

**Stadtgrün in Klimawandel und Biodiversitätskrise
optimieren –
Ein Vergleich der Auswirkungen typischer
städtischer Grünflächen (Wiese, Rasen,
Staudenpflanzungen mit und ohne Mineralmulch
sowie helle und dunkle Schotterflächen)**



Impressum

Technische Hochschule Bingen
Berlinstraße 109
55411 Bingen am Rhein

Studierende der Bachelorstudiengänge Umweltschutz und Klimaschutz und
- anpassung im Rahmen des Wahlpflichtmoduls Stadtökologie unter Leitung von
Prof. D. Elke Hietel, Prof. Dr. Oleg Panferov, B.Sc. Marina Bernhard und M.Sc.
Fabian Küdde

Verfasser*innen des Abschlussberichts:

*Ahr, Aaron; Arnold, Markus; Bartz, Michael; Beck, Moritz; Blumrich, Antonia; Dunkel,
Lars; Ennenbach, Thomas; Faber, Helen; Gasiorek, Sven; Gehrig, Alissa; Gries,
Katharina; Kruse, Carina; Külheim, Mari; Lache, Vanessa; Lauth, Marie; Liesenfeld,
Luisa; Öffner, Verena; Rocha, Vivian; Rizos, Andriana; Rühl, Patricia; Ruhl, Susanne;
Schön, Felix; Surges, Johanna; Trumpp, Christopher; Völlmecke, Jule; Wallau,
Frederik; Walter, Simon; Wenig, Linnea-Marie; Wörner, Laura*

Überarbeitungen und Korrekturen: Prof. Dr. Elke Hietel, Prof. Dr. Oleg Panferov.

Layout: M. Sc. Fabian Küdde.

Die Thermalmessungen nachts hat Herr B. Sc. Sven Schmitt durchgeführt.

Das Foto auf dem Deckblatt wurde von Verena Öffner zur Verfügung gestellt.

Nicht gekennzeichnete Fotos stammen von Elke Hietel.

Bingen am Rhein, Oktober 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	9
1.1	<i>Hintergrund</i>	9
1.2	<i>Aufheizungseffekt und Mikroklima in Städten</i>	9
1.3	<i>Stadtnatur und Biodiversität in Städten</i>	10
1.4	<i>Weitere Synergieeffekte der Grünflächen für Mensch und Umwelt</i>	10
1.5	<i>Untersuchungen und Ziel der Ausarbeitung</i>	10
1.6	<i>Hypothesen</i>	11
1.7	<i>Aufbau der Arbeit</i>	12
2	Stand des Wissens	14
2.1	<i>Schottergärten</i>	14
2.1.1	Definition	14
2.1.2	Anlage eines Schottergartens	14
2.1.3	Abgrenzung der Schottergärten	15
2.1.4	Stand des Wissens	16
2.1.5	Forschungsbedarf	19
2.2	<i>Rasen</i>	21
2.2.1	Definition	21
2.2.2	Abgrenzung	22
2.2.3	Ökologische Wirkungen (Abiotik, Fauna, Flora, Landschaftsbild)	23
2.3	<i>Wildblumen- bzw. Insektenwiesen</i>	26
2.3.1	Begriffsbestimmung	26
2.3.2	Abgrenzung	26
2.3.3	Wissensstand	27
2.4	<i>Staudenpflanzungen</i>	34
2.4.1	Definition	34
2.4.2	Systematik der Stauden	34
2.4.3	Standorte	35
2.4.5	Pflanzung	35
2.4.6	Pflege	36
2.4.7	Biodiversität und Mikroklima	37
2.5	<i>Staudenpflanzungen auf mineralischem Mulch</i>	38
2.5.1	Begriffsbestimmung	38
2.5.3	Merkmale	39
2.5.4	Anlage und Pflege der Mulchschicht	40
2.5.5	Wissensstand	41

3	Material und Methodik	46
3.1	<i>Untersuchungsflächen Ingelheim</i>	46
3.2	<i>Untersuchungsflächen Büdesheim</i>	49
3.3	<i>Geräte</i>	54
3.4	<i>Auswertung Mikroklima</i>	55
3.4.1	Grünflächentypen und Korrekturfaktoren	55
3.4.2	Strahlung	57
3.4.3	Thermalbilder	58
3.4.4	Signifikanztests	58
3.4.5	Darstellung der Ergebnisse	59
3.5	<i>Biodiversität</i>	60
4	Ergebnisse	63
4.1	<i>Ergebnisse Stadtklima Ingelheim</i>	63
4.1.1	Thermalbilder	63
4.1.2	Mittelwerte nach Grünflächentypen	64
4.1.3	Signifikante Abweichungen bei den Grünflächentypen	68
4.2	<i>Ergebnisse Stadtklima Büdesheim</i>	69
4.2.1	Thermalbilder	69
4.2.2	Mittelwerte nach Grünflächentypen	70
4.2.3	Signifikante Abweichungen bei den Grünflächentypen	73
4.2.4	Nächtliche Wärmemessungen	74
4.3	<i>Ergebnisse Biodiversität Ingelheim</i>	75
4.3.1	Grünflächentyp: Schotter (hell)	75
4.3.2	Grünflächentyp: Schotter (dunkel)	75
4.3.3	Grünflächentyp: Niedrige Wiese	76
4.3.4	Grünflächentyp: Stauden auf Mineralmulch	77
4.3.5	Grünflächentyp: Stauden auf Erde	78
4.3.6	Grünflächentyp: Hohe Wiese	78
4.3.7	Signifikante Abweichungen der Grünflächentypen	79
4.4	<i>Ergebnisse Biodiversität Büdesheim</i>	80
4.4.1	Schotterflächen (hell)	80
4.4.2	Niedrige Vegetation	81
4.4.3	Rindenmulchfläche	81
4.4.4	Stauden auf Erde	82
4.4.5	Hohe Vegetation	83
4.4.6	Signifikante Abweichungen bei den Grünflächentypen	84
5	Diskussion und Gesamtbewertung	85
5.1	<i>Vergleichende Bewertung der Grünflächentypen</i>	85

5.1.1	Allgemeines	85
5.1.2	Relative Luftfeuchte	85
5.1.3	Lufttemperatur	86
5.1.4	Windgeschwindigkeit	86
5.1.5	Strahlungsbilanz	86
5.1.6	Oberflächentemperaturen	87
5.1.7	Biodiversität	88
5.1.8	Gesamtbewertung Mikroklima und Biodiversität	89
5.2	<i>Empfehlungen, rechtliche Umsetzung, Beratung und Förderung</i>	79
5.2.1	Handlungsempfehlungen	79
5.2.2	Rechtliche Umsetzung am Beispiel der Stadt Mainz	85
5.2.3	Beratung zu klimaangepassten, biodiversen Grünflächen	86
5.2.4	Beispiel für ein Förderprogramm	87
6	Fazit	93
7	Anhang	95
7.1	<i>Ergebnisse Klimamessungen Ingelheim</i>	95
7.2	<i>Ergebnisse Klimamessungen Büdesheim</i>	118
7.3	<i>Ergebnisse Biodiversität Ingelheim</i>	128
7.4	<i>Ergebnisse Biodiversität Büdesheim</i>	134
7.5	<i>Vergleichende Bewertung Deltaberechnungen</i>	135

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schottergarten	14
Abbildung 2: Bepflanzter Schottergarten	14
Abbildung 3: Gepflasterter Vorgarten	15
Abbildung 4: Steingarten	16
Abbildung 5: Mikroklimatische Folgen der Bodenversiegelung	18
Abbildung 6: Zierrasenfläche in einem Privatgarten.....	21
Abbildung 7: Vertrockneter Zierrasen in Bopparder Rheinanlagen nach Dürre im September 2022	22
Abbildung 8: Pflegeintensität und Belastbarkeit verschiedener Rasentypen	23
Abbildung 9: Festuca rubra	24
Abbildung 10: Lolium perenne.....	24
Abbildung 11: Artenreiche Mähwiese.....	27
Abbildung 12: Wildblumenwiese auf trockenem Standort bei Schiesheim	30
Abbildung 13: Blüh-Labyrinth bei Diez.....	31
Abbildung 14: Heimische Wildstauden auf Sand-Mulch.....	38
Abbildung 15: Staudenbeet mit Schieferbruch	39
Abbildung 16: Steppensalbei auf Mulchschicht aus Kies	43
Abbildung 17: Prärie-Wildstauden.....	44
Abbildung 18: Staudenpflanzungen auf Schotter im Winter	44
Abbildung 19: Untersuchungsflächen Ingelheim	46
Abbildung 20: Mineralmulch 3.....	47
Abbildung 21: Mineralmulch 2.....	47
Abbildung 22: Schotter 2.....	47
Abbildung 23: Schotter 3.....	47
Abbildung 24: Wiese 2	48
Abbildung 25: Wiese 1	48
Abbildung 26: Wiese 3	48
Abbildung 27: Stauden auf Erde 1.....	49
Abbildung 28: Stauden auf Erde 2.....	49
Abbildung 29: Untersuchungsflächen Budesheim	50
Abbildung 30: Standort am Schwimmbad.....	51
Abbildung 31: Messstation Am Schwimmbad	51
Abbildung 32: Messstation an der Insektenwiese	51
Abbildung 33: Überblick Insektenwiese.....	51
Abbildung 34: Grasinsel und gemähte Fläche auf Insektenwiese.....	52
Abbildung 35: Messstation am Rathausplatz.....	52
Abbildung 36: Messungen am Rathausplatz.....	52
Abbildung 37: Gemüsebeet am Rathausplatz.....	52
Abbildung 38: Rasen am Spielplatz	53
Abbildung 39: Schotterweg am Spielplatz	53
Abbildung 40: Messstation am Spielplatz	53
Abbildung 41: Rindenmulch am Spielplatz.....	53
Abbildung 42: Wiese (Grasböschung) am Spielplatz.....	53
Abbildung 43: Näherungen der Oberflächentemperaturen der Grünflächentypen in Ingelheim gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim.....	63
Abbildung 44: Lufttemperatur in 2m Höhe nach Grünflächentypen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim.....	64
Abbildung 45: Relative Luftfeuchte in 2m Höhe nach Grünflächentypen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim.....	65
Abbildung 46: Windgeschwindigkeit in 2m Höhe nach Grünflächentypen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim.....	66
Abbildung 47: absorbierte Strahlung nach Grünflächentypen gemittelt; gemessen in ca. 1m bis 1,2m Höhe Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim.....	67

Abbildung 48: Näherungen der Oberflächentemperaturen der Grünflächentypgruppen; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim.....	69
Abbildung 49: Lufttemperatur in 2m Höhe nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim.....	70
Abbildung 50: Relative Luftfeuchte in 2m Höhe nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim.....	71
Abbildung 51: Windgeschwindigkeit in 2m Höhe nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim.....	72
Abbildung 52: absorbierte Strahlung nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Messung in ca. 1m bis 1,2m Höhe; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim.....	73
Abbildung 53: Näherungen der Oberflächentemperaturen gemittelt nach Grünflächentypen; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messzeitpunkt 15.05.22 zwischen 3:08 Uhr und 3:36 Uhr, Messort Budesheim.....	74
Abbildung 54: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Schotter (hell)" am Messort Schotter 2.....	75
Abbildung 55: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Schotter (dunkel)" am Messort Schotter 3.....	76
Abbildung 56: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Niedrige Wiese" an den Messorten Wiese 1 und 2.....	76
Abbildung 57: : Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Stauden auf Mineralmulch" an den Messorten Mineralmulch 2 und 3.....	77
Abbildung 58: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Stauden auf Erde" an den Messorten Stauden auf Erde 1 und 2.....	78
Abbildung 59: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Hohe Wiese" am Messort Wiese 3.....	79
Abbildung 60: Biodiversität auf Schotterflächen in Budesheim.....	80
Abbildung 61: Biodiversität auf niedriger Vegetation in Budesheim.....	81
Abbildung 62: Darstellung der Biodiversitätsmessungen auf Rindenmulch in Budesheim.....	82
Abbildung 63: Darstellung der Biodiversitätsmessungen auf Stauden in Budesheim.....	82
Abbildung 64: Darstellung der Biodiversitätsmessung auf vier hohen Insektenwiesen in Budesheim.....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Geräte.....	54
Tabelle 2: Messgenauigkeiten der Geräte	56
Tabelle 3: Korrekturfaktoren	57
Tabelle 4: Ingelheim Zuordnung: Grünflächentyp - Messort.....	60
Tabelle 5: Budesheim Zuordnung: Grünflächentyp - Messort.....	60
Tabelle 6: Signifikante Abweichungen Mikroklima in Ingelheim.....	68
Tabelle 7: Signifikante Abweichungen Mikroklima in Budesheim.....	73
Tabelle 8: Signifikante Abweichungen Biodiversität in Ingelheim.....	79
Tabelle 9: Signifikante Abweichungen Biodiversität in Budesheim.....	84
Tabelle 10: Gesamtbewertung Mikroklima und Biodiversität	91
Tabelle 11: Handlungsempfehlungen.....	79
Tabelle 12: Handmessungen, Rohdaten ohne Korrektur.....	95
Tabelle 13: Handmessungen Ingelheim, korrigiert	96
Tabelle 14: absorbierte Strahlung und Albedo der Standorte der Klimastationen.....	97
Tabelle 15: Klimastationsdaten Mineralmulch 3-Stauden auf Mineralmulch, grüne Station	98
Tabelle 16: Klimastationsdaten Wiese 3 - hohe Wiese, Station grün, Korrektur Relative Luftfeuchte: Y=0,6617*X+20,74	100
Tabelle 17: Klimastationsdaten, Schotter 2 - Heller Schotte, rote Station, Korrektur Relative Luftfeuchte: Y=0,9407*X+2,7755	102
Tabelle 18 Klimastationsdaten, Stauden auf Erde 1, gelbe Station, Korrektur der Relativen Luftfeuchte: Y=0,8914*X+7,0527	104
Tabelle 19: Mittelwerte der einzelnen Standorte, zusammengefasst nach Grünflächentyp	106
Tabelle 20: Daten Thermalkamera Ingelheim mit Mittelwerten.....	106
Tabelle 21: Prüfung der Abweichung zwischen den Grünflächentypen nach Herstellerangabe	107
Tabelle 22: Ergebnisse der T-Tests (beidseitig, unterschiedliche Varianz) der Mittelwerte nach Grünflächentypen von Lufttemperatur, Rel. Luftfeuchte und absorbiertes Strahlung	109
Tabelle 23, Berechnung U-Tests, Windgeschwindigkeit Ingelheim	110
Tabelle 24, Für U-Tests der Windgeschwindigkeit verwendete Messwerte [m/s]	114
Tabelle 25: Ergebnisse Mann-Whitney-U-Test, Signifikanzniveau 5 %, beidseitig, P = Wahrscheinlichkeit dafür, dass Verteilungen sich nicht unterscheiden	116
Tabelle 26: Standardabweichungen der Messwerte innerhalb eines Grünflächentypen	117
Tabelle 27: Handmessungen, Rohdaten ohne Korrektur.....	118
Tabelle 28: verwendete Rohdaten der Klimastationen (Daten von den Zeitpunkten, an denen die Handmessungen aufgenommen wurden)	119
Tabelle 29: Aus korrigierten Daten der Handmessungen und Klimastationen gemittelte Standortbezogene Messwerte bzw. nur die korrigierten Werte der Handmessungen, da nicht an jedem Standort auch eine Klimastation stand.....	120
Tabelle 30: absorbierte Strahlung.....	122
Tabelle 31: Mittelwerte der Grünflächentyp-Gruppen.....	122
Tabelle 32: Daten der Thermalkamera Budesheim mit Mittelwerten.....	122
Tabelle 33: Wärmemessungen nachts Budesheim mit Mittelwerten	123
Tabelle 34: Prüfung der Abweichungen zwischen den Grünflächentypen nach Herstellerangaben	124
Tabelle 35: Ergebnisse der T-Tests (beidseitig, unterschiedliche Varianz) der Mittelwerte nach Grünflächentypen von Lufttemperatur, Rel. Luftfeuchte und absorbiertes Strahlung	125
Tabelle 36: Standardabweichungen der Messwerte innerhalb eines Grünflächentypen	125
Tabelle 37, Berechnung U-Tests, Windgeschwindigkeit Budesheim	126
Tabelle 38, Für U-Tests der Windgeschwindigkeit verwendete Messwerte [m/s]	127
Tabelle 39, Ergebnisse Mann-Whitney-U-Test, Signifikanzniveau 5 %, beidseitig, P = Wahrscheinlichkeit dafür, dass Verteilungen sich nicht unterscheiden	127
Tabelle 40: Biodiversität Stauden auf Erde 1	128
Tabelle 41: Biodiversität Stauden auf Erde 2	128
Tabelle 42: Biodiversität Wiese 1	129

Tabelle 43: <i>Biodiversität Wiese 2</i>	129
Tabelle 44: <i>Biodiversität Wiese 3</i>	130
Tabelle 45: <i>Biodiversität Wiese 3 zusätzliche Messung</i>	130
Tabelle 46: <i>Biodiversität Mineralmulch 2</i>	131
Tabelle 47: <i>Biodiversität Mineralmulch 3</i>	131
Tabelle 48: <i>Biodiversität Schotter 1</i>	132
Tabelle 49: <i>Biodiversität Schotter 2</i>	132
Tabelle 50: <i>Biodiversität Schotter 3</i>	133
Tabelle 51: <i>Biodiversität aller Untersuchungsflächen Budesheim</i>	134
Tabelle 52: <i>Deltaberechnungen</i>	135

1 Einführung

Verena Öffner

1.1 Hintergrund

Städtisches Wachstum und die Klimaerwärmung sind zwei Herausforderungen, die immer dringlicher anzugehen sind. Städtische Grünflächen werden zunehmend wichtiger, weil die Städte immer dichter bebaut werden, dies fördert städtische Überwärmungseffekte (Heinrich, 2019). Häufig müssen Grünflächen unter dem Druck von fehlender Wohnfläche weichen (Hietel, 2022). Eine Möglichkeit könnte sein, kleinräumige Begrünung zu planen und umzusetzen. Dabei geht es nicht nur um die aktuelle Situation in den Städten, sondern vielmehr darum, die Lebensqualität der Städter*innen auch in Zukunft sichern zu können.

Auch für die Biodiversität spielten Städte eine zunehmende Rolle, da viele Tier- und Pflanzenarten in der intensiv genutzten Kulturlandschaft keinen Lebensraum mehr finden und in die Städte abwandern. Kleine Grünflächen können hier als Trittsteinbiotope eine Rolle spielen. Es müssen Lösungsansätze für die Zukunft gefunden werden, um mehr Biodiversität in den Städten zu fördern, die Städte abzukühlen und den Wohlfühlfaktor für den Menschen so hoch es geht zu erhalten (Rupp, 2021). Nicht nur in großen, sondern auch in kleineren Städten muss bereits jetzt gehandelt werden, um eine rechtzeitige Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu gewährleisten und die Biodiversität zu fördern.

