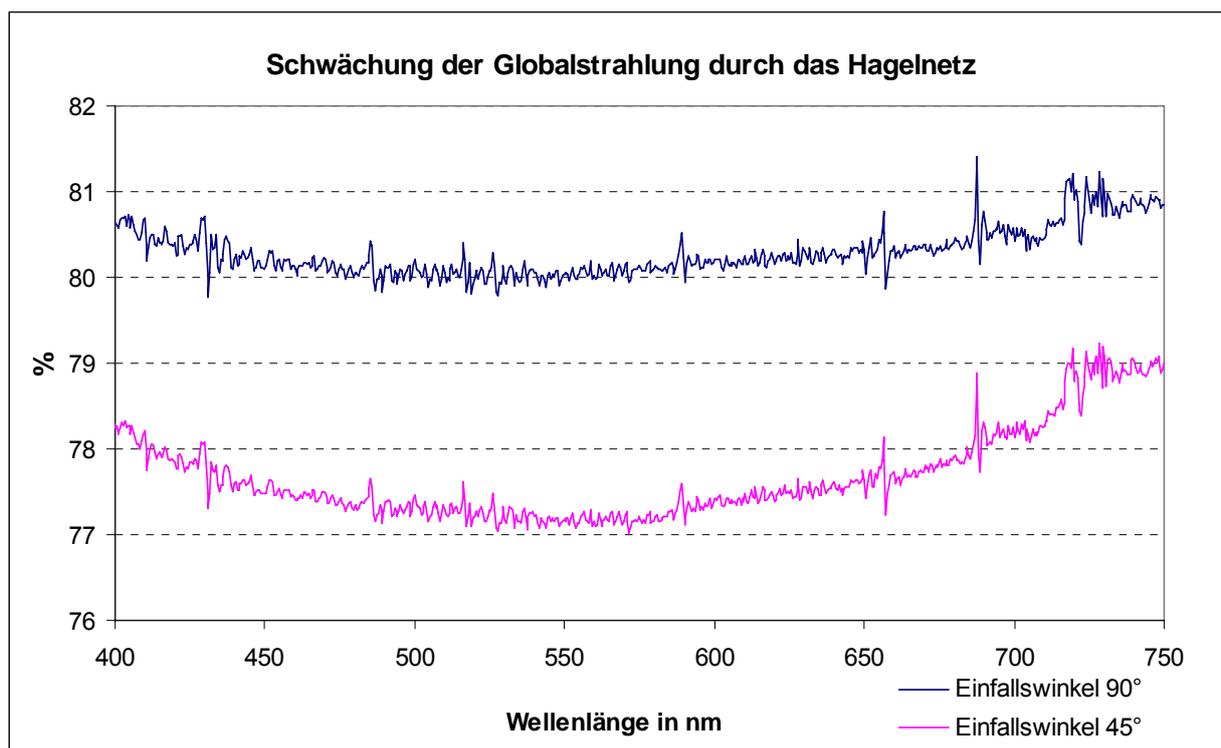


Abbildung 63: Schwächung der Globalstrahlung (%) im PhAR-Bereich durch das Hagelnetz mit verschieden Einfallswinkel der Sonnenstrahlung bei wolkenlosem Himmel im Freiland.

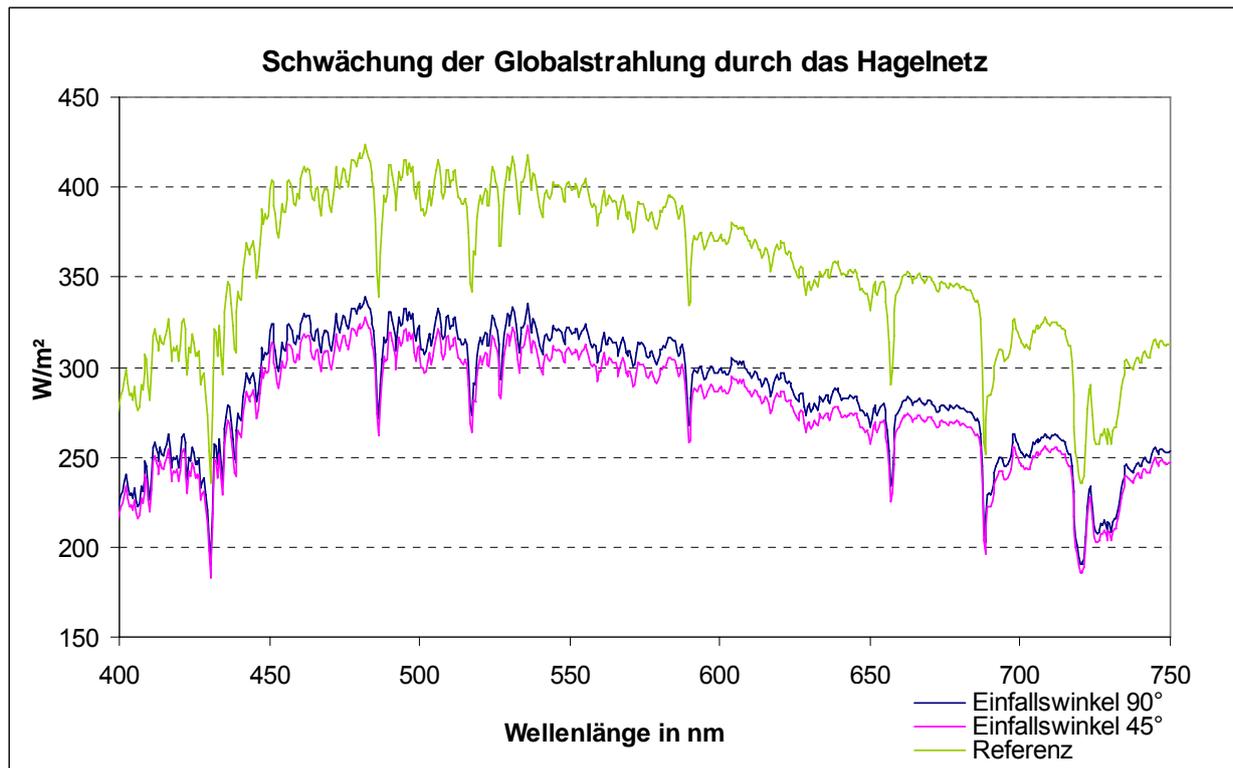


Abbildung 64: Schwächung der Globalstrahlung (W/m^2) im PhAR-Bereich durch das Hagelnetz mit verschiedenen Einfallswinkel der Sonnenstrahlen im Freiland.

Die Messung im Freiland zeigt eine Abhängigkeit der Hagelnetzbeschtung vom Neigungswinkel der Sonnenstrahlung im PhAR-Bereich, die sowohl in % (Abb. 63) als auch in W/m^2 (Abb. 64) dargestellt wurde. Die Abschwächung durch das Hagelnetz beträgt ca. 20 % bei einem senkrechten Einfallswinkel (90°) und ca. 23 % bei einem schrägen Einfallswinkel von 45° .

Aufgrund der Abbildung 64 kann man zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz keine deutliche spektrale Aufgliederung zu unterscheiden. Die Abstände zwischen den beiden Standorten sind innerhalb des sichtbaren Bereiches gleichmäßig verteilt. Die Sonnenstrahlung steigt maximal bis ca. $400 W/m^2$, wenn sie nicht durch das Hagelnetz gebremst wird. Die senkrecht einfallende Strahlung (90°) wird durch das Hagelnetz bis auf ca. $340 W/m^2$ reduziert, bei einem 45° -Winkel etwas mehr.

4.4.2 MESSUNGEN MIT EINER KÜNSTLICHEN STRAHLUNGSQUELLE IM LABOR

Die ähnliche Messung wie im Freiland wurde im Labor ebenfalls durchgeführt. Die Sonnenstrahlung wurde hier mit einer speziellen Xenonlampe, die in einen Spektralphotometer eingebaut wurde, ersetzt. Diese besitzt ein gleichmäßiges Spektrum (gleichmäßige Lichtintensität), was für die Messung von großer Bedeutung ist. Um den Einfluss von Diffuslicht zu vermeiden, wurde die Messung im Dunkel durchgeführt. Zunächst wurde der Spektralphotometer geeicht. Für diesen Zweck wurde die Belichtungszeit auf 0,02 sek. eingestellt und die Einstrahlungsstärke mit 100 % festgelegt. Folgend wurde in einer Entfernung von ca. 1,5 m von der Lichtquelle ein schwarzes Hagelnetz aufgespannt, wobei es in unterschiedlichem Winkel, senkrecht (90°) und schräg (45°) zur Lichtquelle gerichtet wurde.