1.2 Aufheizungseffekt und Mikroklima in Städten

Gebäude, Asphaltflächen, Kühlungssysteme und mangelhafter Luftaustausch können bei schlechter Planung maßgeblich zur Bildung von sog. Wärme- bzw. Hitzeinseln in Städten beitragen. Aufgrund der globalen Klimaerwärmung werden die Hitzeinseleffekte in Zukunft immer extremer und das Mikroklima in den Städten wird zunehmend unerträglicher (Heinrich, 2019). Um dem Aufheizungsprozess und der Bildung von Hitzeinseln in Stadtgebieten entgegenzuwirken, sollten Freiflächen so genutzt werden, dass mit einer möglichst guten Klimaanpassung zu rechnen ist. Die Städte müssen in Zukunft deutlich ökologischer geplant werden, um den Aufheizungsprozess im Rahmen halten zu können (Rupp, 2021). Vegetation ermöglicht dabei Beschattung sowie Abkühlung durch die Pflanzentranspiration und die damit verbundene Verdunstungskälte.

1.3 Stadtnatur und Biodiversität in Städten

Frei- und Grünflächen bieten neben dem Nutzen für den Menschen (Obrist, et al., 2012) auch die Möglichkeit, Biodiversität in den Städten zu erhalten und zu fördern. Das gelingt am besten, in dem die Flächen für Blühpflanzen, Insekten und Vögel attraktiv gestaltet werden. Die Schaffung von Biotopen in Stadtgebieten ist ein wichtiger Ansatz, um den Erhalt der Artenvielfalt zu unterstützen. Eine Maßnahme ist, Grün- und Freiflächen im Vorhinein so zu planen, dass Erhaltung und Förderung der Biodiversität möglich sind. Stadtgebiete bieten optimale Bedingungen für ökologische Aufwertungsflächen, da viele verschiedenartige Biotope auf kleinstem Raum nebeneinander existieren können (Obrist, et al., 2012). Dazu gehören Gehölzflächen, Wiesen, Ruderalsäume entlang von Straßen und Wegen, Trittpflanzenvegetation in Pflasterfugen, Dach- und Fassadenbegrünung und vieles mehr.

1.4 Weitere Synergieeffekte der Grünflächen für Mensch und Umwelt

Ein Netz an Grünflächen in Siedlungen gewährleistet neben Klimaanpassung und Biodiversität auch weitere Synergieeffekte. Die Pflanzen bauen Biomasse auf und binden dabei CO₂ als Beitrag zum Klimaschutz. Als unversiegelte Flächen ermöglichen sie den Rückhalt und die Versickerung von Niederschlagswasser und tragen dabei zum gewünschten Schwammstadteffekt bei. Zudem bietet die Vegetation zusätzliche Flächen für Deposition von (Fein-) Staub und säubert damit die Luft (Hietel et al., 2020). Die Begrünungen tragen daher auch zur menschlichen Gesundheit und zur Steigerung der Lebensqualität und des Wohlbefindens der Stadtbewohner bei.

1.5 Untersuchungen und Ziel der Ausarbeitung

In Siedlungen finden sich viele unterschiedliche Grünflächentypen wie Staudenpflanzungen, Blumenwiesen, Rasen, aber zunehmend auch Freiflächen, die als Schottergärten genutzt werden. Diese Grünflächentypen sind sowohl auf n als auch auf privaten Flächen zu finden.

Um zukunftsorientiert gegen die Aufheizung der Städte und für die Biodiversität handeln zu können, besteht Forschungsbedarf. Es gilt herauszufinden, welche Grünflächentypen in Siedlungen besonders zur Klimaanpassung durch Vermeidung von zu starken Aufheizungseffekten sowie zur Biodiversität beitragen können.

Die Auswirkungen von Baumpflanzungen werden in dieser Ausarbeitung nicht berücksichtigt, da es dazu bereits Untersuchungen gibt, die bestätigen, dass das

Pflanzen von Bäumen maßgeblich zur Abkühlung der Städte und der Förderung der Biodiversität beiträgt. Das Problem bezüglich der Baumpflanzung ist jedoch der mangelnde Platz in vielen Städten, weshalb sich diese Ausarbeitung auf kleinflächige Begrünungen konzentriert.

Durch Messungen des Mikroklimas mithilfe von mobilen automatischen Wetterstationen und Handmessgeräten auf verschiedenen Grünflächentypen in Bingen Büdesheim und Ingelheim soll vergleichend herausgearbeitet werden, welche Grünflächentypen der Aufheizung in den Städten besser entgegenwirken und damit Klimaanpassungsmaßnahmen darstellen können. Mithilfe von Biodiversitätsmessungen durch stichprobenartiges Auszählen von Insekten und sonstigen Kleintierarten auf den verschiedenen Grünflächentypen in Bingen Büdesheim und Ingelheim soll außerdem die Habitatqualität der Grünflächentypen bestimmt werden. Daraus lässt sich ableiten, welche Grünflächentypen sich demnach optimal zur Förderung der Biodiversität eignen und dem Artensterben entgegenwirken können.

Ziel dieser Ausarbeitung ist es, Grünflächentypen bestimmen zu können, die eine hohe Biodiversität mit Klimaanpassung vereinen. Daraus sollen Empfehlungen für die Begrünung in Siedlungsbereichen abgeleitet werden.

1.6 Hypothesen

Hypothese 1: Geringe Aufheizung von hellen Flächen.

Eine geringere Aufheizung ist auf Flächen mit hellem Untergrund (höhere Strahlungsreflexion) zu erwarten, darunter zählen beispielsweise auch Altgrasbestände oder helle Schotterflächen.

Hypothese 2: Geringere Aufheizung von Flächen mit dichter, hochwüchsiger Vegetation.

Auf Flächen mit höherwüchsiger Vegetation und einer dichten Pflanzendecke sind niedrigere Temperatur und höhere Luftfeuchte zu erwarten, die auf die Transpiration der Pflanzen zurückzuführen ist.

Hypothese 3: Förderung der Biodiversität auf Flächen mit struktur- und blütenreicher Vegetation

Eine erhöhte Biodiversität ist in strukturreichen, mehrschichtigen und geschlossenen Vegetationsbeständen mit vielfältigen Habitatstrukturen zu erwarten, die zudem viele Blütenpflanzen und damit Nahrungsangebot für Bestäuberinsekten aufweisen.

1.7 Aufbau der Arbeit

Zunächst werden die verschiedenen Grünflächentypen Schottergärten, Rasen, Wiese, Staudenpflanzungen allgemein und mit mineralischem Mulch beschrieben und erläutert (Kap. 2). Anschließend folgt die Beschreibung von Material und Methoden der Untersuchungen (Kap. 3). Die Messergebnisse werden in Kap. 4 zunächst für das Mikroklima und dann für die Biodiversität dargestellt. Dabei werden signifikante Unterschiede zwischen den Grünflächentypen besonders hervorgehoben. Kap. 5 enthält eine Diskussion der Ergebnisse sowie die vergleichende Gesamtbewertung und das „Ranking“ der Grünflächentypen. Zudem werden Handlungsempfehlungen für eine klimaangepasste und biodiversitätsfreundliche Begrünung von Siedlungen formuliert. Dazu gehören auch Beispiele für rechtliche Vorgaben (Gestaltungssatzung), Beratung und Förderprogramme. Kap. 6 enthält das abschließende Fazit. Im Anhang (Kap. 7) befinden sich die Rohdaten der Messergebnisse.

Literaturverzeichnis

- Heinrich, A. (2019). *Klimawandel und urbaner Hitzeinseleffekt*. Masterarbeit Universität Zürich. Von https://www.curem.uzh.ch/dam/jcr:bd23177a-41a7-433b-9649-bd6fa0e38289/Heinrich_Aliya_AbAr_Lg18-19.pdf abgerufen
- Hietel, E. (2022). *Stadtökologie - Unterlagen zur Vorlesung*. TH Bingen, unveröffentlicht.
- Hietel, E., Panferov, O., Rößner, U., Seelos, K., Lorenz-Haas, C., Warnecke, B. & Wustmann, J. (2020): *Semi-intensive Dachbegrünung - Ein innovatives Klimaanpassungs- und Umweltschutzinstrument*. – Transforming Cities, H. 3 / 2020, S. 64-71.
- Obrist, M., Thomas, S., Robert, H., Sandra, G., Fabio, B., Michael, N., Peter, D. (2012). *Biodiversität in der Stadt - Für Mensch und Natur. Merkblatt für die Praxis*. WSL Birmensdorf.
- Rupp, J. (2021). *Grüne Stadt der Zukunft - klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt*. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. Von https://www.ioew.de/projekt/gruene_stadt_der_zukunft_klimaresiliente_quartiere_in_einer_wachsenden_stadt abgerufen

2 Stand des Wissens

2.1 Schottergärten

Antonia Blumrich und Linnea-Marie Wenig

2.1.1 Definition

Ein Schottergarten bezeichnet eine Gartenfläche, die großflächig mit Steinmaterial unterschiedlicher Größe bedeckt ist, die sowohl scharfe Kanten als auch Rundungen aufweisen können. Beispielhaft wird dafür Schotter, Geröll, Kies oder Splitt verwendet (s. Abb. 1). Das Material kann verschiedene Farbschattierungen von weiß, rötlich, braun, grau bis schwarz aufweisen.

Häufig werden Schottergärten vereinzelt mit Bepflanzungen versehen (s. Abb. 2), die robust und trockenresistent sind (Ferber, 2021).



Abbildung 1: Schottergarten
(Eigene Aufnahme A. Blumrich)



Abbildung 2: Bepflanzter Schottergarten
(Eigene Aufnahme A. Blumrich)

2.1.2 Anlage eines Schottergartens

Um einen Schottergarten anzulegen, wird die oberste Bodenschicht abgetragen und anschließend mit einer Folie, einem Vlies oder einer Betonschicht versehen, um das Durchdringen sowie das Wachstum von Unkräutern und eingetragenen Pflanzen zu verhindern. Auf dieser Abdichtungsschicht wird Schotter, Splitt oder ähnliches aufgebracht.

Ca. 40 % der Deutschen besitzen einen Vorgarten, davon sind 15 % überwiegend versiegelt, zum Beispiel durch die Errichtung eines Schottergartens (Wichmann, 2021).

Grundstückseigentümer legen Schottergärten häufig als Vorgärten an, da sie sich, im Vergleich zu einem bepflanzten Vorgarten, einen geringeren Pflegeaufwand sowie

eine saubere Ästhetik erhoffen (Ferber, 2021). Aber auch in Schottergärten wächst mittelfristig Unkraut auf, das dann schwierig zu beseitigen ist.

2.1.3 Abgrenzung der Schottergärten

Neben dem Anlegen von Schottergärten sind ebenfalls immer häufiger Steingärten oder gepflasterte Vorgärten zu finden, die sich untereinander maßgeblich unterscheiden.

Die gepflasterten Vorgärten (s. Abb. 3) sind oft reine Funktionsflächen, denn sie dienen zum Beispiel als Stellplatz für Autos oder als eine Art Hof, der großflächig versiegelt ist. Der ursprüngliche Boden wird um ca. 50-80 cm abgetragen, durch ein Schottergemisch ersetzt und mit einer Ausgleichsschicht aus Sand oder Splitt versehen, auf die der Belag aus Pflastersteinen oder Beton kommt (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, 2021).

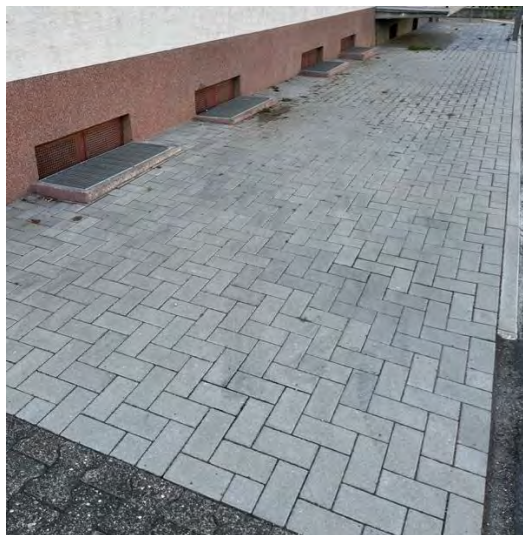


Abbildung 3: Gepflasterter Vorgarten
(Eigene Aufnahme A. Blumrich)

Doch trotz des aufgeräumten Erscheinungsbilds der gepflasterten Vorgärten ist eine regelmäßige Pflege wie das Säubern der Pflastersteine oder das Auskratzen der Fugen notwendig.

Der Steingarten, der irrtümlicherweise häufig mit dem Schottergarten verwechselt wird, ist mit Steinen angelegt und Bepflanzungen versehen (s. Abb. 4). Verwendet werden Felsgestein mit kantigen Formen, Natursteine oder rundliche Findlinge aus Gletschergebieten in verschiedenen Größen.

Im Vergleich zu Schottergärten oder den gepflasterten Vorgärten bietet der Steingarten einen Lebensraum für Tiere und ist zudem weniger pflegeintensiv. (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, 2021).



Abbildung 4: Steingarten
(Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, 2021)

2.1.4 Stand des Wissens

Durch das Anlegen von Schottergärten ergeben sich zahlreiche Nachteile, die unter anderem das Landschaftsbild, die Biodiversität, den Boden oder den Wasserhaushalt betreffen und im Folgenden näher betrachtet werden.

2.1.4.1 Landschaftsbild

Die hier angeführte Bewertung des Landschaftsbildes beruht auf subjektiven Wahrnehmungen und ist stark abhängig von der Gestaltung eines Schottergartens und dem individuellen Empfinden. Da es nicht möglich ist, die Gestaltungsvielfalt, die in der Praxis vorliegt, zu beschreiben, wird eine allgemeine Einschätzung abgegeben.

Schottergärten werden häufig in der Gestaltung privater Vorgärten oder öffentlicher Grünflächen eingesetzt, hier können diese das Straßenbild erheblich beeinträchtigen. So werden alle Aspekte zur Bewertung des Landschaftsbildes eher negativ beeinflusst. Die Flächen sind optisch von gleichfarbigen Steinen bedeckt und Pflanzen sind nicht oder nur vereinzelt eingebracht, somit sind die Strukturen eher monoton und es liegt keine Vielfalt vor. Dieser Faktor beeinträchtigt auch den Aspekt der Schönheit, obwohl dieser sehr von dem individuellen Empfinden abhängt. Der Erholungswert der Fläche kann auch als eher gering eingeschätzt werden.

Die Gestaltung mit Schotter als dominierendes Material bietet keine Grundlage zum Aufenthalt, denn Menschen können sich beispielsweise nicht auf den Boden setzen und es gibt meist keinen Schatten. Die Eigenart hängt sehr von der Gestaltung der umliegenden Flächen ab, man kann aber allgemein feststellen, dass sich Schotter

optisch kaum von asphaltierten Straßen, Mauern und Häusern absetzt und so das Straßenbild oft eintönig wirken lässt.

2.1.4.2 Abiotik

Das Abtragen der obersten Bodenschicht und das Einbringen von Folie oder Vlies stellt eine Bodenversiegelung dar, sodass der Niederschlag nicht mehr versickern kann, sondern oberflächlich abfließt und dadurch nicht mehr zur Grundwasserneubildung beiträgt (Ferber, 2021). Im Zuge des Klimawandels treten Starkregenereignisse zunehmend häufiger auf, sodass Schottergärten zu einer Überlastung der Entwässerungssysteme und Hochwasserschäden, zum Beispiel an Gebäuden, führen können (s. Abb. 5) (Diehl, 2021).

Das Mikroklima (Strahlung, Wind, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag) wird bestimmt durch die Wechselwirkung von atmosphärischer Zirkulation und regionalen bzw. lokalen Landschaftseigenschaften. In der Literatur lässt sich für Schotter je nach Färbung meist ein relativ niedriges Reflexionsvermögen (Albedo) von 5-10 % finden (Klimaatlas Stuttgart, 2004), was bedeutet, dass die Steine mehr Strahlungsenergie absorbieren und damit am Tag, im Vergleich zu anderen Oberflächen sich mehr erwärmen. Diese Eigenschaft ist stark von der Helligkeit der verwendeten Mineralien abhängig, denn weiße Steine reflektieren mehr Strahlung als graue Steine.

Durch die fehlende Vegetation in Schottergärten wird der Umgebungsluft kein Wasser durch die Transpiration zugeführt. Es stellt sich keine Verdunstungskühle ein und die Luftfeuchte kann entsprechend niedriger werden als über eine Oberfläche mit Vegetation.

(GrAT 2009)

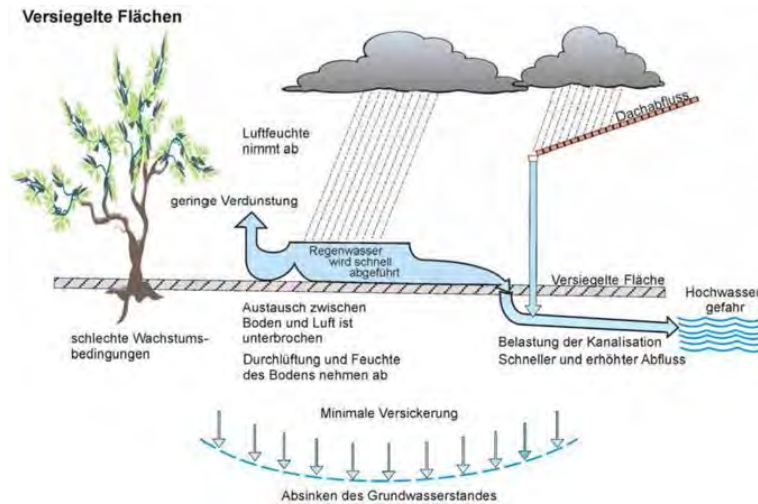


Abbildung 5: Mikroklimatische Folgen der Bodenversiegelung

Liegen die Steine direkt auf dem Erdboden auf, kann es dazu kommen, das Regenwasser schnell versickert, da ohne Vegetation der Prozess nicht abgepuffert wird. Das Wasser verweilt nicht in den oberen Bodenschichten und kann nicht verdunsten (GrAT, 2009).

2.1.4.3 Flora und Fauna

Schottergärten stellen ein Problem für das innerstädtische Ökosystem dar, denn auf ihnen wachsen nur sehr widerstandsfähige, spärliche Pflanzen, womit sie als Lebensraum für Tiere und Pflanzen weitgehend ungeeignet sind und nicht zum gewünschten Biotopverbundsystem beitragen (Ferber, 2021). Häufig werden Bambus, Rhododendron, Kirschlorbeer oder einzelne Töpfe mit Buchsbaum gepflanzt, die für Insekten und Vögel kaum Nahrung bereitstellen, keine Nistmöglichkeiten und auch kein Versteck oder Unterschlupf, für zum Beispiel Kleinsäuger, bieten (NABU; Diehl, 2021). Um die Fläche von Unkraut freizuhalten, werden teilweise Pestizide verwendet, um das Wachsen von unerwünschten Pflanzen zu verhindern, doch dadurch wird die Lebensraumqualität weiter erheblich eingeschränkt (NABU).

Durch die Versiegelung des Bodens ergeben sich ebenfalls Nachteile für den darunterliegenden Boden, denn dessen natürliches Bodengefüge wird beeinträchtigt und teilweise sogar ganz zerstört, sodass der Luft- und Nährstoffaustausch nicht mehr stattfinden kann. Allgemein gehen die natürlichen Funktionen des Bodens sowie die Bodenfruchtbarkeit verloren, wodurch die Bodenlebewesen zunehmend beeinträchtigt werden, sowohl in der Menge der Zusammensetzung als auch in Bezug auf mögliche Interaktionen (NABU; Diehl, 2021).

Schottergärten sind somit dafür verantwortlich, dass die Biodiversität in innerstädtischen Ökosystemen zurückgeht. Die quantitativen Auswirkungen auf die Biodiversität werden genauer in Kapitel 4 analysiert und diskutiert.

2.1.5 Forschungsbedarf

Zur Zeit der Recherche gibt es zwar sehr viele Veröffentlichungen zu Schottergärten allgemein, allerdings kaum wissenschaftliche und fundiert auf realen Messungen beruhende Veröffentlichungen zu den ökologischen und mikroklimatischen Auswirkungen von Schottergärten. Die vorhandene Literatur stammt hauptsächlich von Naturschutzverbänden und beruht nicht auf wissenschaftlich erforderlichen Messungen, sondern auf der Interpretation allgemein gültiger Zusammenhänge. Dieser Umstand verdeutlicht die Relevanz der im Folgenden beschriebenen Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

- Diehl (2021): Schottergärten-Stein(e) des Anstoßes, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
- Ferber (2021): Kommunale Instrumente gegen Schottergärten, Springer-Verlag
- GrAT (2009): Nachhaltige Freiraumgestaltung - mittels ökologischer und ökonomischer Lebenszyklusbewertung von Bodenbelägen im Außenbereich, einsehbar unter:
https://www.naturimgarten.at/files/content/4.%20GARTENWISSEN/Studien%20C%20Umfragen%20und%20Diplomarbeiten/studie_nachhaltige_freiraumgestaltung_mittels_oekologischer_und_oekonomischer_lebenszyklusbewertung_von_bodenbelaeagenim_aussenbereich_grat_2009.pdf
- Klimaatlas Nachbarschaftsverband Stuttgart 1992, Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklimatologie (2004), URL: https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_klimaatlas_5_grund (Stand: 29.06.2022)
- Landesnaturschutzverband Baden-Württemberg e.V. (2021): Schottergärten-Gärten des Grauens
- NABU: Der Schottergarten-Negativtrend mit ökologischen Folgen
- Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen (2021): Vorgarten: Schottergarten, Pflaster oder Bepflanzung?

- Wichmann (2021): Die Verbreitung von Schottergärten in drei nördlichen Ortsteilen der Gemeinde Stuhr, sowie deren Einfluss auf die Bodenfunktion, Universität Oldenburg

2.2 Rasen

Vivian Rocha und Moritz Beck

2.2.1 Definition

Rasenflächen spielen im Siedlungsbereich eine große Rolle (Beier et al., 2003). Rasen sind rund um Häuser, Wohnungen, Geschäftsgebäude und Büros üblich. Auch viele Gärten, Grünanlagen und Stadtparks verfügen über große Rasenflächen. Der Zierrasen (s. Abb. 6) hat eine geringe Widerstandsfähigkeit und erfordert eine intensive Pflege, sodass diese Art von Rasen vorrangig zu ästhetischen Zwecken verwendet wird (Beier et al., 2003).



Abbildung 6: Zierrasenfläche in einem Privatgarten

Zierrasen zeichnet sich durch eine dichte Grasnarbe aus, dünnblättrige Gräser, eine niedrige Schnitthöhe und häufige Mahd (Mulchen) (Seipel, 2010). Da Zierrasen fast nur aus wenigen Grasarten bestehen, sind sie anfällig für Krankheiten und erfordern Unkrautbekämpfung (Hope, 1983). Sie benötigen auch viel Dünger. Sehr kurze Mahdintervalle von teilweise nur fünf bis sieben Tagen sind erforderlich, um eine Länge von fünfzehn bis fünfundzwanzig Millimetern zu gewährleisten (Grosser und Himmelhuber, 1997). In Privatgärten werden oft Mahdroboter eingesetzt. Der Zierrasen benötigt außerdem viel Wasser, sodass in Trockenzeiten Bewässerung gewährleistet sein muss. Wegen des Klimawandels kann dies in Zukunft zu einem großen Problem werden (s. Abb. 7).



Abbildung 7: Vertrockneter Zierrasen in Bopparder Rheinanlagen nach Dürre im September 2022

2.2.2 Abgrenzung

Zierrasen ist im Vergleich zu anderen Rasentypen sehr pflegeintensiv und dazu nicht stark belastbar (s. Abb. 8). Er ist keine Nutzfläche und soll „nur schön“ aussehen, also als Repräsentationsfläche dienen. Die Vorstellung von dieser ansehnlichen Repräsentationsfläche sind eine dichte, teppichartige und kurze Rasennarbe (Lampe, 2017)



Abbildung 8: Pflegeintensität und Belastbarkeit verschiedener Rasentypen (Lampe, 2017, verändert)

Bei anderen Rasentypen wie zum Beispiel einem Landschaftsrassen oder einer Blumenwiese fällt weniger Pflege an, da diese weitaus weniger häufig gemäht werden. Zudem enthalten sie einen höheren Kräuteranteil. Blumenwiesen werden nur ein- bis zweimal im Jahr gemäht, werden nicht bewässert oder gedüngt. Dadurch kann sich höhere Vegetation mit einer Blütenschicht ausbilden, was sich positiv auf die Biodiversität auswirkt.

Weitere Rasentypen sind Sport- und Spielrasen. Diese benötigen ebenfalls intensive Pflege. Sie werden häufig gemäht und weisen kaum Blüten auf. Im Gegensatz zum Zierrassen sind sie aber sehr belastbar, insbesondere der Sportrasen. Die Biodiversität ist hier wegen der hohen Pflegeintensität und der fehlenden Blütenschicht ebenfalls gering.

2.2.3 Ökologische Wirkungen (Abiotik, Fauna, Flora, Landschaftsbild)

Typische Rasengräser sind Rotschwingel (*Festuca rubra*) oder feinblättrige Sorten des Deutschen Weidelgrases (*Lolium perenne*) (s. Abb. 9 und 10) (Grosser und Himmelhuber, 1997).



Abbildung 9: Festuca rubra
(Plantura Magazin)



Abbildung 10: Lolium perenne
(Plantura Magazin)

Kräuter fehlen überwiegend, oft finden sich z.B. nur Gänseblümchen (*Bellis perennis*) oder andere sehr häufige Arten wie der Kleinköpfige Pippau (*Crepis capillaris*). Eine typische Pflanzengesellschaft bildet z.B. der Gänseblümchen - Rotschwengel-Parkrasen (*Festuco commutatae* – *Crepidetum capillaris*) (Rausch, 2022).

Artenarmut, häufige Mahd sowie eventueller Pestizideinsatz und Düngungen führen zu Belastungen des Bodens sowie Verlust von Lebensraum für Flora und Fauna. Insbesondere Zierrasenflächen sollen repräsentative und gepflegt aussehen, auf das Landschaftsbild wirken sie jedoch eher monoton, auch durch das Fehlen einer Blütenschicht.

Der Artenreichtum kann durch alternierendes Mähen oder Aussparen von Randbereichen gefördert werden. Die Erneuerung und Nachsaat von Rasen sollte mit artenreichen Saatmischungen erfolgen (Hope, 1983). Dabei ist die Verwendung von autochthonem Saatgut (Regiosaatgut) wünschenswert.

In Städten können große Rasenflächen in der Sommerhitze für einen spürbaren Kühleffekt sorgen, denn durch Evapotranspiration entsteht Verdunstungskälte, die Luft wird gekühlt und befeuchtet. Rasen kann auch Regenwasser speichern und es

langsam wieder an den Boden oder die Atmosphäre abgeben. Dies ist jedoch abhängig von der Dichte und Höhe der Vegetation.

Literaturverzeichnis

- Beier, H.E., Niesel, A., Pätzold, H. (2003), Lehr- und Taschenbuch für den Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau, Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN 3-8001-4447-6.
- Braune, M. (2017), Gräser-Vorstellung: Lolium Perenne - Deutsches Weidelgras, Rasensamen. <https://www.rasensamen-kaufen.de/graeser-vorstellung-lolium-perenne-deutsches-weidelgras.html>
- Degenbeck, M., (2007), Basiswissen Rasenbau - Anlage und Pflege von Rasenflächen, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Abteilung Landespflege.
[https://www.gartenakademie.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/943E55E5BC2732D9C125783B0051E232/\\$FILE/DEGARasenbau.pdf](https://www.gartenakademie.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/943E55E5BC2732D9C125783B0051E232/$FILE/DEGARasenbau.pdf)
- Grosser, W., Himmelhuber, P. (1997), Rasen: Zierrasen, Spielrasen, Blumenwiese, Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN 3-8001-6609-7.
- Hope, F. (1983), Rasen: Anlage und Pflege von Zier-, Gebrauchs-, Sport- und Landschaftsrasen, Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, ISBN 3-8001-5038-7.
- Lampe, C.S. (2017), Rasentypen, Hortipendium, Das Grüne Lexikon.
Verfügbar auf: <http://www.hortipendium.de/Rasentypen>
- Plantura Magazin, Festuca rubra: Eigenschaften & Verwendung des Rotschwingels. <https://www.plantura.garden/rasen/sorten/festuca-rubra>
- Rausch, R. (2022), Botanik. <https://oekologie-seite.de>
- Seipel, H. (2010), Fachbegriffe des Garten- und Landschaftsbaus, Stuttgart, Holland+Josenhans Verlag, ISBN 978-3-7782-7561-3.

2.3 Wildblumen- bzw. Insektenwiesen

Felix Schön und Michael Bartz

2.3.1 Begriffsbestimmung

Wildblumen- bzw. Insektenwiesen sind artenreiche Formen von Wiesen, die eine Vielzahl von Blühpflanzen aufweisen. Wildblumenwiesen sind in den vergangenen Jahrhunderten durch eine extensive Landwirtschaft entstanden. Durch Beweidung mit Nutztieren oder Mahd wurden den Flächen regelmäßig Nährstoffe entzogen und diese somit ausgemagert. Konkurrenzschwache Arten konnten somit aufgrund der Nährstoffarmut mit wüchsigeren Arten konkurrieren und sich auf Wildblumenwiesen bzw. Magerwiesen etablieren (Nationale Naturlandschaften 2020). Wie andere Offenland-Biotope sind Wildblumenwiesen in Deutschland heute auf anthropogene Nutzung angewiesen und durch diese entstanden, da wildlebende Megaherbivoren heutzutage fehlen (Unterweger 1989). Um eine Verbrachung zu verhindern, ist daher eine Mahd einmal jährlich oder bei den typischen Flachland-Mähwiesen auch zweimal (im Juni nach der ersten Blüte und je nach Witterung nochmals im Herbst) bzw. eine Beweidung als Standweide mit einer geringen Anzahl an Großvieheinheiten bzw. als kurzzeitige Umtriebsweide erforderlich (Nationale Naturlandschaften). Die Nährstoffarmut ermöglicht eine große floristische Artenvielfalt, die das Vorkommen von verschiedenen Insektenarten, darunter Rote-Liste-Arten, begünstigt bzw. bei oligolektischen Wildbienenarten überhaupt erst ermöglicht (Ruoff 2011).

2.3.2 Abgrenzung

Wildblumen- bzw. Insektenwiesen lassen sich durch ihre hohe Vielfalt von Tier- und Pflanzenarten, die durch ihre große Strukturvielfalt ermöglicht wird, von anderen Wiesenarten abgrenzen (Briemle & Fink 2002). Um einer Vielzahl von verschiedenen Lebewesen Lebensraum bieten zu können, muss eine hohe Dichte von Pflanzenarten gegeben sein. Nur so finden Insekten, Vögel und kleinere Säugetiere ausreichend Nahrung und Lebensraum (s. Abb. 11). Im Gegensatz dazu weist ein Zier- oder Nutzrasen nur eine sehr geringe floristische Artenvielfalt auf. Er besteht meist aus wenigen Gras- und anderen Pflanzenarten, die durch regelmäßige Mahd eine maximale Wuchshöhe von etwa 10 cm erreichen (Wolf 1996). Doch selbst auf weniger streng gepflegten Nutzwiesen (bspw. Wiesen in Parks oder an Seen) befinden sich meist neben Gräsern nur wenige Kleearten und tritttolerante Pflanzen wie bspw.

Gänseblümchen. Weiterhin werden diese Rasenflächen regelmäßig gemäht. So wird eine Blüte der Pflanzen häufig verhindert, und somit die Samenbildung unterbunden. Außerdem muss eine Abgrenzung zu intensiv landwirtschaftlich genutzten Wiesen beachtet werden. Diese Wiesen werden häufig für die Silageherstellung genutzt. Dafür werden eiweißreiche Pflanzen wie Kleearten und andere Gräser eingesät und mehrfach im Jahr gemäht. Damit die Flächen nicht ausmagern, wird regelmäßig die Gülle der Nutztiere als Dünger auf die Wiesen aufgebracht. Bei dieser Art der Silagewiese trifft eine geringe Artenvielfalt auf eine hohe Nährstoffkonzentration (Heute 2014).



Abbildung 11: Artenreiche Mähwiese

2.3.3 Wissensstand

Abiotik

Je nach Ausprägung der abiotischen Faktoren wie Wasserverfügbarkeit, Temperatur, Nährstoffverfügbarkeit oder Exposition sind auch Wildblumenwiesen unterschiedlich ausgeprägt. Extensive Feuchtwiesen sind ebenfalls sehr artenreich, jedoch ist der Biomasse-Aufwuchs viel höher als auf Magerwiesen trockener Standorte (Humboldt Universität Berlin, 2019).

Auf nährstoffarmen, mageren und trockenen Standorten entwickeln sich über die Zeit bei entsprechender Bewirtschaftung sehr vielfältige Mager- und Trockenrasen aus (Abfalter et al.).

Werden intensiv genutzte Wiesen, die eine hohe Nährstoffverfügbarkeit aufweisen, extensiviert, setzen sich häufig wenige, sehr konkurrenzstarke Arten durch und dominieren die Flächen, so dass die Artenvielfalt gering bleibt. Hier ist eine Einsaat mit konkurrenzfähigen Arten (Regiosaatgut bzw. Saatgutübertragung von benachbarten artenreichen Wiesen) oder eine Ausmagerung der Fläche mittels Sandes empfehlenswert, um eine hohe Artenvielfalt zu erzielen.

Fauna

Wiesenarten, die als Insektenwiese bezeichnet werden können, weisen aufgrund ihrer strukturellen Vielfalt eine hohe Diversität in Pflanzen- und Tierarten auf. Unterschieden werden Blüten-, Blatt- und Stängel-, Streu- und Bodenschicht, während bei Rasen die Blütenschicht fehlt und die anderen Schichten nur rudimentär ausgebildet sind. Nur auf Grundlage einer vielfältigen Flora, kann sich auch eine hohe Biodiversität in der Fauna entwickeln. Viele Insektenarten sind auf einzelne oder wenige Pflanzen spezialisiert, und können nur Lebensraum finden, wenn diese Pflanzenarten in einem Biotop vorhanden sind. Am Beispiel der in Deutschland heimischen Wildbienen lässt sich das exemplarisch verdeutlichen. So konnten auf extensiv genutzten Wiesen ein Großteil der heimischen Wildbienenarten gefunden werden, unter ihnen sogar 11 Arten, die als gefährdet eingestuft sind oder sich bereits auf der Vorwarnliste finden. Auf intensiv genutzten Flächen, die häufig gemäht werden und als Zier- oder Nutzrasen Verwendung finden, konnte keine dieser 11 Arten gefunden werden (Rouff 2011).

Eher nachteilig wirken sich anthropogen angelegte Blühwiesen oder Ackerrandstreifen mit einer geringeren Artenvielfalt und nicht heimischen Pflanzenarten, z.B. mit Phacelia oder Sonnenblumen, aus. Hier werden trotz hoher Anzahl an Blüten meist nur Honigbienen oder andere Generalisten gefördert, die anders als Wildbienen nicht auf eine spezielle Flora angewiesen sind (Ramseier et al. 2016).

In mehrjährigen Wiesen werden zusätzlich besonders Vögel und Säugetiere gefördert. Gerade Unkrautsamen fressende Vogelarten wie Stieglitze, Bluthänflinge und andere Finkenarten sowie Feldsperlinge, finden in den Wiesen ausreichend Samen und Insekten als Nahrung (Nabu BW, Birdlife AT). Kleine Säugetiere wie Igel, Spitzmäuse

oder sogar je nach Gewässerverfügbarkeit Reptilien wie Blindschleichen oder Ringelnattern finden ebenfalls eine Nahrungs- und Lebensgrundlage (Deutsche Wildtierstiftung). Dafür ist es allerdings unabdingbar, dass die Wiesen mehrjährig bestehen können.

Flora

Die Flora von Wildblumenwiesen ist je nach Standort unterschiedlich stark ausgeprägt, so können auf einer extensiv genutzten Wiese ca. 50 oder mehr Pflanzenarten vorkommen (s. Abb. 12) (Rieger-Hoffmann). Typische Arten auf einer solch extensiv genutzten Wiese mittlerer und trockener Standorte sind:

- Echtes Johanniskraut (*Hypericum perforatum*)
- Kleiner Wiesenknopf (*Sanguisorba minor*)
- Wiesen-Flockenblume (*Centaurea jacea*)
- Acker-Witwenblume (*Knautia arvensis*)
- Wiesen-Margerite (*Leucanthemum vulgare*)
- Wilde Möhre (*Daucus carota*)
- Kleiner Klappertopf (*Rhinantus minor*)
- Rote Lichtnelke (*Silene dioica*)
- Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*)
- Echtes Labkraut (*Galium verum*)



Abbildung 12: Wildblumenwiese auf trockenem Standort bei Schiesheim (eigene Aufnahme)

Aber auch viele Gräserarten kommen auf Wildblumenwiesen vor (Ollig). Werden Wildblumenwiesen ein- bis zweimal im Jahr nach der Blüte gemäht, so wird das Aussamen der Pflanzen ermöglicht und zeitgleich der natürlichen Sukzession entgegengewirkt (Nationale Naturlandschaften). Nach der Mahd sollte das Schnittgut innerhalb weniger Tage von der Fläche entfernt werden, um diese weiter auszumagern, aber auch um die Wildblumen nicht von Licht und Sauerstoff abzutrennen (Syringa-Pflanzen).

Landschaftsbild

Ein Landschaftsbild entsteht durch die Wahrnehmung der visuellen Eindrücke, Gerüche und Geräusche, die die Umgebung erzeugt. Die Wahrnehmung eines Menschen ist immer individuell und somit auch die Einschätzung und Bewertung (NLWKN Niedersachsen).