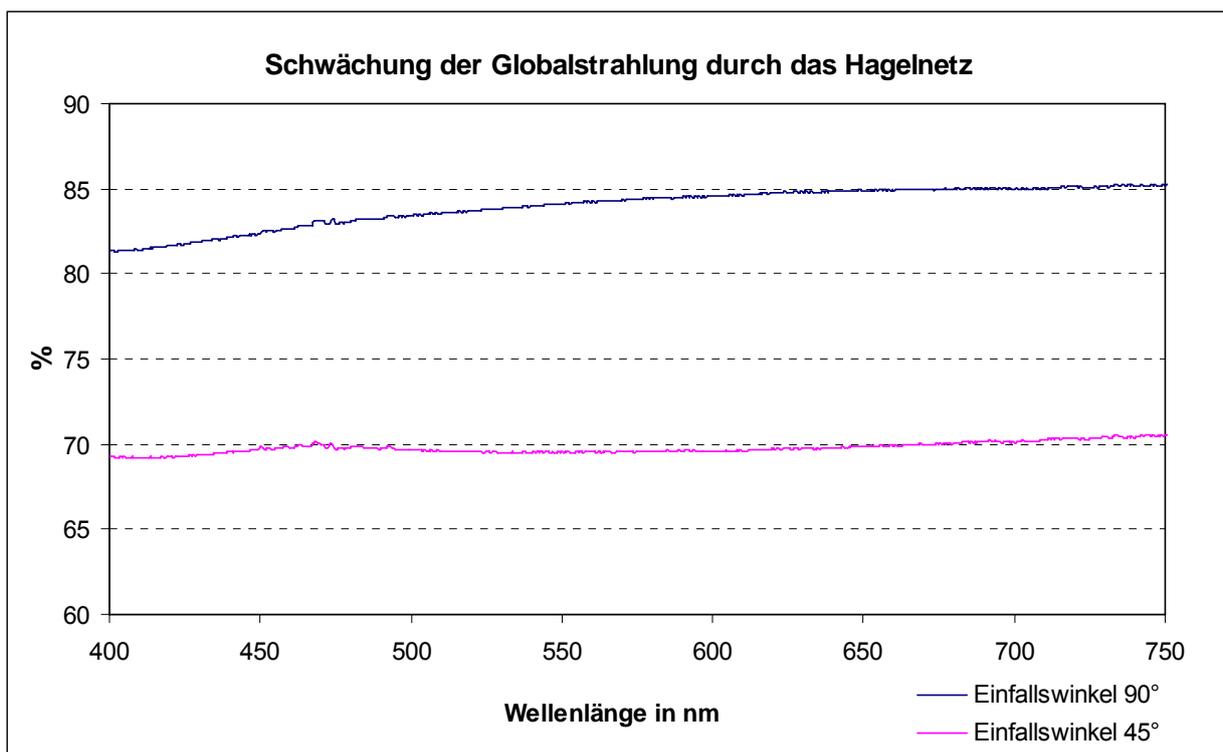


Abbildung 65: Schwächung der Strahlung (%) im PhAR-Bereich durch das Hagelnetz mit verschieden Einfallswinkel der Strahlung (Xenonlampe) im Labor.

Die Messungen im Labor (Abb. 65) zeigten ähnliche Ergebnisse wie im Freiland. Die Abschwächung der Strahlung ist bei einem schrägen Winkel (45°) höher als bei einem senkrechten Winkel (90°), der Unterschied zwischen den beiden ist jedoch im Labor deutlich größer als im Freiland. Bei senkrecht einfallender Strahlung beträgt die Abschwächung durch

das Hagelnetz ca. 18 %, während sie bei einem schrägen Winkel ca. 30 %, also fast die doppelte Menge ausmacht.

Die Unterschiede zwischen Labor- und Freilandmessung ergeben sich dadurch, dass die Messung im Labor im Dunkeln, unter Ausschluss vom Umgebungslicht (diffuses Licht) durchgeführt wurde, während im Freiland die natürliche Strahlungsverhältnisse (direkte und diffuse Strahlung) gegeben war. In den beiden Fällen zeigt sich jedoch, dass die Hagelnetzbeschattung von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlung abhängig ist. Da die Hagelnetze nicht auf eine Ebene, sondern mit einem leichten Winkel (giebeldachförmig) über die Apfelplantage aufgespannt sind, ist zu beachten, zu welchen Tageszeiten die Sonne einen senkrechten bzw. einen schrägen Winkel mit dem Hagelnetz bildet, wie dies in der schematischen Darstellung in Abb. 66 wiedergegeben ist.

Die Sonnenstrahlen bilden mit dem Hagelnetz am Morgen, zu Mittag und am Abend einen schrägen Winkel. Das bedeutet, dass zu diesen drei Tageszeiten die Sonnenstrahlung am meisten geschwächt wird (23 - 30 %). Mit dem abfallenden Neigungswinkel steigt die Hagelnetzbeschattung an (siehe Abb. 64 - 65) und verkürzt auf diese Weise die Tageslänge in der Apfelanlage. Am Vor- und Nachmittag fallen die Sonnenstrahlen auf das Hagelnetz mit einem senkrechten Neigungswinkel, was einen Beschattungsgrad von ca. 18 bis 20 % ergibt.

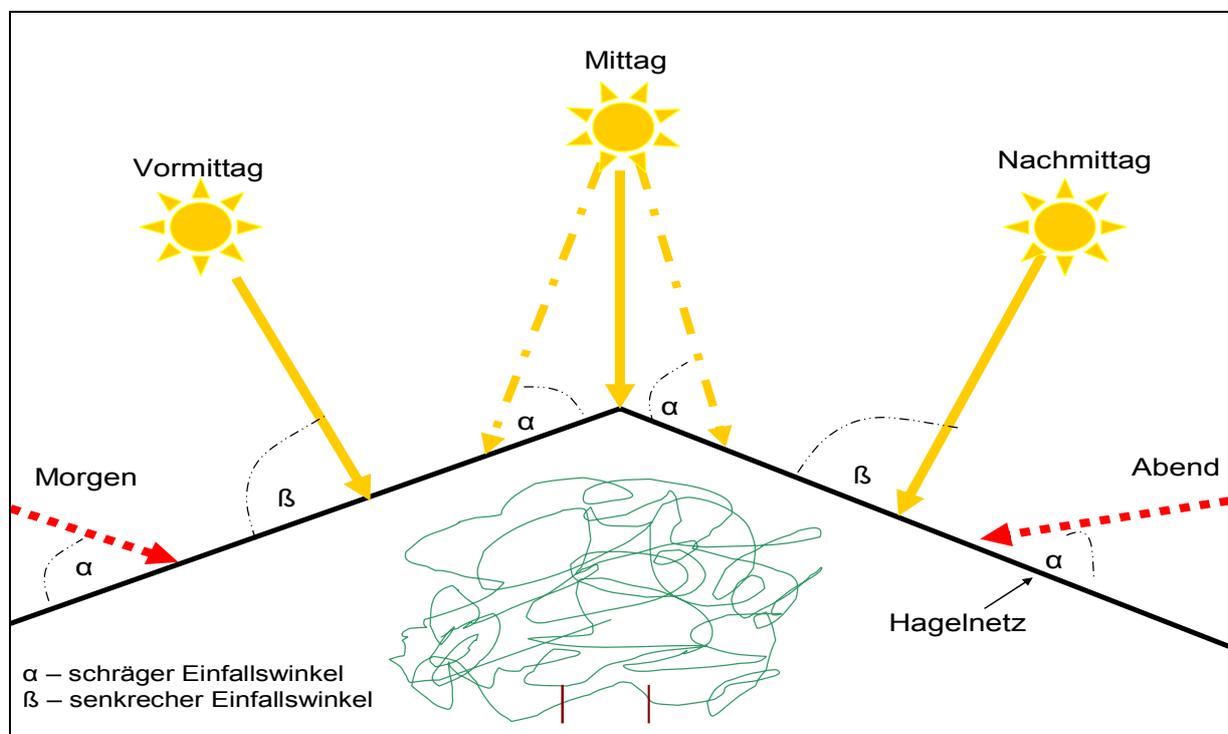


Abbildung 66: Schematische Darstellung des Einfallswinkels der Sonne auf das Hagelnetz zu verschiedenen Tageszeiten.

4.5 KURZDARSTELLUNG DER BESTANDESSTRAHLUNG IN APFELZEILE MIT UND OHNE HAGELNETZ

Als Zusammenfassung der vorliegenden Strahlungsergebnisse wurde eine Tabelle erstellt, die den Prozent der Abschwächung der Globalstrahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und in den bodennahen Schichten im Frühling, Sommer und Herbst zeigt. Es wird einerseits der Grad der Abschwächung durch die Belaubung, andererseits der Einfluss der Hagelnetze dargestellt (Tabelle 33).

Tabelle 33: Verteilung der Strahlung im Bestand gemessen in 3 m Höhe (Globalstrahlung), 1,5 m Höhe und Strahlung am Boden und Prozent der durchkommenden Strahlen zu verschiedenen Jahreszeiten (G = Globalstrahlung, Sbe = Strahlung im Bestand, Sbo = Strahlung am Boden).

	Strahlung [W/m ²]					
	Frühling		Sommer		Herbst	
	W/m ²	%	W/m ²	%	W/m ²	%
Globalstrahlung	368	100	352	100	218	100
Sbe ohne Netz	293	80	240	68	137	63
Sbe mit Netz	230	63	181	51	119	55
Sbo ohne Netz	124	34	83	24	83	38
Sbo mit Netz	99	27	63	18	57	26

Im Frühling werden in 1,5 m Höhe am Standort ohne Hagelnetz 80 % der Globalstrahlung durchgelassen, unter dem Hagelnetz 63 %. Zum Boden kommen 34 % durch, mit zusätzlicher Hagelnetzbeschattung nur mehr 27 % der Globalstrahlung.

Im Sommer werden in 1,5 m Höhe am Standort ohne Hagelnetz deutlich weniger als im Frühling, d.h. ca. 68 % der Globalstrahlung durchgelassen, unter dem Hagelnetz 51 %. Zum Boden gelangen nur mehr 24 % am Standort ohne Hagelnetz, mit zusätzlicher Hagelnetzbeschattung bleiben nur 18 %, die durchgelassen werden.

Im Herbst kommen in 1,5 m Höhe 63 % der Globalstrahlung in der Kontrollparzelle durch, durch das Hagelnetz werden zusätzlich 8 % absorbiert. Weiters werden in der bodennahen Schicht durch die Belaubung 62 % zurückgehalten, weitere 12 % der Strahlung werden durch das Hagelnetz absorbiert.

4.6 SUMMENWERTE DER STRAHLUNG

Im folgenden Kapitel wurden die Summenwerte der Strahlung im Frühling, Sommer und Herbst in den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz miteinander verglichen. In Tabelle 34 ist zu sehen, dass die Globalstrahlungssummen im Frühling und im Sommer sehr ähnlich sind, im Herbst aber deutlich niedriger.

Die Albedosummen liegen im Frühling bei ca. 25.241 W/m² und im Sommer bei ca. 22.661 W/m² unter dem Hagelnetz und sind somit im Mittel um 6.066 W/m² niedriger als am Kontrollstandort.

Je nach betrachteter Jahreszeit liegen die Summenwerte der Strahlung im Bestand unter dem Hagelnetz im Bereich von ca. 41.875 W/m² bis ca. 127.820 W/m² und sind somit um ca. 12.828 – 41.071 W/m² niedriger als am Kontrollstandort.

Tabelle 34: Strahlungssummen im Frühling, Sommer und Herbst sowie die, der gesamten Vegetationsperiode im Jahr 2002 an den Standorten mit und ohne Hagelnetz.

Strahlungssummen [W/m ²]				
		ohne Hagelnetz	mit Hagelnetz	Differenz
Frühling	Globalstrahlung	173.712	173.712	0
	Albedo	32.240	25.241	6.999
	Strahlung im Bestand in 1,5 m	111.498	98.670	12.828
	Strahlung am Boden	58.635	46.825	11.809
	kurzwellige Bilanz	36.841	28.766	8.075
	Gesamtbilanz	91.215	53.907	37.308
Sommer	Globalstrahlung	175.835	175.835	0
	Albedo	27.796	22.661	5.134
	Strahlung im Bestand in 1,5 m	168.891	127.820	41.071
	Strahlung am Boden	58.815	44.742	14.073
	kurzwellige Bilanz	69.624	48.741	20.884
	Gesamtbilanz	82.865	57.661	25.204
Herbst	Globalstrahlung	49.334	49.334	0
	Albedo	-	-	-
	Strahlung im Bestand in 1,5 m	48.300	41.875	6.425
	Strahlung am Boden	29.574	20.201	9.373
	kurzwellige Bilanz	-	-	-
	Gesamtbilanz	9.127	8.169	957
Jahressumme	Globalstrahlung	398.881	398.881	0
	Albedo	60.035	47.902	12.133
	Strahlung im Bestand in 1,5 m	328.689	268.365	60.324
	Strahlung am Boden	147.024	111.768	35.255
	kurzwellige Bilanz	106.465	77.507	28.958
	Gesamtbilanz	183.207	119.737	63.470

5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die vorliegende Arbeit soll den Einfluss von Hagelnetzen auf das Mikroklima im Pflanzenbestand zeigen. Von allen mikroklimatischen Parametern unterliegt die solare Strahlung am stärksten der Wirkung der schwarzen Hagelschutznetze, während Temperatur und Luftfeuchte nur geringfügig beeinflusst werden.

Die Hauptkomponente Strahlung, die sich aus der Zusammenfassung von Globalstrahlung, Albedo, Strahlung im Bestand, Strahlung am Boden und der kurzweilige Strahlungsbilanz ergibt, weist im Frühling (08.05 – 20.06) die Höchstwerte (im Mittel 176,15 W/m² unter dem Hagelnetz und 213,18 W/m² am Kontrollstandort) und im Herbst (23.09 – 30.10) die Tiefstwerte (im Mittel 100,37 W/m² unter dem Hagelnetz und 116,04 W/m² am Kontrollstandort) auf. Prozentuell beträgt die Hagelnetzbeschattung im Mittel 21,11 % im Frühjahr, 20,32 % im Sommer und 12,05 % im Herbst (Tab. 5, Abb. 8). Dies zeigt die Abhängigkeit der Hagelnetzbeschattung von der Einstrahlungsstärke bzw. von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlung. Dies bestätigen auch die Berechnungen der Strahlungsintensität zu verschiedener Tageszeit. Im Jahresdurchschnitt liegt die Hauptkomponente Strahlung am Vor- und Nachmittag zwischen 115,67 - 131,03 W/m², zu Mittag bei ca. 240 W/m². Ähnlich wie im Vergleich der Jahreszeiten, zeigt sich auch hier, dass die Hagelnetzbeschattung bei hohen Strahlungsintensitäten deutlich höher ist als bei niedrigen Strahlungsintensitäten. Dementsprechend ist sie zu Mittag mit 23,19 % viel stärker als am Vor- und Nachmittag, wo sie nur mehr bis zu 9 % erreicht (Tab. 5, Abb. 11).