Wildblumenwiesen können in allen Teilbereichen der Kulturlandschaft und insbesondere auch in Siedlungsbereichen das Orts- und Landschaftsbild erheblich verbessern. Die Schutzgüter des Landschaftsbildes (Vielfalt, Eigenart, Schönheit, Erholungswert) werden von Wildblumenwiesen unterschiedlich tangiert: Die Vielfalt wird, wenn artenreiche Wildblumenwiesen in umgebende Strukturelemente wie Hecken, Bäume oder Parks integriert werden, in hohem Maße positiv beeinflusst. Die

Eigenart bzw. Unverwechselbarkeit einer Wildblumenwiese ist hingegen nicht als sehr hoch einzustufen, da diese wie eine Rasenfläche in jeder Region wachsen würde. Anders ist es nur, wenn die Wildblumenwiese regional typische und charakteristische Pflanzenarten aufweist. Die Schönheit der Landschaft wird durch die Neuanlage von Wildblumenwiesen sehr stark verbessert. Dies ist vor allem in Siedlungsbereichen zu erkennen, die vor einer Neuanlage lediglich als trist und grau charakterisiert waren, dann aber durch die vielen Blühpflanzen nicht nur farblich aufgewertet wurden. Der Erholungswert von großflächig angelegten Wildblumenwiesen ist als mittelmäßig zu bewerten. Im Gegensatz zu Rasenflächen ist der Zugang zu Wildblumenwiesen durch den höheren Bewuchs stark eingeschränkt und Freizeitaktivitäten wie Sport oder Sonnenbaden nicht möglich. Eine hohe Bewertung des Erholungswertes lässt sich durch einfache Anpassungen in der Neuanlage von Wildblumenwiesen erreichen: So können anstatt großräumiger Flächen kleinere Blühinseln oder sogar Blüh-Labyrinth angelegt werden, die die Vorteile von Rasenflächen und Wildblumenwiesen kombinieren und im Fall des Blüh-Labyrinths eine weitere Erholungsmöglichkeit bieten.



Abbildung 13: Blüh-Labyrinth bei Diez
(Quelle FNP)

Literaturverzeichnis

- Abfalter, A., et al, Nachhaltige Grünlandbewirtschaftung durch abgestuften Wiesenbau
<https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/2021-abgestufter-wiesenbau.pdf>, 24.06.2022, 20:59
- Birdlife AT, Der Feldsperling: nicht nur in Feld und Flur zuhause,
<https://www.birdlife.at/blog/aktuelles-zur-vogelwelt-1/post/der-feldsperling-nicht-nur-in-feld-und-flur-zu-hause-50>, 24.06.2022, 18:45
- Briemle, G, Fink, C. (2002): Wiesen, Weiden und anderes Grünland: Biotope erkennen, bestimmen und schützen. – Stuttgart
- Deutsche Wildtierstiftung, Ringelnatter: Eine der häufigsten heimischen Schlangen
<https://www.deutschewildtierstiftung.de/wildtiere/ringelnatter>, 24.06.2022, 21:21
- FNP (2021), Mit den Insekten auf Augenhöhe,
<https://www.fnp.de/lokales/limburg-weilburg/diez-ort901855/diez-mit-den-insekten-auf-augenhoehe-90904549.html>, 25.06.2022, 13:23
- Harms, A., NLWKN, Landschaftsbild,
https://www.nlwkn.niedersachsen.de/naturschutz/landschaftsplanung_beitrage_zu_anderen_planungen/landschaftsplanung/landschaftsbild/-46154.html, 24.06.2022, 20:59
- Heute, F., Grünland und Landwirtschaft
<https://www.wildoekologie-heute.de/reviere/gr%C3%BCnland-landwirtschaft/> 24.06.2022, 19:54
- Humboldt-Universität Berlin (2019). Steckbrief für Niedermoorbewirtschaftung bei unterschiedlichen Wasserverhältnissen,
https://rs.cms.hu-berlin.de/boku/plugins/api_resource/?ref=638&key=jtq2bQxQQEyDZU45k54trdgDS3-Ed4yL1ANC-Lqh7go,&skey=971014cf0e41e38d403e5c475be06af6 24.06.2022, 19:35
- Klatt, M. (2016), Blumen für den Stieglitz
<https://baden-wuerttemberg.nabu.de/news/2016/20520.html> 24.06.2022
- Nationale Naturlandschaften (2020), Fett- und Magerwiese,
<https://nationale-naturlandschaften.de/aktuelles/2020/fett-und-magerwiese>, 24.06.2022, 19:57
- Ollig, W. (DLR RLP). Aussaatwürdige Gräser und Kräuter,

<https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/b81d6f06b181d7e7c1256e920051ac19/0a8e06fb6ea91ca3c1256f3800337e29?OpenDocument>,
24.06.2022, 19:58

Ramseier, H. et al (2016), Blühstreifen fördern Honig- und Wildbienen,

<https://doi.org/10.24451/arbor.6914>, 24.06.22, 19:40

Rieger-Hoffmann, Blumenwiese UG09 Zusammensetzung

https://www.rieger-hofmann.de/sortiment-shop/mischungen/wiesen-und-saeume-fuer-die-freie-landschaft/01-blumenwiese/detailansicht-blumenwiese.html?tt_products%5BbackPID%5D=158&tt_products%5Bproduct%5D=5&cHash=1055347efb41bb235aeb3567524341de, 24.06.2022, 21:01

Ruoff, L. (2011): Auswirkungen der Wiesenmahd auf die Wildbienenfauna öffentlicher Grünflächen in Tübingen. Diplomarbeit. Evolutionsbiologie der Invertebraten –Tübingen.

Syringa-Pflanzen, Ohne Schnitt keine Blumen,

<https://www.syringa-pflanzen.de/ohne-schnitt-keine-blumen.html>, 24.06.2022,
20:22

Unterweyer, W.-D. (1989), Die letzten Bauernwiesen, Herford: Busse-Seewald

2.4 Staudenpflanzungen

Helen Faber und Patricia Rühl

2.4.1 Definition

Stauden gehören zu den krautigen Pflanzen und blühen mehrjährig. Im Vergleich zu Sträuchern oder Bäumen verholzen die oberirdischen Pflanzenteile der Stauden nicht. Je nach Art der Staude überwintern sie in Form von Zwiebeln, Knollen oder Rhizomen, aber auch andere Wurzelspeicherorgane sind möglich. Diese Teile der Pflanze können unter der Erdoberfläche, aber auch knapp über der Erdoberfläche liegen, dadurch ist ein Austrieb in der kommenden Vegetationsperiode möglich. Einige Stauden gehören auch zu den wintergrünen oder immergrünen Arten.

2.4.2 Systematik der Stauden

Im Allgemeinen werden die Stauden aufgrund ihrer unterschiedlichen Lebensbereiche in sieben Kategorien aufgeteilt. Zum einen gibt es die **Waldstauden**, die am besten im Schutz von Bäumen und Sträuchern wachsen. Sie nutzen das Herbstlaub als Schutz vor Frost und blühen bereits am Anfang des Jahres, wenn die Bäume noch keine Blätter haben. Zu den typischen Waldstauden zählen zum Beispiel Elfenblumen (*Epimedium*), Waldmeister (*Galium odoratum*) oder Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*). Zum anderen gibt es die **Gehölzstauden** (Waldrand- oder Halbschattenstauden), die an offenen Gehölzrändern wachsen und halbschattige Standorte bevorzugen. Die Gehölzstauden blühen ebenfalls sehr früh im Jahr und bilden dichte Blüten- und Blatteppiche. Als Beispiel wäre hier der Pyrenäen-Storchschnabel (*Geranium pyrenaicum*) und der Blaurote Steinsame (*Aegonychon purpureocaeruleum*) zu nennen. Eine weitere Kategorie sind die **Flächenstauden**, die meist auf sonnenexponierten, freien Standorten vorkommen. Als Schutz vor der Sonne bilden sie eine besonders ausgeprägte Cuticula (wachsartiger Überzug) über den eigentlichen Blättern. Sie vermeiden es, im Schatten und in unmittelbarer Nähe zu anderen Pflanzen zu wachsen. Zu den bekanntesten Flächenstauden zählen die Färberkamille (*Anthemis tinctoria*) und die Königskerzen (*Verbascum*). Die nächste Gruppe sind die **Steingartenstauden**. Sie entwickeln sich am besten in der Nähe von Gesteinen, da sie die Rückstrahlung durch die Steine für ein erfolgreiches Wachstum benötigen. Beispiele für die Steingartenstauden sind die Schleifenblumen (*Iberis*) und das Steinkraut (*Alyssum*). Als weitere Kategorie sind die **alpinen Stauden** zu nennen, die wie die Steingartenstauden die Nähe von Steinen aufgrund der Rückstrahlung

bevorzugen. Zu den bekanntesten Arten zählen der Enzian (*Gentiana*) und das Alpen-Edelweiß (*Leontopodium nivale*). Eine weitere Gruppe der Stauden sind die **Prachtstauden** (Beetstauden). Sie besitzen eine lange Blütezeit und außergewöhnliche Wuchs- oder Blattformen, wodurch sie sehr attraktiv für heimische Gärten sind. Die bekanntesten Prachtstauden sind die Rittersporne (*Delphinium*) und die Pfingstrosen (*Paeonia*). Die letzte Kategorie sind die **Uferstauden**, die als Standorte Flachwasserzonen, Sümpfe oder Überflutungsböden benötigen. Zur Kategorie der Uferstauden gehören die Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*) und der Wiesen-Knöterich (*Bistorta officinalis*).

Die Stauden können zusätzlich in **Schattenstauden** und in **Sonnenstauden** unterteilt werden. Die Schattenstauden benötigen für ein optimales Wachstum einen mäßig feuchten, lockeren, sowie humus- und nährstoffreichen Boden. Der Kalkgehalt des Bodens spielt für diese Gruppe keine Rolle. Die Sonnenstauden hingegen entwickeln sich am besten auf einem trockenen, gut dränierten und mageren, sowie nährstoffarmen Boden. Sie bevorzugen einen warmen und windgeschützten Bereich, sowie als Substrat einen kalkhaltigen Sand-Lehm-Boden.

2.4.3 Standorte

Die wichtigsten Kriterien für eine erfolgreiche Staudenpflanzung sind die richtige Einschätzung des Wasserhaushaltes, des Bodens, der zu erwartenden Niederschlagsmengen und der Lichtverhältnisse der ausgewählten Bepflanzungsfläche. Der vorhandene Boden muss vor der Bepflanzung untersucht werden, ob er ein geeignetes Substrat für die Stauden darstellt. Die Verwendung einer Mulchschicht kann Staudenpflanzungen fördern. Am besten eignet sich ein durchlässiges Substrat aus anorganischem oder organischem Material wie Kies, Schotter, Sand, Split oder Rindenmulch. Dadurch verringert sich die Pflegeintensität, z.B. bei der Unkrautentfernung und bei der Bewässerung. Wichtig ist dabei die Einschätzung der teils extremen urbanen Faktoren, wie die hohe Hitzeabstrahlung von Bauwerken (z.B. durch Glasfenster) und Verkehrsflächen (z.B. Asphalt) sowie die Trockenheit.

2.4.5 Pflanzung

Um Staudenpflanzungen anzulegen, können die Pflanzen gesät oder als bereits gewachsene Stauden in Topfballen in den Boden gesetzt werden. Werden die Stauden

gepflanzt, haben sie im Vergleich zur Saat einen Entwicklungsvorsprung. Durch Saat lassen sich insbesondere heimische Wildstauden etablieren, z.B. über die Verwendung von Regiosaatgut oder die Mahdgutübertragung von benachbarten, artenreichen Wiesen.

Beim Anlegen einer Staudenpflanzung sollten möglichst mehrere Staudenarten kombiniert werden. Dabei sollten zur Förderung der Biodiversität nicht nur exotische, sondern auch heimische Arten verwendet werden. Richtwerte geben eine Pflanzdichte von etwa acht Pflanzen pro Quadratmeter auf humosen Böden oder etwa fünf Pflanzen pro Quadratmeter auf humusarmen, trockenen Böden an.

Die meisten heimischen Staudenarten blühen hauptsächlich von Mai bis Juni. Damit die zu bepflanzende Fläche auch außerhalb dieser Zeiten ansprechend bleibt und z.B. von Bestäuberinsekten genutzt werden kann, sollte die Pflanzung mit frühbeziehungsweise spätblühenden Staudenarten sowie Geophyten (Pflanzen mit unterirdischem Speicherorgan wie z.B. einer Zwiebel) kombiniert werden. So wird die Phase, in der die Pflanzen blühen, verlängert. Im Winter sollten Fruchtstände der Stauden in Kombination mit wintergrünen Stauden Abwechslung schaffen und Lebensraum bieten.

2.4.6 Pflege

Durch Verwendung von heimischen Staudenarten lässt sich der Pflegeaufwand im Vergleich zu exotischen Arten minimieren, da bei heimischen Arten meist die Nützlich-Schädling-Beziehung bereits etabliert ist und sie somit weniger anfällig gegenüber Schädlingen und Krankheiten sind. Allerdings können exotische Staudenarten, die beispielsweise hitzebeständiger und trockenresistenter sind, die Grünfläche besser an wechselnde klimatische Bedingungen und den Klimawandel anpassen.

Wichtig ist zudem das Entfernen des auf der Fläche wachsenden Unkrauts. Generell müssen nährstoffreiche, humose Standorte stärker gejätet werden als nährstoffarme. Ein Rückschnitt ist aus Sicht der Natur nicht notwendig, allerdings zu empfehlen, um die Attraktivität der öffentlichen Fläche zu erhalten. Dieser sollte möglichst im Frühjahr erfolgen, um die Überwinterungsorte von Insekten nicht zu beseitigen oder zu zerstören. Zusätzlich können so die getrockneten Fruchtstände einiger Stauden erhalten werden, die in Kombination mit anderen Staudenarten eine optisch schöne Kombination darstellen.

2.4.7 Biodiversität und Mikroklima

Im Hinblick auf die Biodiversität schaffen Grünflächen mit Staudenpflanzungen wichtige struktur- und blütenreiche Lebensräume, insbesondere für Insekten. Durch die lange Vegetationsperiode mit vielen verschiedenen Staudenarten bietet die Fläche reichlich Nahrung für zum Beispiel Bienen oder Schwebfliegen. Im urbanen Raum stellen die Stauden einen wichtigen Rückzugsort für verschiedenste Tierarten dar. Dicht bepflanzte, hochwüchsige Staudenflächen können zudem mikroklimatische Abkühlungseffekte bewirken.

Literaturverzeichnis

- BfN (2021). *Bundesprogramm Biologische Vielfalt*. Von <https://biologischevielfalt.bfn.de/bundesprogramm/ueberblick.html> abgerufen
- Hansen, R., & Stahl, F. (2016). *Die Stauden und ihre Lebensbereiche* (Bd. 6. Auflage). Stuttgart: Ulmer.
- Heinrich, A., & Messer, U. J. (2017). *Staudenmischpflanzungen*. Stuttgart: Ulmer.
- Steiger, P. (2020). *Heimische Wildstauden im Garten*. Stuttgart: Ulmer.

2.5 Staudenpflanzungen auf mineralischem Mulch

Katharina Gries und Luisa Liesenfeld

2.5.1 Begriffsbestimmung

Staudenpflanzungen auf mineralischem Mulch zeichnen sich durch eine Abdeckung der Bepflanzungsschicht mit mineralischen bzw. anorganischen Stoffen aus. Dazu gehören Sande (siehe Abb. 14) und Kiese sowie Splitte, Schieferbrüche und Travertin. Häufig werden auch Mischformen aus Sand-Kies-Gemischen sowie Sand-Splitt-Gemischen verwendet. (Hofmann, 2019). Mineralischer Mulch ist nicht brennbar und verrottet nicht. Rindenmulch stellt eine organische Mulchalternative dar, verrottet aber schnell, entzieht dem Boden dabei Stickstoff und schafft ein saures Bodenmilieu, das nicht alle Staudenarten vertragen. Rindenmulch wird daher in dieser Arbeit als Alternative für Staudenpflanzungen nicht weiter untersucht.



Abbildung 14: Heimische Wildstauden auf Sand-Mulch (Hofmann, 2019)

2.5.2 Arten und Anwendungen von mineralischem Mulch

Technisch gesehen ist es zweitrangig, welche Gesteinsart verwendet wird. Es gibt jedoch trotzdem einige Unterschiede, die zur Erzielung eines optimalen Ergebnisses beachtet werden können (Hofmann, 2019).

Generell verringert mineralischer Mulch die Verdunstung und somit auch den Wasserverlust. Es gibt aber auch Gesteine, die durch ihre offenporige Oberfläche in sich zusätzlich Wasser speichern können. Beispiele dafür sind z.B. Travertin oder Ziegelsplitt (MDR Garten, 2022).

Auf vollsonnigen Standorten sollte idealerweise kein sehr dunkles Gestein wie etwa Schieferbruch (s. Abb. 15) verwendet werden, da die Pflanzen durch Aufheizungseffekte Verbrennungen erleiden können, sofern der Bewuchs noch nicht dicht genug ist (MDR Garten, 2022).

Zudem sollte auf ohnehin schon sehr bindigen bzw. dichten Böden nicht noch zusätzlich schweres Gestein aufgebracht werden. Leichte Gesteine, wie z.B. Travertin, sind hier sinnvoller (MDR Garten, 2022).

Neben den bereits genannten Gesteinsarten können auch zahlreiche weitere Materialien wie z.B. Muscheln, Lava, Diabas, Splitt oder andere Formen von Kies verwendet werden (MDR Garten, 2022).



Abbildung 15: Staudenbeet mit Schieferbruch (MDR Garten, 2022)

Betrachtet man die Kosten ist der Einkaufspreis für Sand am günstigsten, gefolgt von Kies und Splitt. Am teuersten ist in der Regel die Anschaffung von Travertin und Schieferbruch. Diese Angaben beziehen sich auf die aktuellen Marktpreise der Baumärkte im Sommer 2022. Je nach Körnung und Qualität des Materials können die Preise abweichen.

Wenn möglich sollten die verwendeten Gesteine aus der Region bezogen werden, um den ökologischen Fußabdruck gering zu halten.

2.5.3 Merkmale

Pflanzen in mineralischem Mulchsubstrat sind dazu gezwungen, ein tiefes und weitreichendes Wurzelwerk auszubilden, um an Wasser zu gelangen. Mit dieser

Anpassung und weiteren Schutzvorrichtungen bilden sie eine natürliche Schutzbarriere gegen Trockenstress aus. Die Pflanzen wachsen dadurch zwar langsamer, sind aber besser an den Standort angepasst. Da keine organische Substanz verrottet, bildet sich zudem nahezu kein Humus. Somit muss deutlich weniger bzw. gar nicht bewässert werden (Hofmann, 2019).

Die Besonderheit des mineralischen Mulchs liegt in seiner pflegeleichten Anwendung. Durch die lange Lebensdauer aufgrund der mineralischen Bestandteile sind einmalige Investitionskosten oft ausreichend. Parallel werden Aufwendungen zur Bekämpfung von Unkraut weniger erforderlich (MDR Garten, 2022).