Aus der Analyse der **Strahlung im Bestand in 1,5 m Höhe und am Boden** ist nicht nur die Abschwächung der Strahlung durch das Hagelnetz zu sehen, sondern auch der Einfluss der Belaubungsdichte in einem Pflanzenbestand. Es zeigt sich folgendes: je näher zur Bodenoberfläche, desto stärker ist der Einfluss der Belaubung, desto weniger Strahlung kommt bis zu Boden. Im Frühling war die Belaubung noch nicht stark ausgeprägt, deswegen war der prozentuelle Unterschied zwischen der Globalstrahlung und der Strahlung in 1,5 m Höhe im Bestand viel niedriger (20 %) als im Sommer (32 %) und im Herbst (37 %). Zusätzlich wurden noch von der Strahlung in 1,5 m Höhe 17 % im Frühling, ebenso viel im Sommer und nur 8 % im Herbst durch die Hagelnetzabdeckung zurückgehalten (Tab. 33).

Am Boden wurde die Strahlung aufgrund von der Belaubung (Parzelle ohne Hagelnetz) auf 34 % im Frühling, 24 % im Sommer und 38 % im Herbst reduziert. Durch zusätzliche Hagelnetzabdeckung wurden weitere 7 % im Frühling, 6 % im Sommer und 12 % der Globalstrahlung im Herbst zurückgehalten. Die stark reduzierte Strahlungsintensität am Boden erreichte im Jahresdurchschnitt auf der Versuchsfläche ohne Hagelnetz im Maximum nur ein Drittel des Wertes der Globalstrahlung, unter dem Hagelnetz nur ca. ein Viertel (Tab. 33).

Aufgrund dieser Ergebnisse kann festgehalten werden, dass die Strahlungsunterschiede im Pflanzenbestand zwischen den Versuchspartellen mit und ohne Hagelnetz sehr hoch sind, was vor allem auf die Standortsituation und weniger auf die Wirkung des Hagelnetzes zurückzuführen ist.

TRENTI (1996) beschreibt die Zusammenhänge zwischen Strahlungsverteilung im Bestand und dem Bestandesaufbau. Je nach Erziehungsform (Superspindel, schlanke Spindel und Schnurrbaum) konnte sie deutliche Unterscheide finden. Die Beschattung betrug im unteren Baumkronenbereich von 70 % bis sogar 100 %. Die Versuche von ZOTH & WÜNSCHE (1995) zeigen einerseits, dass die Lichtintensität im Bestand vom Kronenvolumen abhängig ist, andererseits von der Hagelnetzfarbe. Die zusätzliche Beschattung durch die Belaubung beträgt in ihrem Versuch 25 % unter einem schwarzen Hagelnetz und 15 % unter einem weißen Hagelnetz. Ihre Ergebnisse bestätigen auch Laboruntersuchungen von WEIDNER (1977), der bei schwarzen Hagelnetzen eine Beschattung von ca. 30 %, bei weißen eine von ca. 16 % feststellen konnte. WIDMER (1997) beschreibt zusätzlich die Lichtverhältnisse unter grauen Hagelnetzen. Der Lichtverlust liegt dabei je nach Tageszeit und Gewebeat zwischen 13 bis 18 %, im Mittel bei 15,4 %. Das ist genau das Mittelmaß zwischen weißer und schwarzer Hagelnetzabdeckung. Die Auswertungen von GARDNER UND FLETCHER (1990) zeigen einen etwas niedrigeren Lichtverlust unter weißen Netzen (von 4 bis 8 %) und einen etwas höheren Lichtverlust unter schwarzen Netzen (von 33 bis 37 %). BLANKE & KUNZ (2007) vergleichen die Lichtverhältnisse der färbigen Netze. Kristallnetze vermindern die senkrecht einfallende Strahlung um 5,7 %, die rot-weiße Hagelnetze um 12,8 %, die grüne um 13,6 % und die rot-schwarze um 16,8 %. Es zeigt sich also, dass die schwarzen Hagelnetze am wenigsten lichtdurchlässig, da aber weiße, bzw. bunte Hagelnetze sehr auffällig sind, beeinträchtigen sie das Landschaftsbild und werden deshalb im Südtirol nur gebietsweise zugelassen (WIDMER 1997).

Die Auswertungen der *Albedo* zeigen im Frühling um 27,6 % (Tab. 11) und im Sommer um 22,68 % (Tab. 18) reduzierte Werte unter der Hagelnetzabdeckung. Im Vergleich der Tageszeiten zeigt sich, dass die Abschwächung durch das Hagelnetz zu Mittag am niedrigsten ist und liegt zwischen 12,84 % (Sommer) und 13,81 % (Frühling). Am Nachmittag ist die Abschwächung am höchsten und liegt zwischen 46,80 % (Sommer) und 48,80 % (Frühling) (vergl. Tab. 11 und 18). Die tageszeitliche Differenzierung der Messwerte an den Standorten mit und ohne Hagelnetz ist darauf zurückzuführen, dass sie einerseits vom Einfallswinkel der Sonne abhängig sind. Andererseits ist es unter dem Hagelnetz feuchter, was auch die Albedowerte herabzusetzen vermag. Denn „feuchtere Oberflächen haben eine geringere Albedo als trockene“ (LAUER 1999). Weiters sind die Albedowerte von der Bewölkung und von der atmosphärischen Trübung abhängig.

Die Auswertungen der *kurzwelligigen Strahlungsbilanz* zeigen sowohl zwischen den Jahreszeiten als auch zwischen den Tageszeiten reduzierte Werte unter dem Hagelnetz. Die Abschwächung durch das Hagelnetz liegt im Frühling bei ca. 30 % (Tab. 11) und im Sommer bei ca. 43 % (Tab. 18). Zu beiden Jahreszeiten sind die Werte am Standort mit Hagelnetz am Vormittag und zu Mittag niedriger, am Nachmittag jedoch höher als am Kontrollstandort. Im Tagesverlauf (Abb. 24, 39) sind in den Nachmittagsstunden Einbrüche in glockenförmigen Verlauf zu sehen. Die Abweichungen sind durch die Licht-Schatten-Effekte des Bestandes gegeben.

Bei der Analyse der *Gesamt-Strahlungsbilanz* ergibt sich im Frühling ein sehr hoher Unterschied zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz. Die Werte unter dem Hagelnetz liegen um 67 % niedriger gegenüber der Kontrolle (Tab. 11). Auch im Tagesverlauf ist zu sehen, dass die Werte unter dem Hagelnetz während der Frühlingsperiode viel niedriger waren, als die ohne Hagelnetzabdeckung (Abb. 24). Im Sommer beträgt die Abschwächung durch die Hagelnetze ca. 30 % im Tagesmittel, die Standortdifferenzen variieren aber zwischen den Tageszeiten, Vormittag, Mittag und Nachmittag sehr stark. Beispielsweise ist die Gesamtbilanz am Vormittag um ca. 22 % höher unter dem Hagelnetz, zu Mittag aber um diesen Betrag niedriger. Der Verlauf der Kurven ist zwischen den beiden Parzellen sehr uneinheitlich, daher ist ein direkter Vergleich hier nicht ganz sinnvoll. Dabei zeigt sich, dass durch das Sonnen-Schatten-Spiel im Bestand die Bilanzkurven recht unterschiedlich ausfallen können. Derartige Gesamt-Strahlungsbilanzmessungen können daher nur als sinnvoll angesehen werden, wenn die Messfühler nicht im Bestand, sondern

über dem Bestand angebracht werden. Bei einer Gesamtbilanzmessung kommen noch viele andere Faktoren in Frage, die die Strahlungsbilanz beeinflussen. Abweichungen ergeben sich außer der unterschiedlichen Bewölkung und der verschiedenen Albedo aus der Strahlungsschwächung mit der geografischen Breite, jahreszeitliche- und tageszeitliche Abweichungen der Strahlungsbilanz (LAUER 1999).

Die für den Photosyntheseprozess unentbehrliche Sonneneinstrahlung beeinflusst direkt oder indirekt wichtige ökologische Parameter, wie z.B. die Luft- und Bodentemperatur. Aufgrund des reduzierten Strahlungsgenusses unter dem Hagelnetz werden die Temperaturwerte etwas herabgesetzt (HÄCKEL 1993). „Der Boden stellt eine wichtige Strahlungsreferenzfläche dar, an der die auftreffende Strahlung in Wärme umgewandelt wird. Durch die Solarstrahlung erhält der Boden den größten Anteil an Energie und weist dadurch an seiner Oberfläche einen täglichen und jährlichen Gang der Temperatur auf, der sich zeitversetzt bis in die tieferen Bodenschichten fortbewegt“ (ZMARSLY et al. 2002).