Eine wichtige Funktion der Mulchschicht zeigt sich in der Verbesserung der mikrobiellen Bodenaktivität unterhalb des Mulchmaterials. Durch die Abdeckung wird die Wärme länger in der darunterliegenden Bodenschicht gehalten. Es stellen sich konstante Temperatur- und Feuchteverhältnisse ein, die für eine optimal angepasste mikrobielle Aktivität sorgen. Damit erhöht sich auch die Nährstoffverfügbarkeit für die Staudenpflanzen (Hofmann, 2019).

Gerade in Bezug auf den voranschreitenden Klimawandel und daraus resultierenden Trockenperioden ist die Reduktion der Verdunstungsrate bedeutsam. Dies ist möglich, weil durch die Mulchschicht die Bodenkapillaren unterbrochen werden. Die wichtigste Funktion des mineralischen Mulchs ist somit die Reduktion von Trockenstress, da im Hinblick auf die zunehmende Trockenheit auch das Wasserdargebot abnimmt. Weiterhin werden durch den mineralischen Mulch bei Staudenpflanzungen Verschlämmungen bei Starkregenfällen verhindert (Hofmann, 2019).

2.5.4 Anlage und Pflege der Mulchschicht

Anlage

Um eine möglichst gute Anpassung an die jeweiligen Standorte zu gewährleisten, sollten kleine, junge Pflanzen verwendet werden, da diese sich erst am Standort entwickeln und nicht bereits in großen Humustöpfen herangewachsen sind (MDR Garten, 2022).

Der mineralische Mulch kann sowohl vor als auch nach dem Pflanzen aufgebracht werden. Bei sehr hoher Pflanzdichte empfiehlt es sich, den Mulch nach dem Pflanzen aufzubringen, da er sich sonst mit dem Oberboden vermischen könnte. Ist die Pflanzdichte jedoch geringer, kann auch vor der Pflanzung die mineralische Mulchschicht aufgebracht werden (Hofmann, 2019).

Die Schichtdicke der mineralischen Mulchschicht sollte mindestens acht bis zehn Zentimeter betragen. Zu beachten ist, dass feinkörnige Materialien eine höhere Schichtdicke benötigen, da sie sich mehr setzen (Hofmann, 2019). Die Korngröße und Art des Mulchsubstrats sollte an die Pflanzen angepasst sein (MDR Garten, 2022).

Unter dem mineralischen Substrat darf keine Folie oder Vlies verlegt werden, da diese das Pflanzenwachstum behindert (Bundesstadt Bonn, 2021).

Pflege

Es genügt, die jährlich anfallenden organischen Reste wie Laubabfall oder Moose zu entfernen. Dies gelingt am effizientesten mit einem Laubbläser oder Laubrechen. Es wird empfohlen, bei hohem Abtrag des Mulchmaterials über die Zeit nachträglich Material aufzubringen, um die minimale Schichtdicke nicht zu unterschreiten (Hofmann, 2019).

Eine unzureichende Abdeckung kann unter Umständen Auswirkungen auf die Mikroklimaverhältnisse unterhalb der Schicht haben und somit den Wasser- und Nährstoffhaushalt der Staudenpflanzen negativ beeinflussen, indem bspw. die Verdunstungsrate zunimmt (Hofmann, 2019).

Zudem wird bei einer zu dünnen Mulchschicht das Unkraut nur noch unzureichend unterdrückt und kaum noch Wasser gespart. Eine Bewässerung ist in der Regel nur sehr selten, teils auch gar nicht nötig. Außerdem behindert sowohl eine zu dünne als auch eine zu grobkörnige Mulchschicht (zum Beispiel Schotter > 32 mm) das Jäten von Unkraut (Hofmann, 2019).

Generell gilt: Je besser die Mulchschicht angelegt wurde, desto geringer ist der langfristige Pflegeaufwand.

2.5.5 Wissensstand

2.5.5.1 Abiotik

Sofern der Gesteinsmulch durch das Pflanzenwachstum nach kurzer Zeit verdeckt wird, sind Aufheizungseffekte nur in der ersten Zeit zu erwarten und spielen später keine Rolle mehr (Bundesstadt Bonn, 2021). Wenn jedoch keine vollständige Vegetationsbedeckung erreicht wird, können sich negative Aufheizungseffekte durch den Mineralmulch ergeben.

Wenn durch den Mineralmulch jedoch das Pflanzenwachstum gefördert wird, ergeben sich durch die Evapotranspiration der Pflanzen und die daraus entstehende

Verdunstungskälte, welche zu Abkühlungseffekten führt, positive Effekte für das Mikroklima (Bundesstadt Bonn, 2021).

Durch die konstanten Feuchte- und Temperaturverhältnisse unterhalb der Mulchschicht wird der Boden vor dem Austrocknen geschützt und somit das Bodenleben gefördert (Hofmann, 2019).

2.5.5.2 Fauna

Die im mineralischen Mulch wachsenden Stauden stellen eine wichtige Futterquelle für Insekten dar (Bundesstadt Bonn, 2021). Gerade in sehr stark bebauten Bereichen ist für Insekten nahezu kein Nahrungsangebot mehr vorhanden, sodass Staudenpflanzungen eine wichtige Rolle beim Erhalt der Biodiversität in Städten spielen. Um diesen positiven Effekt zu verstärken, sollten möglichst über die gesamte Vegetationsperiode Blühaspekte vorhanden sein, die sich gegenseitig ablösen. So gibt es ein konstantes Nahrungsangebot über die gesamte Vegetationsperiode hinweg. Werden die Stauden über den Winter nicht zurückgeschnitten, können sie auch Versteckmöglichkeiten oder Überwinterungsplätze für Insekten und Kleintiere bieten.

2.5.5.3 Flora

Es werden Pflanzen benötigt, die periodische Trockenheit, aber auch Starkregenniederschläge vertragen und winterhart sind. Somit sind mediterrane Arten weniger geeignet, da sie u.a. zu einer Sommerruhe, also einer Blühpause im Hochsommer neigen, welche für Insekten nicht förderlich ist. Auch Pflanzen, die aus sommerfeuchten Klimaten stammen, sind nicht geeignet, da sie ohne Bewässerung nicht überleben würden.

Großes Potenzial bieten hingegen Präriestauden aus Nordamerika oder Asien sowie Savannenvegetation, denn ihr Blühhöhepunkt liegt im Gegensatz zur europäischen Vegetation im Sommer (Hofmann, 2019).

Beispiele für solche Arten sind die Prachtkerze (*Gaura lindheimeri*), Sonnenhut (*Echinacea paradoxa*) oder die Indianernessel (*Monarda*) und Ziergräser. Negativ könnte sich hier jedoch auswirken, dass es sich nicht um heimische Arten handelt und Insekten und andere Kleintiere möglicherweise nicht so gut an diese Arten angepasst sind. Zudem besteht das Risiko, dass sich gepflanzte, nicht heimische Arten als Neophyten ausbreiten und evtl. invasiv werden. Dieses Risiko zeigen etablierte bzw. bislang unbeständige neophytische Vorkommen z.B. von Kissenaster (*Aster*

dumosus), Kokardenblume (*Gaillardia aristata*) und Goldgarbe (*Achillea filipendulina*), die als Stauden häufig gepflanzt werden (Floraweb 2022). Allerdings können durch Staudenpflanzungen auch heimische Wildstauden gefördert werden wie z.B. der Steppensalbei (*Salvia nemorosa*) (s. Abb. 16). Dies gilt auch für gefährdete Arten wie z.B. das Silberährengras (*Achnatherum calamagrostis*), Kugellauch (*Allium sphaerocephalon*) und Berg-Aster (*Aster amellus*) (alle Gefährdungsgrad 3 in der Roten Liste Deutschland).



Abbildung 16: Steppensalbei auf Mulchschicht aus Kies
(NDR Garten, 2021)

2.5.5.4 Landschaftsbild

Staudenflächen mit mineralischem Mulch können eine deutliche Aufwertung des Landschaftsbilds bewirken. Während die Flächen in der ersten Zeit nach der Pflanzung durch die Dominanz des Gesteins noch etwas trist wirken können, entwickeln sie sich in den Folgejahren zu einer Blütenpracht, welche den Mineralmulch nahezu vollständig bedeckt (Bundesstadt Bonn, 2021).

Gerade in dicht bebauten Stadtteilen können solche Flächen eine Abwechslung zu den oft grauen Fassaden darstellen und somit ein angenehmes Stadtbild fördern (s. Abb. 17). Dabei fügen sich feinere Korngrößen meist besser in das Stadtbild ein als grobe Siebungen, welche oft optisch unruhig wirken (Hofmann, 2019).



Abbildung 17: Prärie-Wildstauden
(Hofmann, 2019)

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt ist auch, dass Hunde das Gestein meiden und die Grünflächen somit weniger mit Hundekot verschmutzt werden (MDR Garten, 2022).

Problematisch ist jedoch der Winteraspekt. Die Stauden ziehen im Winter ein und werden oft auch zurückgeschnitten, so dass der Gesteinsmulch je nach Gräseranteil stark sichtbar wird (s. Abb. 18). Dann können die Beete mit Mineralmulch durchaus wie Schottergärten wirken. Hierbei ist auch zu bedenken, dass die öffentlichen Grünflächen oft eine starke Vorbildfunktion für die Bürger und die Gestaltung der privaten Gärten haben.



Abbildung 18: Staudenpflanzungen auf Schotter im Winter

Literaturverzeichnis

Bundesstadt Bonn (2021). *Staudenbeete*. Von Bonn. Umwelt. Natur. Grüne Stadt:

<https://www.bonn.de/themen-entdecken/umwelt-natur/staudenbeete.php>

abgerufen am 09.06.2022

Floraweb (2022): *Daten und Informationen zu Wildpflanzen Deutschlands*. Von

<https://www.floraweb.de> abgerufen am 5.9.2022.

Hofmann, T. (2019). *Erfahrungen mit Staudenpflanzungen und Mulchstoffen - Wege*

aus der Trockenheit. Von [https://neuelandschaft.de/artikel/wege-aus-der-](https://neuelandschaft.de/artikel/wege-aus-der-trockenheit-12812.html)

[trockenheit-12812.html](https://neuelandschaft.de/artikel/wege-aus-der-trockenheit-12812.html) abgerufen am 09.06.2022

MDR Garten (2022). *Der richtige Mulch fürs Staudenbeet*. Von mdr.de:

[https://www.mdr.de/mdr-garten/pflegen/mulchmaterial-mulchen-rindenmulch-](https://www.mdr.de/mdr-garten/pflegen/mulchmaterial-mulchen-rindenmulch-schiefer-folie-kakaoschalen-100.html)

[schiefer-folie-kakaoschalen-100.html](https://www.mdr.de/mdr-garten/pflegen/mulchmaterial-mulchen-rindenmulch-schiefer-folie-kakaoschalen-100.html) abgerufen am 09.06.2022

NDR Garten (2021). *Präriegarten anlegen und pflegen*. Von ndr.de:

[https://www.ndr.de/ratgeber/garten/zierpflanzen/Praeriegarten-anlegen-und-](https://www.ndr.de/ratgeber/garten/zierpflanzen/Praeriegarten-anlegen-und-pflegen,praeriegarten104.html)

[pflegen,praeriegarten104.html](https://www.ndr.de/ratgeber/garten/zierpflanzen/Praeriegarten-anlegen-und-pflegen,praeriegarten104.html) abgerufen am 21.06.2022

3 Material und Methodik

Aaron Ahr, Marie Lauth, Carina Kruse und Jule Völlmecke

3.1 Untersuchungsflächen Ingelheim

In Ingelheim wurden am 11.05.2022 Messungen auf insgesamt neun unterschiedlichen Grünflächen durchgeführt. Die Flächen wurden mit Hilfe von Daniel Diehl, Projektmitarbeiter KlimPraxIng bei der Stadtverwaltung Ingelheim, ausgewählt. Es handelt sich um die Grünflächentypen Stauden auf Mineralmulch, Stauden auf Erde, Schotter, Rasen und Wiese. Eine Übersicht über die Flächen und deren Lage bietet Abbildung 19. An allen Standorten wurden von etwa 15:30 bis 16:45 Uhr sowohl das Mikroklima als auch die Biodiversität untersucht. Das Wetter war sehr warm und sonnig mit nur vereinzelt Wolken.



Abbildung 19: Untersuchungsflächen Ingelheim

An den Standorten „Wiese 3“, „Schotter 2“, „Stauden auf Erde 1“ und „Mineralmulch 3“ wurde mit Hilfe von Klimastationen gemessen. An den übrigen Standorten kamen Handmessgeräte zum Einsatz.



Abbildung 20: Mineralmulch 2
(Michael Bartz)



Abbildung 21: Mineralmulch 3
(Verena Öffner)

Für den Grünflächentyp (Stauden auf) Mineralmulch wurden zwei Standorte untersucht. An beiden Standorten ist, wie in den Abbildungen 20 und 21 zu sehen, die Fläche mit hellem Mineral und lückigem Pflanzenwuchs bedeckt.



Abbildung 22: Schotter 2 (Sven Schmitt)



Abbildung 23: Schotter 3 (Mari Kühlheim)

Bei der Betrachtung der Schotterstandorte hingegen gibt es unterschiedliche Ausgangssituationen. Bei Schotterfläche 2 handelt es sich um einen hellen Schotter (s. Abb. 22) und bei Schotterfläche 3 um einen dunklen Schotter (s. Abb. 23).



Abbildung 24: Wiese 2 (Michael Bartz)



Abbildung 25: Wiese 1 (Mari Kühlheim)



Abbildung 26: Wiese 3
(Susanne Ruhl)

Auch die untersuchten Rasen- und Wiesenstandorte sind durch verschiedene Gegebenheiten geprägt. Bei dem Standort Wiese 1 (s. Abb. 24) handelt es sich um einen Rasen, der durch niedrigwüchsiges, teilweises lückiges und artenarmes Gras mit vielen Gänseblümchen gekennzeichnet ist. Die Wiese 2 (s. Abb. 25) ist ebenfalls ein artenarmer, niedrigwüchsiger Rasen, allerdings ohne das Vorhandensein von Gänseblümchen. Der Standort Wiese 3 (s. Abb. 26) ist eine höherwüchsige Wiese.



Abbildung 28: Stauden auf Erde 1
(Vivian Faria Marques da Rocha)



Abbildung 27: Stauden auf Erde 2
(Vivian Faria Marques da Rocha)

Ebenfalls wurden zwei Standorte mit Stauden auf Erde untersucht. Dabei handelt es sich um Staudenpflanzungen ohne Mineral- oder sonstiger Mulchschicht. Bei dem Standort Stauden auf Erde 1 (s. Abb. 27) handelt es sich um eine Fläche mit dichtem, niedrigerem Bewuchs und bei dem Standort Stauden auf Erde 2 (s. Abb. 28) um eine lückige, höher bewachsene Fläche.

3.2 Untersuchungsflächen Budesheim

Die Messungen in Bingen-Budesheim wurden am 14. Mai 2022 von 13:10 Uhr bis 14:20 Uhr bei sehr warmer und sonniger Witterung auf vier verschiedenen Standorten, welche der Abbildung 29 zu entnehmen sind, durchgeführt. Ausgewählt wurden die Standorte mit Hilfe von B.Sc. Sven Schmitt, der im Rahmen seiner Masterarbeit eine Gesamtkartierung von Budesheim durchgeführt hat. Gemessen wurde jeweils mit Handmessgeräten und mit Klimastationen.

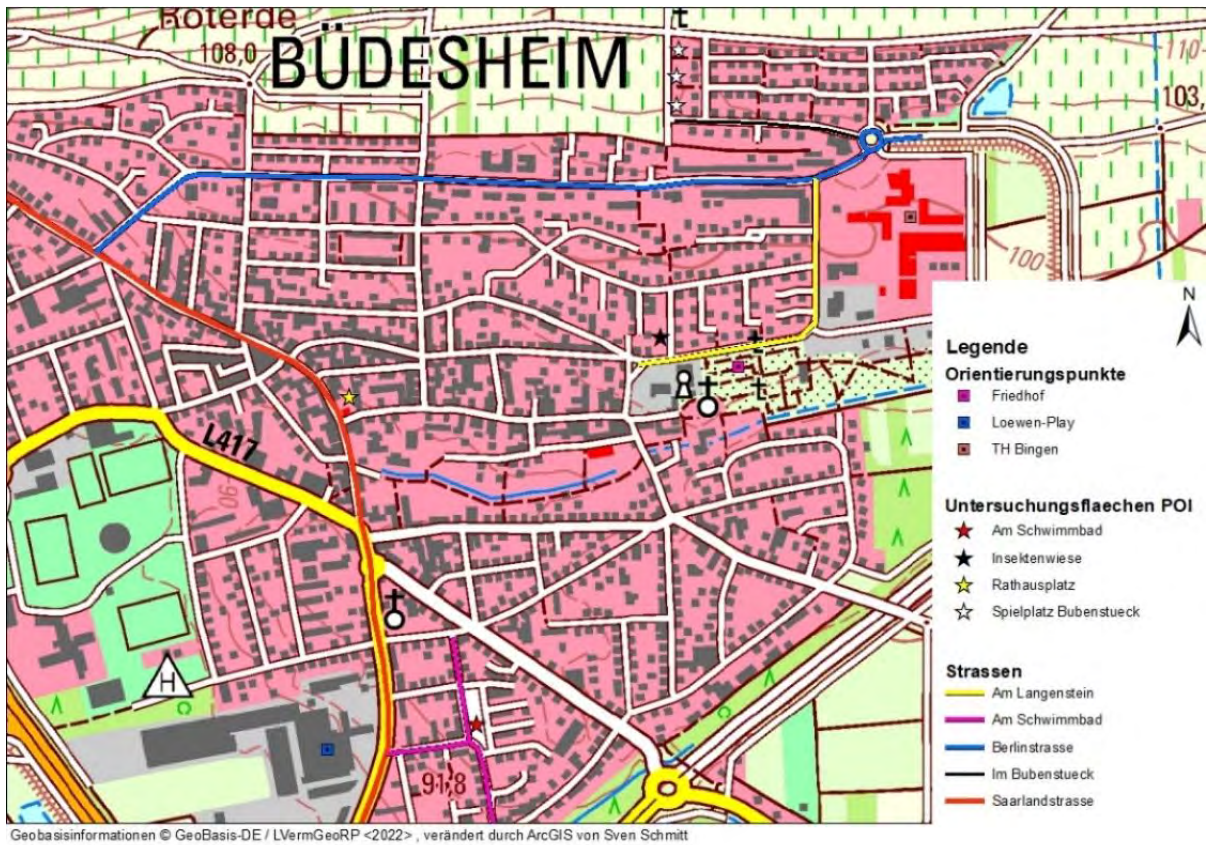


Abbildung 29: Untersuchungsflächen Budesheim

(Grafik von Sven Schmitt)

Am Schwimmbad werden auf einer Wiesenfläche mit höherwüchsiger, dichter Vegetation und einer hellen Schotterfläche sowohl das Mikroklima als auch die Biodiversität untersucht (s. Abb. 30 und 31).



Abbildung 30: Standort am Schwimmbad
(Marina Bernhard)



Abbildung 31: Messstation Am Schwimmbad
(Marina Bernhard)

Eine weitere Untersuchungsfläche war die Insektenwiese gegenüber dem Friedhof (s.



Abbildung 33: Messstation an der Insektenwiese
(Foto: Vincent Butscher)



Abbildung 32: Überblick Insektenwiese
(Foto: Vincent Butscher)

Abb.32 und 33). Dort wurde nur bereichsweise gemäht, so dass Mikroklima und Biodiversität im hohen Gras und auf einer gemähten Fläche gemessen werden konnten (s. Abb. 34).



Abbildung 34: Grasinselfläche und gemähte Fläche auf Insektenwiese
(Foto: Vincent Butscher)

Die Untersuchungen am Rathausplatz fanden auf einer hellen Schotterfläche und einer Fläche mit Stauden auf Erde in den Hochbeeten statt (s. Abb. 35 und 36). Letztere ist mit bereits verblühten Stiefmütterchen und Tulpen lückig bepflanzt. Die Biodiversität wird zusätzlich zu den beiden Grünflächentypen auch auf einem Gemüsehochbeet mit blühenden Pflanzen (Thymian, Boretsch und Schnittlauch) erfasst (s. Abb. 37).



Abbildung 35: Messstation am Rathausplatz
(Andriana Rizos)

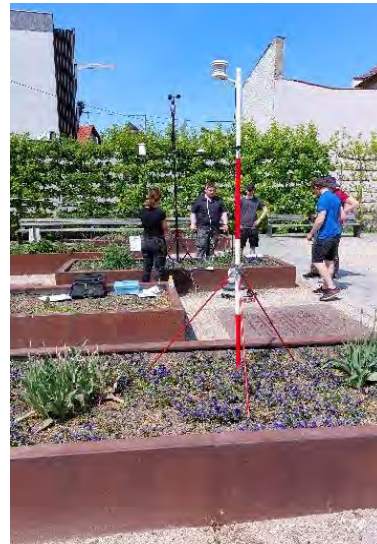


Abbildung 36: Messungen am Rathausplatz
(Marina Bernhard)

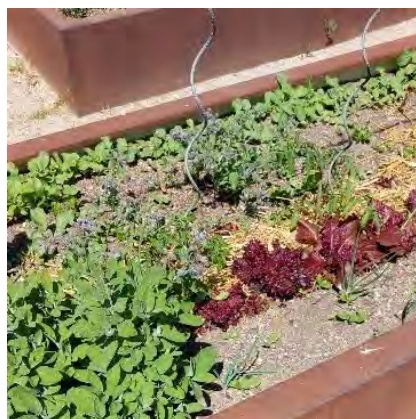


Abbildung 37: Gemüsebeet am Rathausplatz (Marina Bernhard)

Auf dem Spielplatz Bubenstück wurden die Mikroklimamessungen auf dem Rasen (s. Abb. 38 und 40) und dem hellen Schotterweg (s. Abb. 39) durchgeführt. Die Biodiversität wird auf dem Rasen, auf Rindenmulch (s. Abb. 41) sowie auf einer hochwüchsigen Grasböschung (Wiese) (s. Abb. 42) untersucht.



Abbildung 38: Rasen am
Spielplatz
(Jule Völlmecke)



Abbildung 39: Schotterweg am
Spielplatz
(Jule Völlmecke)



Abbildung 40: Messstation am
Spielplatz
(Jule Völlmecke)



Abbildung 42: Rindenmulch am
Spielplatz
(Carina Kruse)



Abbildung 41: Wiese (Grasböschung) am Spielplatz
(Carina Kruse)

3.3 Geräte

Für die Untersuchung der Grünflächentypen wurden verschiedene meteorologische Variablen untersucht. Hierzu zählen die Messung der Windgeschwindigkeit, der Lufttemperatur in zwei Metern Höhe, der Oberflächentemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit sowie die Messung der vom Gesamtsystem absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung. Dafür werden die in Tabelle 1 aufgelisteten Geräte verwendet.

Tabelle 1: *Verwendete Geräte*

	Gerät	Hersteller	Variable (Einheit)
Handmessgeräte	Hitzedraht-Anemometer	TROTEC TA300	Windgeschwindigkeit (m/s)
	Luxmeter	Testo 545	Lichtstärke (Lux)
	HOBO-Messeinrichtung	MX2302A	Lufttemperatur (°C)
			Relative Feuchte (%)
Wärmebildkamera	FLIR	Oberflächentemperatur (°C)	
Mobile Klimastation	Schalenstern-Anemometer	Theodor Friedrichs	Windgeschwindigkeit (m/s)
	Pyranometer	Kipp & Zonen CMP6	Strahlungsintensität (W/m ²)
	Temperatur-/ Feuchtemessfühler	Theodor Friedrichs	Lufttemperatur (°C), Relative Feuchte (%)

Die mobilen Klimastationen auf den in Kap. 3.1 und 3.2 beschriebenen Standorten nehmen während des Versuchs fortlaufend mit einem Mittelungsintervall von einer Minute Daten auf. Um ergänzende Messungen an weiteren Standorten durchführen zu können, wird zusätzlich mittels Handmessgeräten gemessen. In Ingelheim wird dafür zunächst vier Mal alle 10 Minuten an einem Standort gemessen. Danach werden die Messungen für einen anderen Standort durchgeführt, da pro Messdurchgang nur die Hälfte der Standorte betrachtet wird. In Büdesheim werden die Messungen pro Fläche abwechselnd durchgeführt. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Messbedingungen der Handmessungen für die Orte Ingelheim und Büdesheim.

Um die reflektierte und vom Gesamtsystem (Vegetation und Boden) absorbierte Energie zu erfassen, wurden mit dem Luxmeter die einfallende und die reflektierte Lichtstärke gemessen.

Zur Messung der Windgeschwindigkeit wird ein Hitzedraht-Anemometer verwendet. Dies wird in zwei Metern Höhe in den Wind gehalten und misst über die Temperaturdifferenz zwischen Lufttemperatur und einem beheizten Draht die Windgeschwindigkeit.

Mit Hilfe eines Thermo-Hygrometers werden die Lufttemperatur sowie die Luftfeuchte erfasst. Dazu werden Stative mit den Messeinrichtungen aufgestellt. Die Messungen finden parallel auf den Untersuchungsflächen statt, um die Ergebnisse besser vergleichen zu können. Zur Bedienung der Messeinrichtungen und um die Daten auszulesen, wird die App HOBOnnect® verwendet.

Mit Hilfe der Wärmebildkamera werden von jedem Grünflächentyp einmalig Thermalbilder erstellt. Dabei wird immer, unabhängig vom Untergrund, mit dem angenommenen Emissionsgrad von 0,95 gemessen. Nächtliche Wärmemessungen werden ausschließlich in Büdesheim auf Rindenmulch, Sand, Schotter (hell), Stauden auf Erde sowie niedriger Vegetation (Rasen) und hoher Vegetation (Wiese) durchgeführt. Die Messungen sind in der Nacht vom 15.05.22 zwischen 3:08 Uhr und 3:36 Uhr erfolgt.

3.4 Auswertung Mikroklima

3.4.1 Grünflächentypen und Korrekturfaktoren

Um die Daten der Mikroklimamessungen auswerten zu können, werden die Messwerte der mobilen Klimastationen den Grünflächentypen zugeordnet, auf denen sie sich befanden. In Ingelheim handelt es sich um die Grünflächentypen (vgl. Abb. 19):

- „Stauden auf Mineralmulch“ (Mineralmulch 2 und 3)
- „Schotter (dunkel)“ (Schotter 3)
- „Schotter (hell)“ (Schotter 2)
- „Stauden auf Erde“ (Stauden auf Erde 1 und 2)
- „niedrige Wiese“ (niedrige Rasen-Vegetation auf Wiese 1 und 2), in der Gesamtbewertung als Rasen bezeichnet
- „hohe Wiese“ (hohe Vegetation auf Wiese 3), in der Gesamtbewertung als Wiese bezeichnet

In Büdesheim wurden die Grünflächentypen (vgl. Abb. 29) zu Gruppen mit zu erwartenden ähnlichen Auswirkungen auf die mikroklimatischen Bedingungen zusammengefasst:

- „niedrige Vegetation“ (Beete mit Stauden auf Erde am Rathausplatz, Rasenflächen), in der Gesamtbewertung als Rasen bezeichnet
- „höhere Vegetation“ (Insektenwiese und höherwüchsige Wiesen am Schwimmbad und Spielplatz), in der Gesamtbewertung als Wiese bezeichnet

- „Schotterflächen“ (nur helle Schotterflächen)
- „lückige Vegetation“ (sehr lückige Vegetationsflächen am Schwimmbad und am Rathaus) (nur Thermalbilder am Tag)
- Sand und Rindenmulch (nur Thermalbilder nachts)

Damit die systematischen Abweichungen der einzelnen Geräte das Ergebnis nicht verzerren und die Werte vergleichbar sind, wird eine „Cross-Calibration“ durchgeführt. Es werden Korrekturfaktoren ermittelt, mit denen im ersten Schritt die Messwerte korrigiert werden. Die Werte eines Gerätes oder einer Messstation müssen korrigiert werden, wenn die Abweichung der Messwerte größer ist als die in den Datenblättern der Geräte angegebene Messgenauigkeit des Gerätes (s. Tab. 2). Die ermittelten Korrekturfaktoren sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 2: Messgenauigkeiten der Geräte

Gerät	Variable	Messgenauigkeit	Quelle
Wärmebildkamera	Oberflächentemperatur	$\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $\pm 2 \%$ des Ablesewertes	FLIR Systems, 2010
Hitzedraht-Anemometer	Windgeschwindigkeit	$\pm 5 \%$ + eine Stelle	Trotec GmbH, n.d.
Luxmeter	Lichtstärke	$\pm 5 \%$	Testo GmbH & Co., 1999
HOBO-Messeinrichtung	Temperatur	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$	Onset Computer Corporation, 2022
	Relative Feuchte	$\pm 2,5 \%$ (bei 10-90 %)	
	Relative Feuchte	$\pm 3,5 \%$ (bei <10 % und >90 %)	
Klimastation: Schalenstern-Anemometer	Windgeschwindigkeit	$\pm 0,3 \text{ m/s}$	Theodor Friedrichs & Co., n.d.
	Windgeschwindigkeit	$\pm 2 \%$ (bei $v > 15 \text{ m/s}$)	
Klimastation: Pyranometer	Strahlungsintensität	$\pm 5 \%$	Kipp & Zonen B.V., n.d.
Klimastation: Temperatur-/Feuchtemessfühler	Temperatur	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$	Theodor Friedrichs & Co., 2015
	Relative Feuchte	$\pm 1,5 \%$ (bei 10-90 %)	

Gerät	Variable	Messgenauigkeit	Quelle
	Relative Feuchte	± 2 % (bei <10 % und >90 %)	
Klimastation: Windfahne	Windrichtung	unbekannt	

Tabelle 3: Korrekturfaktoren

Gerät/Variable	Gerätenummer/Farbe	Korrekturfaktor
Luxmeter	Gerät 3	$y = 1,2455 \cdot x - 635,03$
Klimastation: Globalstrahlung	Grün	$y = 0,7878 \cdot x + 62,157$
	Rot	$y = 0,873 \cdot x + 61,563$
Klimastation: Temperatur	Grün	$y = 0,9158 \cdot x + 1,887$
Klimastation: Relative Feuchte	Gelb	$y = 0,8914 \cdot x + 7,0527$
	Grün	$y = 0,6617 \cdot x + 20,74$
	Rot	$y = 0,9407 \cdot x + 2,7755$

Die Daten der mobilen Klimastationen werden dann, wenn vorhanden, mit denen der Handmessungen gemittelt, sodass sich für jede Uhrzeit bei jedem Grünflächentyp ein Mittelwert ergibt.

3.4.2 Strahlung

Bei den Daten der Globalstrahlung kann kein Mittelwert aus den Handmessungen und den mobilen Klimastationen gebildet werden, da die Einheiten nicht ineinander umgerechnet werden können und die Daten somit nicht direkt vergleichbar sind. Daher werden bei der Auswertung ausschließlich die Daten der Handmessgeräte verwendet. Der Anteil der absorbierten Strahlung wird aus der einfallenden Strahlung (ES) und der reflektierten Strahlung (RS) berechnet. Diese ergibt sich aus Gleichung 1.

$$\text{Absorbierte Strahlung [\%]} = \frac{ES-RS}{ES} * 100 \% \quad (\text{Gleichung 1})$$

3.4.3 Thermalbilder

Da es bei den Messungen mit der Wärmebildkamera neben den drei oben bereits genannten Grünflächentyp-Gruppen in Büdesheim auch einige Messungen auf Flächen mit lückiger Vegetation gibt, werden diese einem separaten Typ, der „lückigen Vegetation“, zugeordnet (vgl. Kap. 3.4.1). Bei den Thermalbildern in Büdesheim werden alle Näherungswerte der Temperaturen gemittelt, die sich zu einzelnen Grünflächentyp-Gruppen zusammenfassen lassen. In Ingelheim hingegen wird pro Standort ein Mittelwert berechnet und dieser dann den Grünflächentypen zugeordnet.

3.4.4 Signifikanztests

Werden Unterschiede bei den Grünflächentypen gemessen, wird geprüft, ob diese Unterschiede signifikant sind. Für alle Grünflächentypen (in Büdesheim: Grünflächentyp-Gruppen) werden zunächst die Abweichungen der Mittelwerte berechnet und diese dann mit den Herstellerangaben zu den Messungenauigkeiten verglichen. Ist die Abweichung größer als die vom Hersteller angegebene Messgenauigkeit (s. Tab. 2) kann der Unterschied nicht auf das Gerät zurückgeführt werden, sondern es muss sich um einen tatsächlichen Unterschied handeln. Mit Hilfe von zweiseitigen T-Tests mit unterschiedlicher Varianz wird nun bei einem Signifikanzniveau von fünf Prozent geprüft, ob die Unterschiede signifikant sind. Dabei ist zu beachten, dass bei der Durchführung der T-Tests für die Temperatur, die relative Luftfeuchte und die Strahlung eine Normalverteilung angenommen wird.

Um eine Übergewichtung einzelner Standorte zu vermeiden, werden bei den Werten von Ingelheim für die T-Tests bei den Standorten, deren Grünflächentyp auch eine Referenzfläche mit Handmessungen hatte, die Messwerte der mobilen Klimastation zu dem Zeitpunkt, an dem auch die Handmessung stattgefunden hat, berücksichtigt. Bei Wiese 3 und Schotter 2 gibt es für den Grünflächentyp keine Referenzfläche, weshalb alle Klimastationsdaten einbezogen werden.

Da die Windgeschwindigkeit nicht normalverteilt ist und die verschiedenen Stichproben unabhängig voneinander sind, muss hier der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (kurz: U-Test) angewendet werden. Zunächst müssen die Messwerte in aufsteigender Reihenfolge geordnet und den Werten ihre Ränge zugeordnet werden. Anschließend werden die Rangsumme der ersten Stichprobe R_1 und die Rangsumme der zweiten Stichprobe R_2 berechnet. Mit Hilfe der Gleichungen 2 und 3 werden dann die U-Werte

der beiden Stichproben ermittelt. Dabei stellt n_1 den Stichprobenumfang der ersten Stichprobe und n_2 den Stichprobenumfang der zweiten Stichprobe dar.

$$U_1 = n_1 * n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad (\text{Gleichung 2})$$

$$U_2 = n_1 * n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2 \quad (\text{Gleichung 3})$$

Im nächsten Schritt wird U_{min} bestimmt, welcher dem kleineren der beiden U-Werte entspricht. Mit Hilfe der Gleichung 4 wird der z-Wert ermittelt. Dabei wird eine approximierete Normalverteilung angenommen. Daher ergeben sich μ und σ aus den Gleichungen 5 und 6 (DATAtab Team, 2022).

$$z = \frac{U_{min} - \mu}{\sigma} \quad (\text{Gleichung 4})$$

$$\mu = \frac{n_1 n_2}{2} \quad (\text{Gleichung 5})$$

$$\sigma = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad (\text{Gleichung 6})$$

Im Anschluss daran werden der kritische z-Wert (Microsoft, 2022) und der p-Wert (Exceljet, n.d.) berechnet. Ist der p-Wert kleiner als das Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$, so liegt ein signifikanter Unterschied vor.

Um die Vergleichbarkeit der Messdaten zu gewährleisten, wird der Stichprobenumfang für die Klimastationsdaten von Ingelheim auf die Zeiten, an denen auch die Handmessungen durchgeführt wurden, runtergebrochen. Bei den Grünflächentypen „Schotter (hell)“ und „hohe Wiese“ werden alle zehn Minuten-Werte von 15:35 Uhr bis 16:45 Uhr verwendet.

3.4.5 Darstellung der Ergebnisse

Zum Vergleich werden schließlich die Werte der einzelnen Grünflächentypen über den gesamten Messzeitraum für die Variablen Lufttemperatur, absorbierte Strahlung, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit gemittelt und in vier Säulendiagrammen mit Fehlerbalken abgebildet. Auch die Daten der Wärmebildkamera werden in Säulendiagrammen dargestellt.

Um abschließend alle Grünflächentypen in Ingelheim und in Budesheim vergleichen zu können, werden zunächst aus den Messwerten Mittelwerte zwischen Budesheim und Ingelheim gebildet. Bei den Grünflächentypen, die ausschließlich an einem der betrachteten Standorte vorkommen, wird der Mittelwert des Standortes übernommen. Danach wird eine Delta-Berechnung durchgeführt. Dafür wird als Referenzfläche die hohe Vegetation angenommen, bei der von optimalen Auswirkungen für das Mikroklima ausgegangen wird. Daraus ergeben sich für die anderen Grünflächentypen

Abweichungen, die aussagen, wie sehr sich die anderen Grünflächentypen von der hohen Vegetation unterscheiden.

3.5 Biodiversität

Die Messung der Biodiversität wird pro Fläche viermal im Untersuchungszeitraum durchgeführt, indem jeweils fünf Minuten eine circa vier Quadratmeter große Teilfläche untersucht wird. Dabei werden alle Arthropoden und andere Kleintiere, die auf der Fläche präsent sind, in ihrer Abundanz (Artengruppen und Individuenanzahlen pro Artengruppe) erfasst. Insbesondere Arthropoden sind meist wenig mobil und bilden häufig geschlossene Metapopulationen auf kleinen Flächen. Sie sind daher als Indikatoren für die Habitatqualität kleinräumiger Grünflächen besonders gut geeignet. Die Ergebnisse der Messungen werden im Anschluss für jeden Grünflächentypen aufsummiert. Wie bei der Betrachtung des Mikroklimas wird ein U-Test durchgeführt, um auch hier die Messergebnisse der verschiedenen Standorte auf signifikante Unterschiede zu prüfen.