Die **Hauptkomponente Temperatur**, zusammengefasst aus Lufttemperatur (1,5 m Höhe) und Bodentemperaturen (1, 10 und 30 cm Tiefe), war unter den Hagelnetzen im Jahresmittel geringfügig niedriger als in Baumreihen ohne Hagelnetzabdeckung. Innerhalb der drei **Jahreszeiten** betragen die Unterschiede zwischen den Versuchspartellen mit und ohne Hagelnetz im Frühling ca. 0,4 °C bzw. 2,14 %, im Sommer ca. 0,25 °C bzw. 1,19 % und im Herbst nur mehr ca. 0,1 °C bzw. 0,68 %. Bei den **Tageszeiten** fällt auf, dass die Standortdifferenzen am Vormittag mit 0,4 °C bzw. 2,63% am höchsten und am Nachmittag mit 0,17°C bzw. 0,84 % am niedrigsten waren (Tab. 5).

Der Tagesgang der **Lufttemperatur** nähert dem Verlauf der Globalstrahlung, allerdings mit einer Verzögerung (FLEMMING 1991). Die Abendtemperaturen sinken infolge der Abkühlung immer weiter ab. Der Tiefstwert wird nicht um Mitternacht, sondern ungefähr beim Sonnenaufgang (ca. 6 Uhr) erreicht (Abb. 56).

Der Mittelwertevergleich der **Lufttemperatur** in 1,5 m Höhe und der **Temperaturen in 1, 10, 30 cm Bodentiefe** (Abb. 25) zeigt, dass die Temperaturwerte im **Frühling** mit zunehmender Bodentiefe abnehmen, die Differenzen zwischen den Partellen mit und ohne Hagelnetz hingegen minimal zunehmen. Die Lufttemperatur wird um ca. 0,2 °C bzw. 1 %, die

Temperatur in 1 cm Tiefe um ca. 0,3 °C bzw. 1,3 %, die Temperatur in 10 und 30 cm Bodentiefe um ca. 0,5 °C bzw. 3 % durch das Hagelnetz gesenkt.

RÜEGG (1997) ist im Bezug auf Belaubung zu einem interessanten Schluss gekommen: auf 0,5 m Höhe über dem Boden war die Lufttemperatur bei beginnender Belaubung der Bäume im Frühling unter dem Hagelnetz um 0,2 °C bis 0,4 °C, höher, bei voller Belaubung jedoch um diesen Betrag niedriger.

Bei der Temperatur in 1 cm Tiefe fallen die Differenzen zwischen den Parzellen mit und ohne Hagelnetz innerhalb der einzelnen Tageszeiten sehr unterschiedlich aus. Während in der Nacht die Temperaturen zwischen den beiden Standorten keine signifikanten Unterschiede aufweisen, ergibt sich schon am Vormittag und zu Mittag unter dem Hagelnetz um ca. 0,7 °C bzw. 3,3 %, am Nachmittag um 0,2°C bzw. 1,1 % niedrigere Temperatur. (Tab. 12).

Auffallend ist die langsame Temperatursenkung im Boden im Vergleich zur Lufttemperatur, was auf das Wärmespeichervermögen des Bodens zurückzuführen ist. Das ergibt sich aus der mit zunehmender Tiefe immer langsamer werdende Wärmeleitung. Zudem ergibt dies stabilere Temperaturen mit zunehmender Tiefe (FOKEN 2003). Im Frühjahr ist der Boden nach dem Winter ausgekühlt. Die im Boden vorherrschende Wärmeleitung braucht viel länger, um die Wärme in die tieferen Bodenschichten zu transportieren, während in der Atmosphäre vorwiegend turbulenter Massenaustausch auftritt, der viel schneller abläuft und dadurch zu hohen Temperaturamplituden führen kann. Die Hagelnetzabdeckung verlangsamt desto mehr diese Prozesse im Boden und führt zu sichtbaren Differenzen zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetzabdeckung. Zu einem Anstieg der Bodenoberflächentemperatur kann ebenfalls eine Taubildung führen (LAUER 1999).

Im **Sommer** sind Bodentemperaturen höher und zugleich stabiler als die Lufttemperatur. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich witterungsbedingte Schwankungen der Lufttemperatur in den oberflächennahen Bodenhorizonten stärker auswirken als in größerer Tiefe. Bewindung und Bestrahlung sind demnach für die Luft- und Bodenoberflächentemperaturen in einem Pflanzenbestand maßgebend (GEIGER 1961).

Die Differenzen zwischen den Parzellen mit und ohne Hagelnetz waren auch im Sommer nur ganz gering. Die Lufttemperatur war unter dem Hagelnetz um 0,41°C bzw. 2,03 %, Bodentemperatur in 10 cm Tiefe um 0,36°C bzw. 0,56 % niedriger gegenüber der Kontrolle ohne Netz (Tab. 19). Auch RÜEGG (1997) hat in seinen Feldmessungen geringfügig tiefere Temperaturwerte in Baumreihen mit Hagelnetzabdeckung festgestellt. Die Lufttemperatur in

2,5 m über Boden war sowohl im Frühling als auch im Sommer um 0,3 °C bis 0,4 °C niedriger unter dem Netz.

Die Bodentemperatur in 1 cm Tiefe im Sommer zeigt im Tagesmittel keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Parzellen. Sie ist unter dem Hagelnetz geringfügig um 0,11°C bzw. 0,56 % tiefer. Unterschiede tauchen jedoch bei der Differenzierung zwischen den einzelnen Tagezeiten auf (Tab. 19). Die höchsten Differenzen zwischen der abgedeckten und hagelnetzfreien Fläche wurden am Vormittag registriert. Die Temperatur zu dieser Tageszeit war unter dem Hagelnetz um 0,74°C bzw. 3,91 % niedriger als am Kontrollstandort. Am Nachmittag war die Bodentemperatur in 1 cm Tiefe unter dem Hagelnetz sogar um 0,37°C bzw. 1,5 % und in der Nacht um 0,25°C bzw. 1,3 % höher als bei der Kontrolle (Tab. 19). Das ist dadurch zu erklären, dass die ausgestrahlte Bodenwärme durch das Hagelnetz gebremst wird.

Im *Herbst* steigt die Temperatur mit zunehmender Bodentiefe an. Bei der Lufttemperatur beträgt der Unterschied zwischen den Standorten mit und ohne Hagelnetz im Tagesmittel ca. 0,2 °C, bzw. 1,8 %, in der bodennahen Schicht steigt bis zu 0,3 °C, bzw. 2,67 % und bleibt in 10 cm Bodentiefe unverändert (Abb. 51, Tab. 26).

Die Standortdifferenzen zeigen bei der Lufttemperatur mit 2,89 % und bei der Bodentemperatur in 1 cm Tiefe mit 4,23 % in der Nacht ihre Höchstwerte, die bei der Temperatur in 10 cm Tiefe mit einer Verzögerung zu Mittag mit 3,49 % auftreten (Tab. 26).

Die *relative Luftfeuchte* weist eine Differenz zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz von 4 % im Frühling und im Sommer und 3 % im Herbst (Tab. 23). Die Untersuchungen in der Zentralschweiz weisen nur ganz geringe Unterschiede (je nach betrachteter Periode von ca. 0 % bis 8,9 %) auf, die laut RÜEGG (1997) bedeutungslos sein dürften. Während Rüegg in seinen Felduntersuchungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tageszeiten feststellte, tauchen im vorgelegten Versuch für die Herbstperiode folgende Unterschiede auf: Die Standortdifferenzen stiegen vom Vormittag (2 %) bis zu Mittag (3 %) und dann weiter bis zum Nachmittag (3 %) kontinuierlich um 1 % auf. Im Frühling und im Sommer war die Luftfeuchte unter dem Hagelnetzabdeckung am Vormittag, Mittag und Nachmittag immer um 4 % höher als bei der Kontrolle (Tab. 23). Die höhere Luftfeuchte unter der Hagelnetzabdeckung kann auch auf Windbremsung durch das Hagelnetz zurückzuführen sein.