Für Ingelheim werden die Messorte den Grünflächentypen wie in Tabelle 4 zugeordnet (entsprechend Kap. 3.4.1) Die Zuordnung der Grünflächentypen für die Bewertung der Biodiversität in Budesheim ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 4: Ingelheim Zuordnung: Grünflächentyp - Messort

Grünflächentyp	Messort
Schotter (hell)	Schotter 2
Schotter (dunkel)	Schotter 3
Niedrige Wiese (in der Gesamtbewertung als Rasen bezeichnet)	Wiese 1 und 2
Stauden auf Mineralmulch	Mineralmulch 2 und 3
Stauden auf Erde	Stauden auf Erde 1 und 2
Hohe Wiese	Wiese 3

Tabelle 5: Budesheim Zuordnung: Grünflächentyp - Messort

Grünflächentyp	Messort
Schotterflächen (hell)	Rathausplatz, am Schwimmbad, am Spielplatz Bubenstück

Niedrige Vegetation (in der Gesamtbewertung als Rasen bezeichnet)	Rasenfläche am Spielplatz Bubenstück, frisch gemähte Teilflächen der Insektenwiese
Rindenmulch	Am Spielplatz Bubenstück
Stauden auf Erde	Rathausplatz
Hohe Vegetation (in der Gesamtbewertung als Wiese bezeichnet)	Wiese am Schwimmbad, Grasböschung am Spielplatz Bubenstück, ungemähte Teilfläche der Insektenwiese

Die Ergebnisse der Biodiversitätsmessungen werden in Säulendiagrammen dargestellt. Diese geben jeweils Aufschluss über die Gesamtanzahl der erfassten Individuen sowie die Diversität der Artengruppen.

Zur vergleichenden Bewertung werden die Ergebnisse der Biodiversitätsmessungen von Büdesheim und Ingelheim für die Grünflächentypen am jeweiligen Standort gemittelt. Für die Grünflächentypen, die sowohl in Ingelheim als auch in Büdesheim vorkommen, wird ein Mittelwert aus den bereits berechneten Mittelwerten gebildet.

Abschließend wird, wie bei Auswertung des Mikroklimas, eine Delta-Berechnung mit der hohen Vegetation (Wiese) als Referenzfläche durchgeführt, da hier von optimalen Auswirkungen für die Biodiversität ausgegangen wird. Daraus ergeben sich für die anderen Grünflächentypen Abweichungen, die aussagen, wie sehr sich die anderen Grünflächentypen von der hohen Vegetation unterscheiden

Literaturverzeichnis

DATAtab Team (2022). Mann-Whitney U-Test. DATAtab: Online Statistics Calculator.

DATAtab e.U. Graz, Austria. URL <https://datatab.de/tutorial/mann-whitney-u-test>.

FLIR Systems (2010). FLIR b50.

Exceljet (n.d.). Excel NORM.S.DIST Function. URL <https://exceljet.net/excel-functions/excel-norm.s.dist-function>.

Kipp & Zonen B.V. (n.d.). Pyranometer. Zur genauen Messung der Solarstrahlung.

Microsoft (2022). NORM.S.INV (Funktion).

URL <https://support.microsoft.com/de-de/office/norm-s-inv-funktion-d6d556b4-ab7f-49cd-b526-5a20918452b1>.

Onset Computer Corporation (2022). HOBO® MX2302A Data Logger. External Temperature/RH Sensor.

Testo GmbH & Co. (1999). testo 545. Luminous intensity measuring instrument.
Instruction manual.

Theodor Friedrichs & Co. (2015). Temperatur/Feuchte Messfühler in
Strahlungsschutzhütte.

Theodor Friedrichs & Co. (n.d.). Messwertgeber für Windgeschwindigkeit.

Trotec GmbH (n.d.). Bedienungsanleitung Hitzedraht-Anemometer TA300.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse Stadtklima Ingelheim

Andriana Rizos und Christopher Trumpp

Die Messergebnisse sowie Berechnungen und Signifikanztests zu diesem Kapitel sind dem Anhang 7.1 zu entnehmen. Für Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und adsorbierte Strahlung wurde der zweiseitige T-Test zu einem Signifikanzniveau von 5% verwendet. Für die Windgeschwindigkeit wurde der U-Test durchgeführt.

4.1.1 Thermalbilder

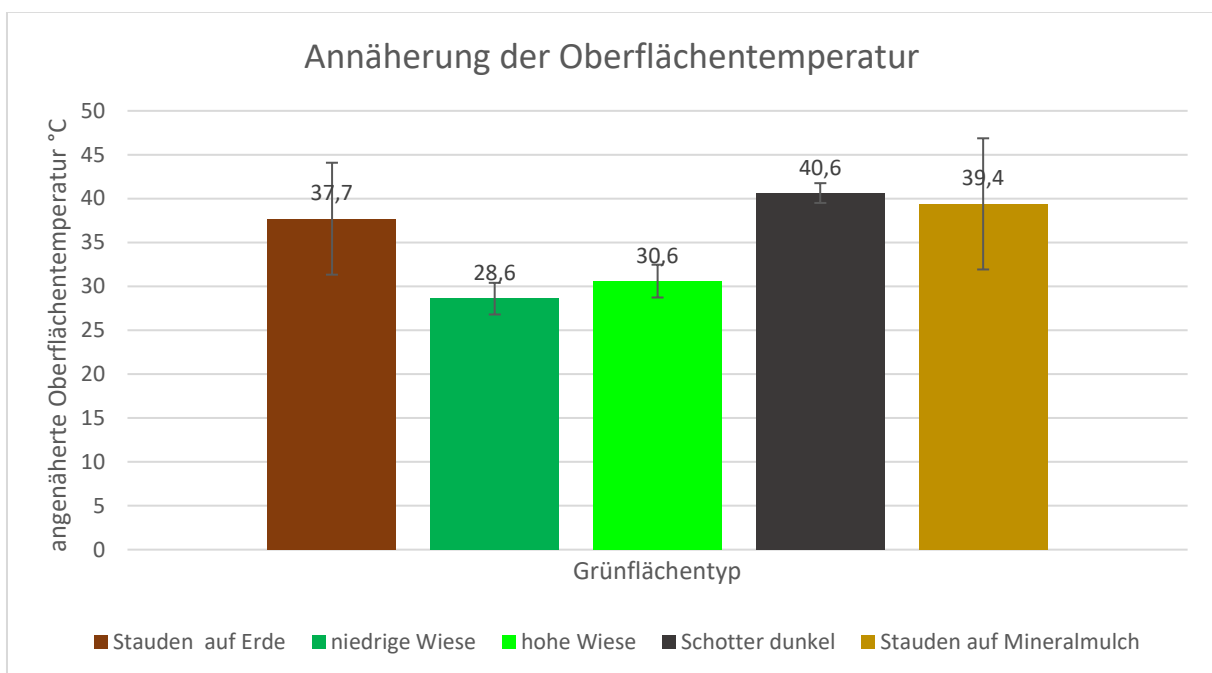


Abbildung 43: Näherungen der Oberflächentemperaturen der Grünflächentypen in Ingelheim gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim

In Abbildung 43 sind die Mittelwerte der Messungen mit der Thermalkamera für die verschiedenen Grünflächentypen dargestellt. Für den Standort Schotter 2 mit hellem Schotter wurden keine Werte erfasst. Bei der Oberflächentemperatur handelt es sich nur um Annäherungen, da der Emissionskoeffizient immer auf 0,95 eingestellt war.

4.1.2 Mittelwerte nach Grünflächentypen

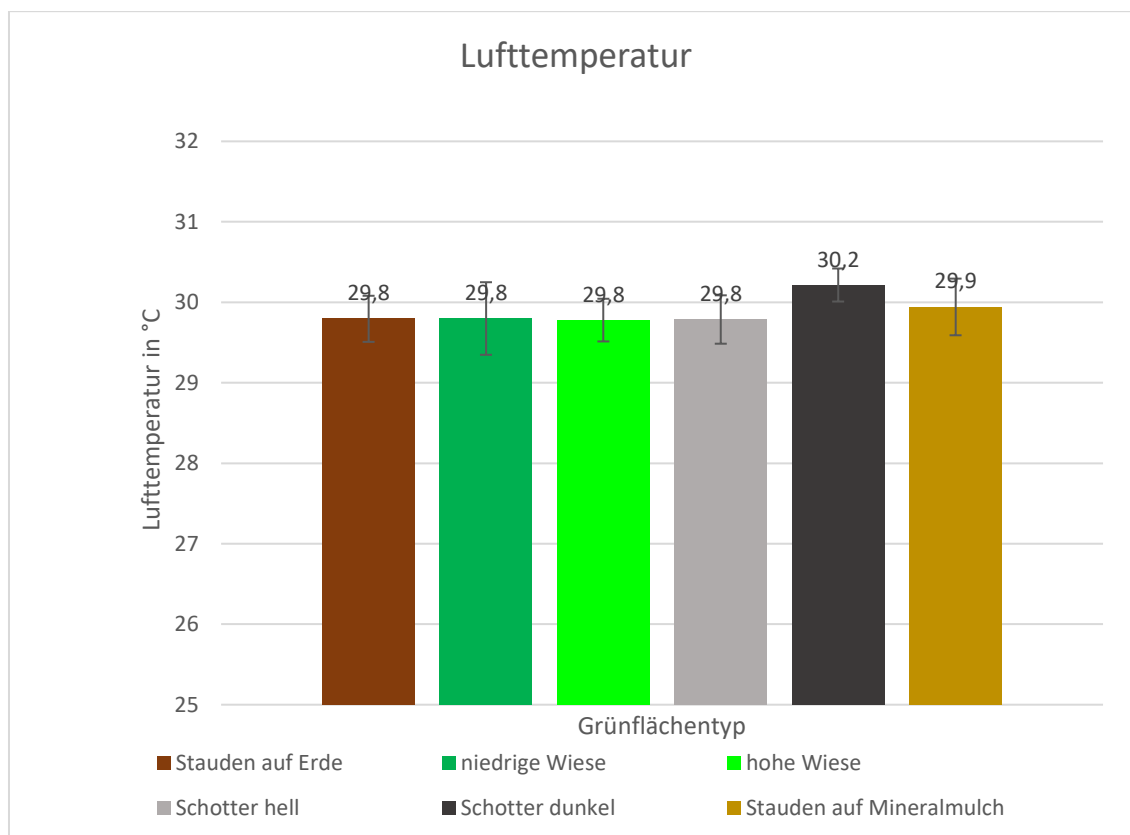


Abbildung 44: Lufttemperatur in 2m Höhe nach Grünflächentypen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim

Abbildung 44 zeigt die gemittelten Lufttemperaturen nach Grünflächentypen. Bei dem Grünflächentyp „Schotter dunkel“ wurde mit 30,2 °C die höchste Durchschnittstemperatur ermittelt. Die Temperaturunterschiede des dunklen Schotters zu den Grünflächentypen „niedrige Wiese“, „hohe Wiese“ und „Schotter hell“ sind als signifikant anzusehen.

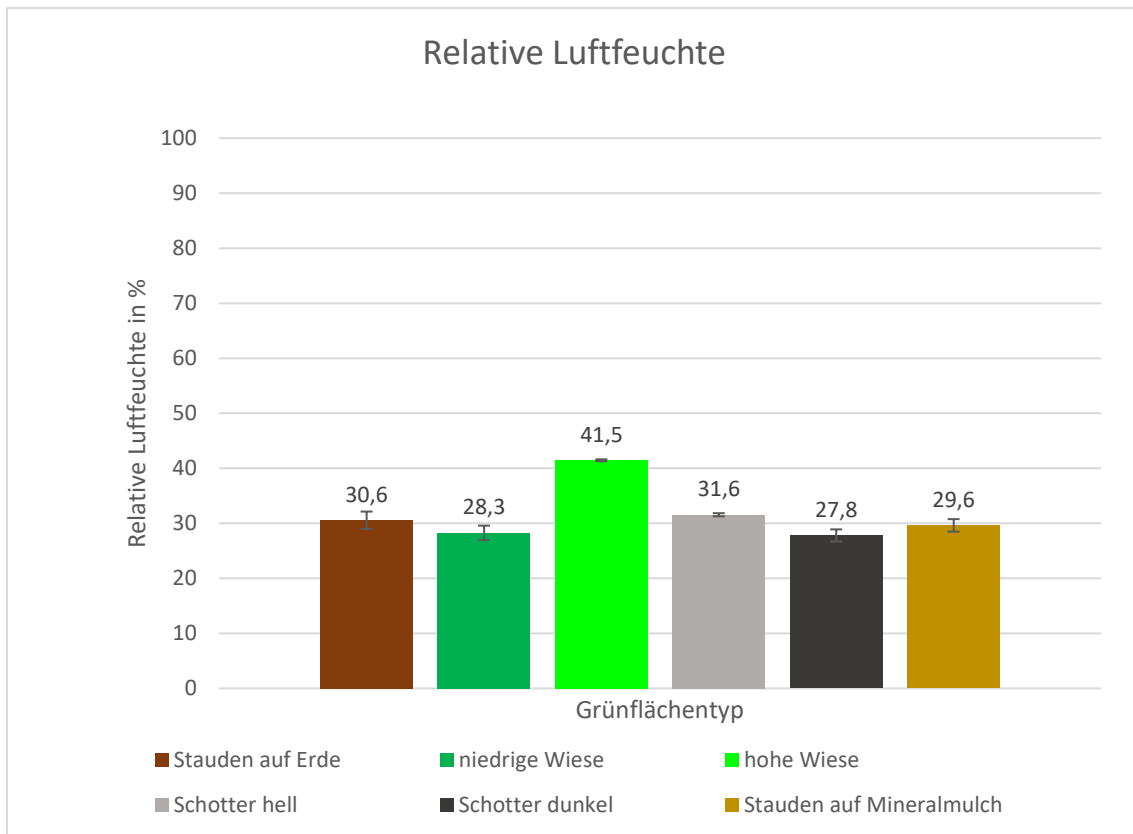


Abbildung 45: Relative Luftfeuchte in 2m Höhe nach Grünflächentypen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim

In Abbildung 45 wird die nach Grünflächentypen gemittelte relative Luftfeuchte dargestellt. Die hohe Wiese stellt mit einer relativen Luftfeuchte von 41,5 % den feuchtesten Standort dar. Sie unterscheidet sich signifikant von allen anderen Grünflächentypen. Weitere Signifikanzen liegen vor für den Vergleich von Schotter dunkel und Schotter hell sowie Schotter dunkel und Stauden auf Erde.

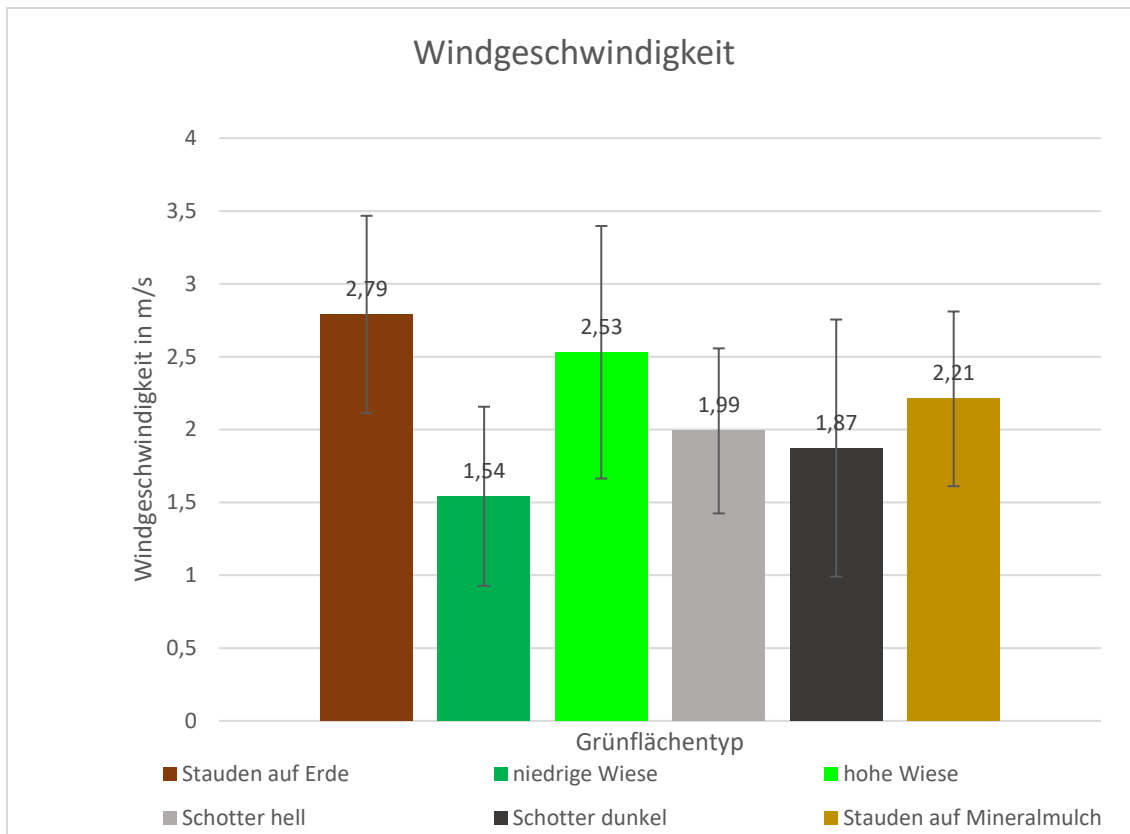


Abbildung 46: Windgeschwindigkeit in 2m Höhe nach Grünflächentypen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim

Die nach Grünflächentypen gemittelten Windgeschwindigkeiten sind in Abbildung 46 dargestellt. Die höchste Windgeschwindigkeit herrschte bei „Stauden auf Erde“ mit 2,79 m/s und die niedrigste bei „niedrige Wiese“ mit 1,54 m/s. Signifikante Unterschiede bestehen zwischen „Stauden auf Erde“ und „niedrige Wiese“, zwischen „Stauden auf Erde“ und „Schotter hell“, zwischen „hohe Wiese“ und „Stauden auf Mineralmulch“, zwischen „hohe Wiese“ und „Schotter hell“ sowie zwischen „hohe Wiese“ und „niedrige Wiese“.