Daraus ist abzuleiten: Aus dem geringeren Strahlungsgenuss unter der Hagelnetzabdeckung resultieren niedrigere mittlere Temperaturen und gleichzeitig erhöhte mittlere Feuchtwerte, was wiederum zu längerer Blattbenetzungsdauer und weiters zur eine Infektion der Apfelbäume führen kann. Die Pflanzeninhaltsstoffe sind unter den Hagelschutznetzen geringfügig reduziert, bei Äpfeln wurden ca. um 10% reduzierte Zucker- und um ca. 8% reduzierte Säurewerte festgestellt (EIMERN & HÄCKEL 1984). Durch die erhöhten Feuchtwerte kommt es zur verbesserten Wärmeleitfähigkeit im Boden, die einerseits zu einem geringeren Aufheizen des Oberbodens führt, andererseits jedoch zu einem wesentlich schnelleren Wärmetransport in tiefere Bodenschichten (HUPFER 2006).

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war es festzustellen, welchen *Einfluss der Einfallswinkel der Sonne auf die Tageslänge* in einer Apfelanlage unter einer Hagelnetzabdeckung hat. Da die absorbierte Strahlungsmenge hauptsächlich davon abhängt, in welchem Neigungswinkel die Sonnenstrahlen auf die Empfangsfläche fallen (HÄCKEL 1993), spielen die Tageszeiten in einem Pflanzenbestand eine wesentliche Rolle. Dem Lambertschen Cosinus-Gesetz nach ist „die Bestrahlungsstärke einer Fläche das Produkt aus der Bestrahlungsstärke einer senkrecht zur Strahlungsrichtung stehenden Fläche und dem Cosinus, der das Verhältnis der senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehenden Fläche zur bestrahlten Fläche.“ (ZMARSLY et al. 2002).

Sowohl die im Freiland, als auch die im Labor durchgeführten Messungen zeigen geringere Strahlungswerte bei einem flachen Neigungswinkel. Allerdings ist der Unterschied zwischen einem senkrechten und einem flachen Winkel bei Laboruntersuchungen viel höher (Abbildung 63 – Abbildung 65)

Wie schon im Kapitel 4.4 erwähnt, bilden die einfallenden Sonnenstrahlen morgens und abends einen flachen Neigungswinkel mit dem Hagelnetz, was zur verstärkten Abschwächung der Globalstrahlung (23 – 30 %) zu diesen Tageszeiten führt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Intensität der Strahlung von Nachmittag an bis in die Abendstunden kontinuierlich abnimmt, was mit dem tieferen Sonnenstand und mit dem flacheren Einfallswinkel der Sonne zusammenhängt. Dieses Ereignis wird durch das Vorhandensein von Hagelnetzen noch mehr verstärkt, was schlussendlich zur verkürzten Tageslänge in einem Apfelbestand führt.

Dies bestätigen auch die Messungen von WEIDNER (1977). Er kommt in seinen Laboruntersuchungen mit schwarzen Hagelnetzen zum Schluss, dass mit der Abnahme des

Einfallswinkels auf etwa 45° und tiefer die Strahlungsdurchlässigkeit der schwarzen Hagelnetze abnimmt.

Bei weißen Hagelnetzen konnte WEIDNER (1977) feststellen, dass die Lichtdurchlässigkeit bei schrägem Neigungswinkel (ca. 30°) besser ist als bei senkrechtem Winkel, dadurch wäre die Tageslänge in einer Apfelanlage sogar verlängert. Das ist dadurch zu erklären, dass „die mit einem bestimmten Winkel auftreffenden Strahlen von der hellen Fadenoberfläche zum nächst höheren Faden reflektiert werden, wo eine Reflexion nach unten erfolgen kann. Bei schwarzen Netzen ist eine Erhöhung der Lichtdurchlässigkeit durch Reflexion sehr gering“ (WEIDNER 1977).

Hagelnetze und Assimilationsleistung: Es wurden die Strahlungswerte in drei Klassen unterteilt. Dazu wurde aus der Literatur die mittlere Sättigungsgrenze der Photosynthese von Apfelbäumen (500 W/m^2) erhoben. Die obere Grenze wurde bis Einstrahlungsstärke über der mittleren Lichtsättigung gesetzt. Als Maß für die strahlungsarmen Tage wurde eine untere Grenze bei 100 W/m^2 angenommen.

Im Frühling und im Sommer lagen bei hoher Einstrahlung viele Stunden über der Sättigungsgrenze von 500 W/m^2 (Abb. 57 - 60). So wurden in Frühling bei der **Hauptkomponente Strahlung** oberhalb der Sättigungsgrenze 183 Stunden am Standort mit Hagelnetz und 211 Stunden am Kontrollstandort registriert. In dem Bereich wird die Assimilation der Blätter also nicht beeinträchtigt. Im Bereich zwischen 100 bis 500 W/m^2 lagen nur um 4 Stunden weniger unter dem Hagelnetz. Der Unterschied war also ohne große Bedeutung. Im Bereich unter 100 W/m^2 , wo die Photosyntheseleistung der Lichtintensität proportional ist, wurden am Standort mit Hagelnetz 417 Stunden registriert. Das sind 32 mehr als bei der Kontrolle (Tab. 27, Abb. 57).

An heißen Sommertagen lagen die Strahlungswerte der Hauptkomponente weit über der Sättigungsgrenze. Das bedeutet, dass der Strahlungsverlust durch die Hagelnetze keinen Einfluss auf die Assimilationsleistung der Blätter hatte. Bei geringen Einstrahlungsstärken (Tab. 29, Abb. 57) ist die Photosyntheseintensität der Strahlungsintensität proportional, solange nicht andere Faktoren (siehe oben) begrenzend werden. Dies ist bei höheren Lichtintensitäten zunehmend der Fall.

Im Herbst war die Strahlungsintensität der Hauptkomponente deutlich herabgesetzt. Vormittags lag die Strahlung sowohl unter dem Hagelnetz, als auch ohne Hagelnetzabdeckung im Sättigungsbereich. Die höchsten Unterschiede zwischen den

Standorten wurden Mittag registriert, 73 % bzw. 16 Stunden (Abb. 61) weniger lagen unter dem Hagelnetz im Sättigungsbereich (Tab. 31).

Von der Globalstrahlung, über Strahlung im Bestand bis zum Strahlung am Boden entsteht ein Strahlungsgradient, der durch die zunehmende Beschattung Richtung Bodenoberfläche entsteht. Die Abnahme der Strahlungsintensität bezieht sich in erste Linie auf die Belaubung im Pflanzenbestand, wobei die Hagelnetze in viel geringere Masse an der Strahlungsreduktion beteiligt sind.

Die Ergebnisse stimmen also mit der Aussage überein, dass die schwarzen Hagelnetze bei einer hohen Strahlungsintensität keinen negativen Einfluss auf das Mikroklima haben, da sich die Werte oberhalb der Sättigungsgrenze (500 W/m^2) befinden. Die Blätter benötigen nicht das volle Sonnenlicht für die maximale Assimilationsleistung (EBERT & CASIERRA 2000). Auch WIDMER (1997) konnte in seinen Versuchen zeigen, dass unter mitteleuropäischen Bedingungen bei günstigen Lichtverhältnissen die Assimilationsleistung der Blätter nicht beeinträchtigt wird. TRENTI (1996) kam zu ähnlicher Ergebnisse. THALHEIMER & PAOLI (2005) konnten sogar einen sehr wichtigen, positiven Aspekt der Hagelnetzbeschattung feststellen. Während eines heißen Sommers 2003 bewirkte die Hagelnetzbeschattung eine deutliche Verminderung der Sonnenbrandschäden, im Ausmaß von etwa 10 % der gesamten Erntemenge, bei einer besonders anfälligen Sorte 'Fuji'.

Andererseits wurde die Strahlungsintensität zum einen in der bodennahen Schicht, zum anderen an bewölkten oder nebligen Tagen stark reduziert. In diesen Fällen wirkt sich eine zusätzliche Beschattung durch Hagelnetze auf die Photosynthese negativ aus. Das bedeutet also, durch die Wirkung des Hagelnetzes wird die Strahlungsstärke am Boden deutlich herabgesetzt, die Benetzung ist hier aber nicht für Unterschreiten der Sättigungsgrenze verantwortlich (EBERT & CASIERRA 2000). WIDMER (1997) zeigt in seinen Untersuchungen, dass die Assimilationsleistung der Blätter an bewölkten Tagen unter einer Hagelnetzabdeckung bis zu 10 % geringer ist. Pflanzen wandeln bei der Photosynthese mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlendioxid und Wasser in Zucker und Sauerstoff um, da aber das Licht unter der Sättigungsgrenze liegt, wird die Zuckerproduktion reduziert. Aus der verminderten Einstrahlung unter dem Hagelnetz resultiert eine verminderte Temperatur und anschließend niedrigere Photosyntheseleistung. Das Ergebnis sind also um ca. 10 % herabgesetzte Zuckerwerte unter dem Hagelnetz und auch geringere Anteil an Früchten und damit verbundene geringere pro Baum Produktion an Äpfeln (THALHEIMER & PAOLI 2005).

6 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurden mikroklimatische Messungen in einer Versuchsfläche des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums Laimburg im Jahr 2002 durchgeführt.

An zwei verschiedenen Standorten in einer Apfelanlage (Sorte Gala Mondial) wurde die Wirkung schwarzer Hagelnetze im Vergleich zu unbedeckten Kontrollparzellen untersucht. Die Messungen umfassten Strahlungsparameter, Luft- und Bodentemperatur und relative Luftfeuchte. Die Auswertung der Daten erfolgte unter folgenden Aspekten:

- jahres- und tageszeitliche Unterschiede zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz
- Einfluss der Hagelnetzabdeckung auf die Tageslänge in einer Apfelanlage
- Einfluss der Hagelnetzabdeckung auf die Assimilationsleistung von Apfelbäumen

Die Ergebnisse zeigen eine starke Reduzierung der Strahlungswerte unter dem Hagelnetz.

Die Analyse der Strahlungsparameter zeigt, dass sich die Hagelnetzabdeckung im Frühling am stärksten und im Herbst am schwächsten auswirkt. Zu Mittag ist die Abschwächung viel höher als am Vor- und Nachmittag. Je nach betrachteter Periode zeigt sich im **Bestand in 1,5 m Höhe** ein Strahlungsverlust von ca. 16 - 33 %, **am Boden** von ca. 26 - 47 %.

Die **Albedo** zeigt je nach Jahreszeit um ca. 23 - 28 % niedrigere Werte unter dem Hagelnetz. Im Vergleich der Tageszeiten variiert die Abschwächung durch das Netz zwischen 13 % und 48 %.

Sowohl bei der **kurzwelligen** als auch bei der **Gesamt-Strahlungsbilanz** wirken sich Sonnen-Schatten-Effekte auf das Messergebnis aus. Die Bilanzkurven an den beiden Standorten verlaufen recht unterschiedlich. Bilanzstrahlungsmessungen können daher nur als sinnvoll angesehen werden, wenn die Messfühler nicht im Bestand, sondern über dem Bestand angebracht werden.

Die Auswertungen der **Luft- und Bodentemperatur** zeigen, dass sie durch das Hagelnetz nur geringfügig beeinflusst werden. Die Lufttemperatur wurde durch das Hagelnetz je nach betrachteter Periode um ca. 0,3 °C bis 0,6 °C gesenkt. Die Temperatur in 1 cm Tiefe wurde im Mittel um 0,3 °C herabgesetzt, sie zeigt aber sowohl innerhalb der Jahreszeiten als auch der Tageszeiten hohe Differenzen zwischen den Versuchsflächen mit und ohne Hagelnetz. Das ist auf die witterungsbedingten Schwankungen in den oberflächennahen Bodenhorizonten zurückzuführen.

Bei der **relativen Luftfeuchte** wurden keine signifikanten Unterschiede, weder innerhalb der Jahreszeiten, noch innerhalb der Tageszeiten festgestellt. Die relative Luftfeuchte war durch die Hagelnetzabdeckung um ca. 3 - 4 % erhöht.

Die Untersuchungen der Hagelnetzbeschattung in Abhängigkeit vom **Einfallswinkel der Sonne** zeigen, dass bei einem schrägen Winkel die Beschattung um ca. 3 - 10 % höher ist, als bei einem senkrechten Einfallswinkel. Da am Vor- und Nachmittag die Strahlung mit dem Hagelnetz einen senkrechten Winkel bildet, ist die Abschwächung daher geringer. Am Morgen, zu Mittag und am Abend hingegen bildet die Strahlung mit dem Hagelnetz einen schrägen Einfallswinkel, was zu einer verstärkten Abschwächung der Strahlung unter dem Hagelnetz führt. In weiterer Folge führt es zu einem verzögerten Sonnenaufgang und einem früheren Sonnenuntergang in der Parzelle mit einer Hagelnetzüberdachung.

Aus der Analyse der **Strahlungs-Intensitätsklassen** kann man folgende Schlüsse ziehen: Während einer einstrahlungsreichen Periode liegen die Strahlungswerte weit über die Sättigungsgrenze (500 W/m²) d.h. auch unter dem Hagelnetz wird die Sättigung erreicht. Somit haben die Hagelnetze keinen negativen Einfluss auf die Assimilationsleistung der Blätter. Während einer einstrahlungsarmen Periode, bzw. in den bodennahen Schichten im Pflanzenbestand wirkt sich eine zusätzliche Beschattung durch Hagelnetze auf die Photosynthese negativ aus.

Aus wirtschaftlicher Sichtweise ist die Anschaffung von Hagelnetzen in Apfelplantagen auf jeden Fall gerechtfertigt, da sich der Strahlungsverlust geringfügiger auf die Produktivität auswirkt als ein Totalausfall der Ernte durch Verzicht von Hagelnetzen.

Abstract

The influence of a black hail protection net of “Golden Delicious” apple trees on the light transmission, air- and soil temperature and relative air humidity was investigated. The measurements were made in experimental plant of „Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrum Laimburg“ (Salurn, Italy) during May till October 2002.

The data of the climatic parameters mentioned above were recorded in ten minutes intervals and collected by data loggers (Delta-T, England). The data were summarized in hourly means and evaluated for differences in the microclimate and net photosynthetic production between protected and non-protected areas.

Depending on the orography and season incident irradiation was diminished by the hail protection net 1,5 meters above ground up to 33%. The maximal loss was observed in the summer months, and lesser in spring and autumn. That effect is explained by the orientation of the net, because the nets are built up tentlike around the trees and the openings are therefore not perpendicularly oriented. In the spring and autumn the angle of the incident radiation is more oblique, therefore a greater amount of radiation is transmitted through the mesh openings. This explanation is supported by the same effect of daytime, there was also a greater attenuation at noon than at in the morning or afternoon hours. The influence of the net orientation on the radiation intensity was also clearly verified in laboratory measurements. Daily and seasonal variations of the albedo were similarly to the incident radiation. Due to the additional effects of foliage the effects were more pronounced on the ground (25 % in the spring before foliation and 45 % in autumn under the leaf canopy).

Effects of the protection nets on air and soil temperature were not statistically significant. The mean values differed only between 0,3 till 0,6 grad Celsius.

The same result was observed in the effects upon relative air humidity, where the covering resulted in a slight elevation of about 3 – 4%.

Photosynthesis was also not diminished in bright days. Reduction of photosynthesis was only observed in periods with low radiation intensities caused by overcast sky.

7 LITERATURVERZEIHNIS

BLANKE M., FUNKE K., 2003: Kann Reflexionsfolie die Lichtverluste durch Hagelnetze kompensieren? Erwerbsobstbau 45(5), 137-144.

BLANKE M., M., KUNZ A., 2007: Struktur und Durchlässigkeit färbiger Hagelnetze. Erwerbsobstbau 48, 127-139

EBERT G., CASIERRA F., 2000: Verringert die Einnetzung grundsätzlich die Assimilationsleistung von Apfelbäumen? Erwerbsobstbau 42, 12 - 14

EIMERN J., HÄCKEL H., 1984: Wetter und Klimakunde. Ein Lehrbuch der Agrarmeteorologie. 4., überarbeitete Auflage, Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag.

FLEMMING G., 1991: Einführung in die Angewandte Meteorologie. Berlin, Akademie-Verlag.

FOKEN T., 2003: Angewandte Meteorologie. Mikrometeorologische Methoden mit 90 Tabellen. Berlin [u.a.], Springer Verlag.

GARDNER R., A., W. & FLETCHER C., A., 1990: Hail protection systems for deciduous fruit Trees. Deciduous Fruit Grower 40, Schweiz. Z. Obst-Weinbau 133, 206 – 212

GEIGER R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. R. Vieweg und Sohn, Braunschweig Verlag.

GIULIVO C., 1973: Hagelschutz im Obst- und Weinbau mit Kunststoffnetzen. Erwerbsobstbau 15, 187 – 190

GUFLER C., 1994: Südtiroler Apfelbuch. Das Südtiroler Obstbaumuseum in Lana. Bozen, Verl.-Anst. Athesia Verlag.

HÄCKEL H., 1993: Meteorologie. 3., verb. Auflage, Stuttgart, Ulmer Verlag.

HÖLLER H., MEISCHNER P., F., 1993: Untersuchung von mikro- und makrophysikalischen Strukturen und Prozessen in Hagelwolken im Hinblick auf deren Beeinflussbarkeit, Oberpfaffenhofen.

HUPFER P. (HRSG.), 2006: Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarb. Auflage, Stuttgart [u.a.], Teubner Verlag.

KIM H., Y., 2004: Wirkung eines reflektierenden Bodenvlieses auf das Mikroklima am Beispiel einer Südtiroler Apfelanlage. (Diplomarbeit).

LAUER W., 1999: Klimatologie. 3., erg. Aufl., Braunschweig, Westermann Verlag.

MAIER R., PUNZ W., SAPELZA W. & THALHEIMER M., 2002: (unter Mitarbeit von Studenten der Univ. Bozen),: Ökophysiologische Untersuchungen zur Wirkung von Hagelnetzen auf Mikroklima, Wasserhaushalt und Produktion in einer Apfelanlage. Projektbericht, Teil1. Freie Univ. Bozen, Inst. F. Ökologie und Naturschutz Univ. Wien und Land- u. Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg.

MARSONER H., 1996: Auswirkungen der Erziehungsform auf den Wasserhaushalt und die Photosynthese bei der Apfelsorte Royal Gala, (Diplomarbeit).

PACHATZ G., C., 2005: Analyse der Effizienz der Hagelabwehr in der Steiermark anhand von Fallbeispielen Agrar- und Bioklima I + II, Vorlesungsskriptum (Prof. Lazar), Inst. f. Geographie, Uni Graz, S. 127 - 138

RÜEGG J., 1997: Beeinflussen Hagelnetze die Schorfsituation in Apfelanlagen? Schweiz. Z. Obst-Weinbau 133, 88-91

SENFTER I., 2000: Biodiversität in integrierten und biologischen Apfelplantagen im Mittelvinschgau (Südtirol). Wien: Bodenkultur (Diplomarbeit).

STADLER P. & LBBZ ARENENBERG 2004: Thuro-Stamm zum Thema Hagelnetzabdeckung, Schweiz. Z. Obst-Weinbau Nr. 17

STORCH H. & GÜSS H., 1999: Das Klimasystem und seine Modellierung. Eine Einführung mit 13 Tabellen. Berlin [u.a.], Springer Verlag.

THALHEIMER M. & PAOLI N., 2005: Auswirkungen von Hagelnetzen auf die Ertrags- und Wuchsleistung sowie auf die Fruchtqualität im Apfelanbau. Laimburg Journal 2, 42-49

TRENTI B., 1996: Bestandesstruktur und Lichtklima von unterschiedlichen Erziehungsformen der Apfelsorte Royal Gala. Innsbruck (Diplomarbeit).

VEITH J., 1938: Versicherungstechnische und meteorologische Hagelstatistik Wien, (Dissertation).

WEIDNER G., 1977: Hagelschutznetz-Anlagen im Obstbau : technische und biologisch-ökologische Untersuchungen (Hohenheimer Arbeiten : Agrartechnik ; 90), Stuttgart, Ulmer Verlag,

WIDMER A., 1995: Beschattung unter Hagelnetzen: Erste Ergebnisse und Tendenzen. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 131, 231 – 234

WIDMER A., 1997: Lichtverhältnisse, Assimilation und Fruchtqualität unter Hagelnetzen. Schweiz. Z. Obst-Weinbau 133, 197 – 199.

WÜNSCHE J., N., 1991: Welche Rolle spielt das Licht in modernen Apfelpflanzungen? Erwerbsobstbau 33,

ZMARSLY E., KUTTLER K., PETHE H., 2002: Meteorologisch-klimatologisches Grundwissen. Eine Einführung mit Übungen, Aufgaben und Lösungen. 2. Auflage, Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag.

ZITATE AUS DEM INTERNET:

HAGELSTATISTIK IN SÜDTIROL (2008). [online].

URL: <http://www.stol.it/nachrichten/artikel.asp?KatId=da&ArtId=21340&RelArtId>,

verfügbar am: 22.09.2008

URL: <http://www.provinz.bz.it/>, verfügbar am: 22.09.2008

LANDESINSTITUT FÜR STATISTIK (2008). [online]

URL: http://www.provinz.bz.it/astat/barometro/default_d.asp, verfügbar am: 25.09.2008

SKYWARN AUSTRIA (2008). [online]

URL: <http://www.skywarn.at/>, verfügbar am 22.09.2008.

HAGELSTATISTIK IN ÖSTERREICH (2008). [online]

URL:

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/produktion_und_bauwesen/dokumentationen.html

KASCHUBA M., 2007: Vorstellung zum Extremwetterkongress in Hamburg 2007 [online]

URL: <http://www.marco-kaschuba.com/hagel.pdf> , verfügbar am 22.09.2008

ZOTH M. & WÜNSCHE J., N., 2007: Hagelnetze in der Obstanbauregion Bodensee,
Gartenbauwissenschaftliche Tagung 44 [online]

URL: http://www.vdl.de/bhgl/Services/Download/Sektionen_DGG-Tagung_2007.pdf ,

verfügbar am 06.10.2008

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name: Cecylia Faltis
Geboren am: 26.09.1980 in Nowy Targ (Polen)
Familienstand: verheiratet mit Robert Faltis
Wohnhaft in: 1140 Wien, Maroltingergasse 7/10-11
Muttersprache: Polnisch
Staatsangehörigkeit: Polen

Aus- und Weiterbildung

November 2008 - Übernahme des Diplomarbeitsthemas „Einfluss von schwarzen Hagelnetzen auf das Mikroklima in einer Südtiroler Apfelanlage“

Seit Oktober 2002 - Biologiestudium mit Schwerpunkt Ökologie (Universität Wien)

2001 – 2002 Vorstudienlehrgang an der Universität Wien

1999 – 2001 4 Semester Studium der Umweltwissenschaften an der TU Krakau

1995 – 1999 Lyzeum (AHS), Abschluss mit Matura

Studienbegleitende Tätigkeiten

März bis Juni 2007 Tutorin an der Naturwissenschaftlichen Fakultät

März bis Juni 2008 Tutorin an der Naturwissenschaftlichen Fakultät

Weitere Qualifikationen

Sprachen : Polnisch (Muttersprache)
Deutsch (sehr gut in Wort und Schrift)
Englisch (gut in Wort und Schrift)

EDV: MS Office, Arbeiten mit dem Internet
Präsentationssoftware (z.B. MS Powerpoint)
Tabellenkalkulation (z.B. MS Excel)
Textverarbeitung (z.B. MS Word)
Statistische Auswertungen (SPSS, Statgraphics)

Persönliche Interessen: Reisen, Wandern, Volleyball, Volkstanz