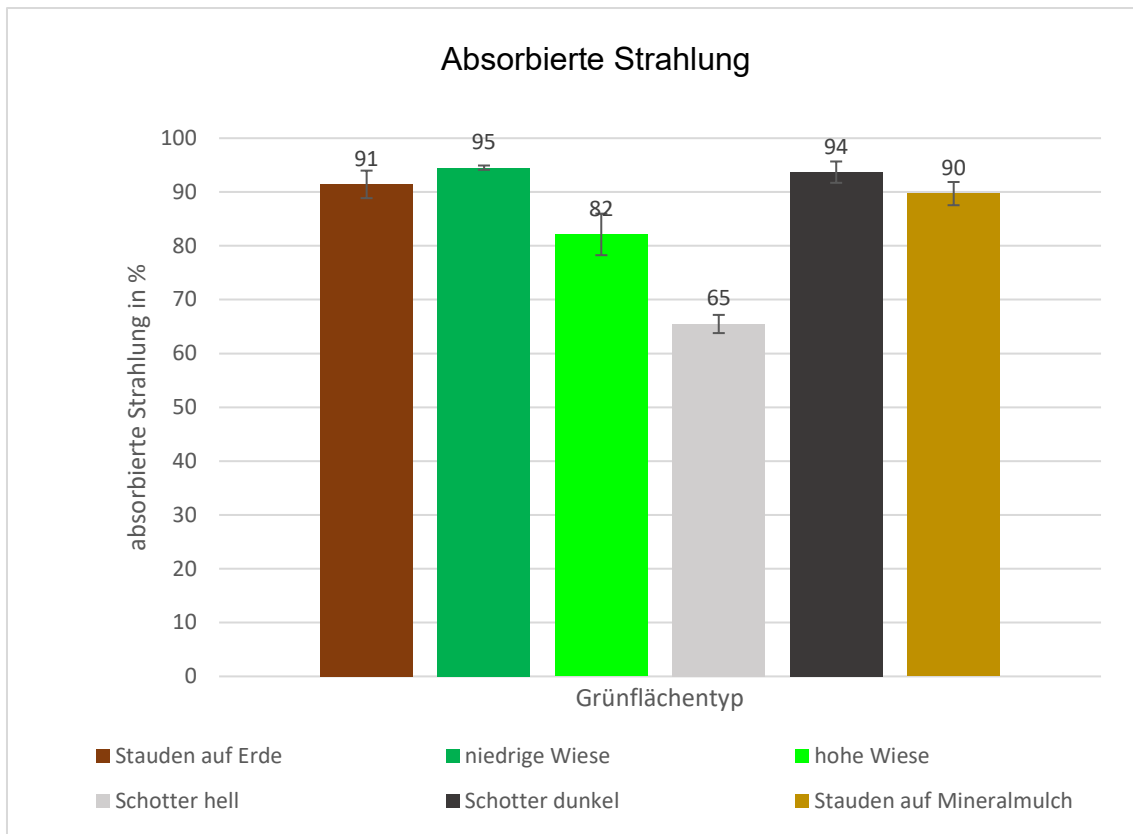


Abbildung 47: absorbierte Strahlung nach Grünflächentypen gemittelt; gemessen in ca. 1m bis 1,2m Höhe Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Ingelheim

Abbildung 47 stellt die durchschnittliche absorbierte Strahlung nach Grünflächentypen dar. Die meiste Strahlung wurde mit 95 % auf der niedrigen Wiese absorbiert, knapp weniger (94 %) wurde bei dunklem Schotter gemessen. Die geringste durchschnittlich absorbierte Strahlung des hellen Schotters (65 %) unterscheidet sich signifikant in allen Kombinationen zu den anderen Grünflächentypen. Außerdem weisen die Kombinationen hohe Wiese und niedrige Wiese sowie hohe Wiese und dunkler Schotter Signifikanzen auf.

4.1.3 Signifikante Abweichungen bei den Grünflächentypen

Tabelle 6: *Signifikante Abweichungen Mikroklima in Ingelheim*

Folgende Grünflächentypen unterscheiden sich bei folgenden Variablen signifikant (Signifikanzniveau von 5 %) und weichen im Mittel weiter voneinander ab, als es die Messunsicherheiten der Messgeräte erklären könnten.				
	Temperatur [°C] (T-Test)	Rel. Luftfeuchte [%] (T-Test)	Windgeschwindigkeit [m/s] (U-Test)	absorbierte Strahlung [%] (T-Test)
Stauden a. M. - Schotter dunkel				
Stauden a. M. - Stauden a. Erde				
Stauden a. M. - niedrige Wiese				
Stauden a. M. - höhere Wiese		WAHR		
Stauden a. M. - Schotter hell				WAHR
Schotter hell - Stauden a. Erde			WAHR	WAHR
Schotter hell - niedrige Wiese			WAHR	WAHR
Schotter hell - höhere Wiese		WAHR		WAHR
Schotter hell - Schotter dunkel	WAHR	WAHR		WAHR
Schotter dunkel - Stauden auf Erde	WAHR	WAHR		
Schotter dunkel - niedrige Wiese				
Schotter dunkel - höhere Wiese	WAHR	WAHR		WAHR
Stauden auf Erde - niedrige Wiese			WAHR	
Stauden auf Erde - höhere Wiese		WAHR		
niedrige Wiese - höhere Wiese		WAHR	WAHR	WAHR

In Tabelle 6 sind diejenigen Kombinationen bei den entsprechenden Klimavariablen mit „WAHR“ gekennzeichnet, bei denen durch die statistische Prüfung (Signifikanzniveau = 5 %) eine signifikante Abweichung festgestellt wurde und die Abweichung der Mittelwerte zueinander außerhalb der Messunsicherheiten der Geräte (nach Herstellerangabe, s. Tab. 2) liegt. Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und absorbierte Strahlung wurden mit dem T-Test geprüft, die Windgeschwindigkeit mit dem U-Test.

4.2 Ergebnisse Stadtklima Budesheim

Andriana Rizos und Christopher Trumpp

Die Messergebnisse sowie Berechnungen und Signifikanztests zu diesem Kapitel sind dem Anhang 7.2 zu entnehmen. Für Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und adsorbierte Strahlung wurde der zweiseitige T-Test zu einem Signifikanzniveau von 5 % verwendet. Für die Windgeschwindigkeit wurde der U-Test durchgeführt.

4.2.1 Thermalbilder

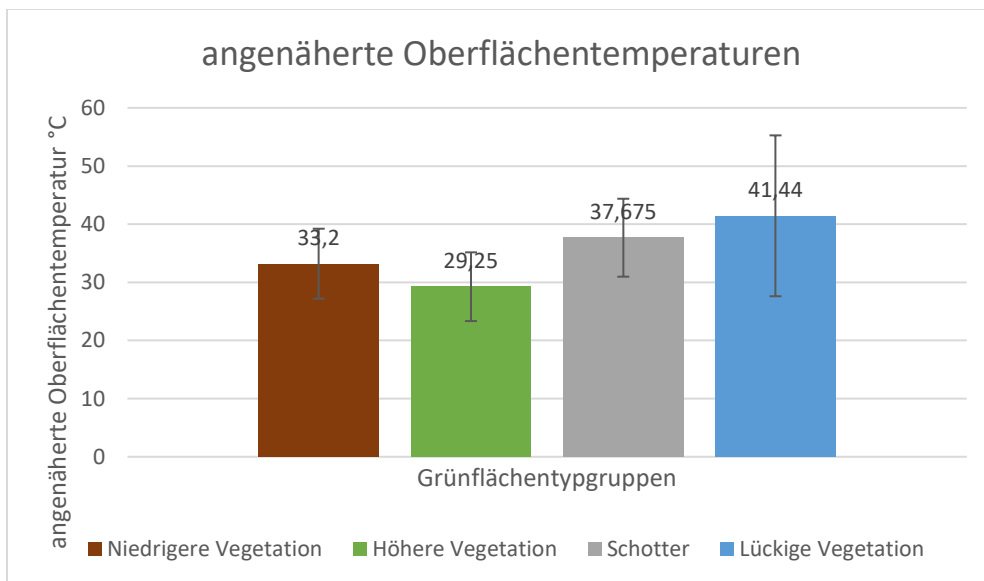


Abbildung 48: Näherungen der Oberflächentemperaturen der Grünflächentypgruppen; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim

In Abbildung 48 sind die Mittelwerte der Messungen mit der Thermalkamera für die verschiedenen Grünflächentypgruppen dargestellt. Es handelt sich nur um Näherungen, da der Emissionskoeffizient immer auf 0,95 eingestellt war.

4.2.2 Mittelwerte nach Grünflächentypen

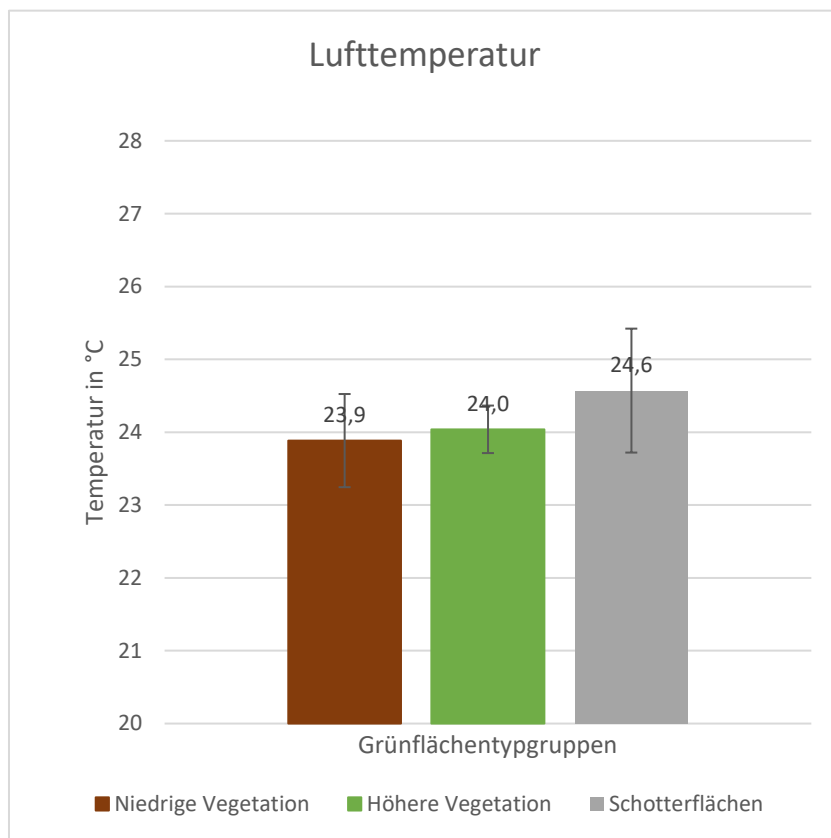


Abbildung 49: Lufttemperatur in 2m Höhe nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Büdesheim

Abbildung 49 stellt die gemittelten Lufttemperaturen nach Grünflächentypgruppen dar. Der höchste Wert liegt mit 24,6 °C bei den Schotterflächen vor, am kältesten war die niedrige Vegetation mit 23,9 °C. Zwischen diesen beiden Grünflächentypgruppen (Schotter und niedrige Vegetation) besteht ebenfalls ein signifikanter Unterschied.

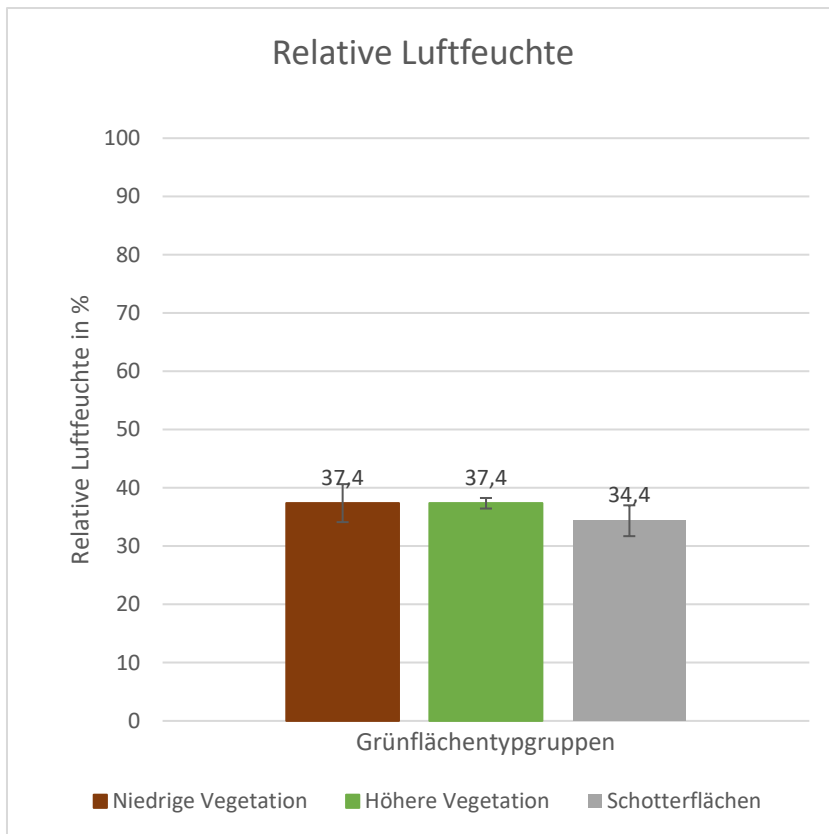


Abbildung 50: Relative Luftfeuchte in 2m Höhe nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Budesheim

In Abbildung 50 wird die auf den Grünflächentypgruppen durchschnittliche relative Luftfeuchte abgebildet. Diese war sowohl bei der niedrigen als auch bei der höheren Vegetation mit 37,4 % am höchsten und bei den Schotterflächen mit 34,4 % am niedrigsten. Der Unterschied von Schotter zu hoher Vegetation und zu niedriger Vegetation ist jeweils signifikant.

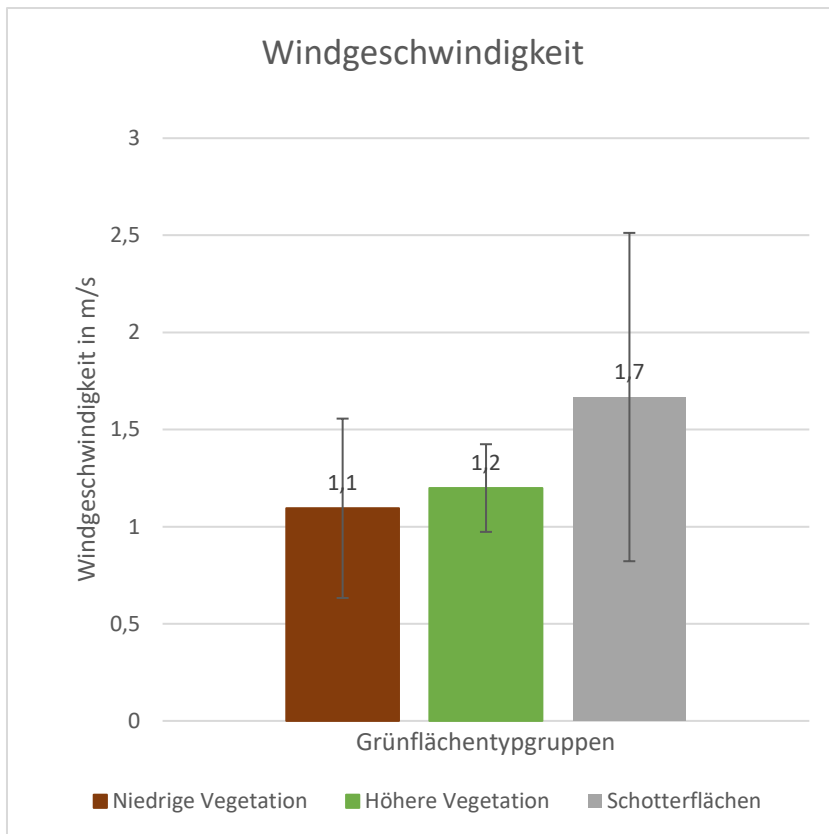


Abbildung 51: Windgeschwindigkeit in 2m Höhe nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Büdesheim

Abbildung 51 zeigt die nach Grünflächentypgruppen gemittelte Windgeschwindigkeit. Die höchste Windgeschwindigkeit wurde mit 1,7 m/s auf den Schotterflächen gemessen, am niedrigsten war diese bei der niedrigen Vegetation (1,1 m/s). Zwischen diesen beiden Grünflächentypgruppen bestand auch ein signifikanter Unterschied (s. Tab. 7).

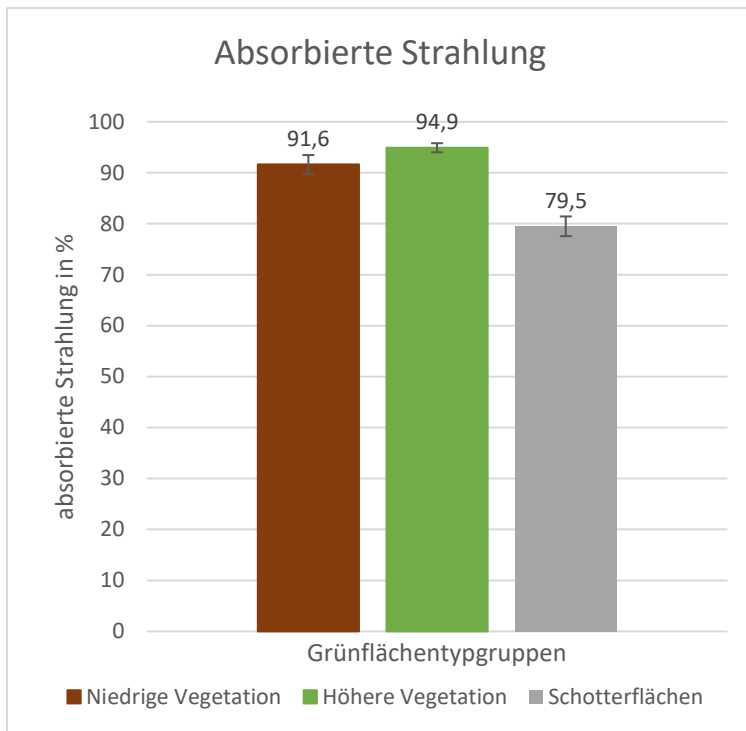


Abbildung 52: absorbierte Strahlung nach Grünflächentypgruppen gemittelt; Messung in ca. 1m bis 1,2m Höhe; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messort Büdesheim

Die Abbildung 52 stellt die auf den Grünflächentypgruppen mittlere absorbierte Strahlung dar. Die größte Absorption fand mit 94,9 % bei der höheren Vegetation statt und die niedrigste bei Schotterflächen mit 79,5 %. Die absorbierte Strahlung der Schotterflächen ist signifikant niedriger als die von niedriger und als die von höherer Vegetation.

4.2.3 Signifikante Abweichungen bei den Grünflächentypen

Tabelle 7: Signifikante Abweichungen Mikroklima in Büdesheim

Folgende Grünflächentypen unterscheiden sich bei den folgenden Variablen signifikant (Signifikanzniveau von 5 %) und weichen im Mittel weiter voneinander ab, als es die Messunsicherheiten der Messgeräte erklären könnten.				
	Temperatur [°C] (T-Test)	Rel. Luftfeuchte [%] (T-Test)	Windgeschwindigkeit [m/s] (U-Test)	absorbierte Strahlung [%] (T-Test)
Niedrige - höhere Vegetation				
Niedrige Vegetation - Schotter	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR
Höhere Vegetation - Schotter		WAHR		WAHR

In Tabelle 7 sind diejenigen Kombinationen bei den entsprechenden Klimavariablen mit „WAHR“ gekennzeichnet, bei denen durch die statistische Prüfung (Signifikanzniveau = 5 %) eine signifikante Abweichung festgestellt wurde und die Abweichung der Mittelwerte zueinander außerhalb der Messunsicherheiten der Geräte (nach Herstellerangabe) liegt. Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und absorbierte Strahlung wurden mit dem T-Test geprüft, die Windgeschwindigkeit mit dem U-Test.

4.2.4 Nächtlliche Wärmemessungen

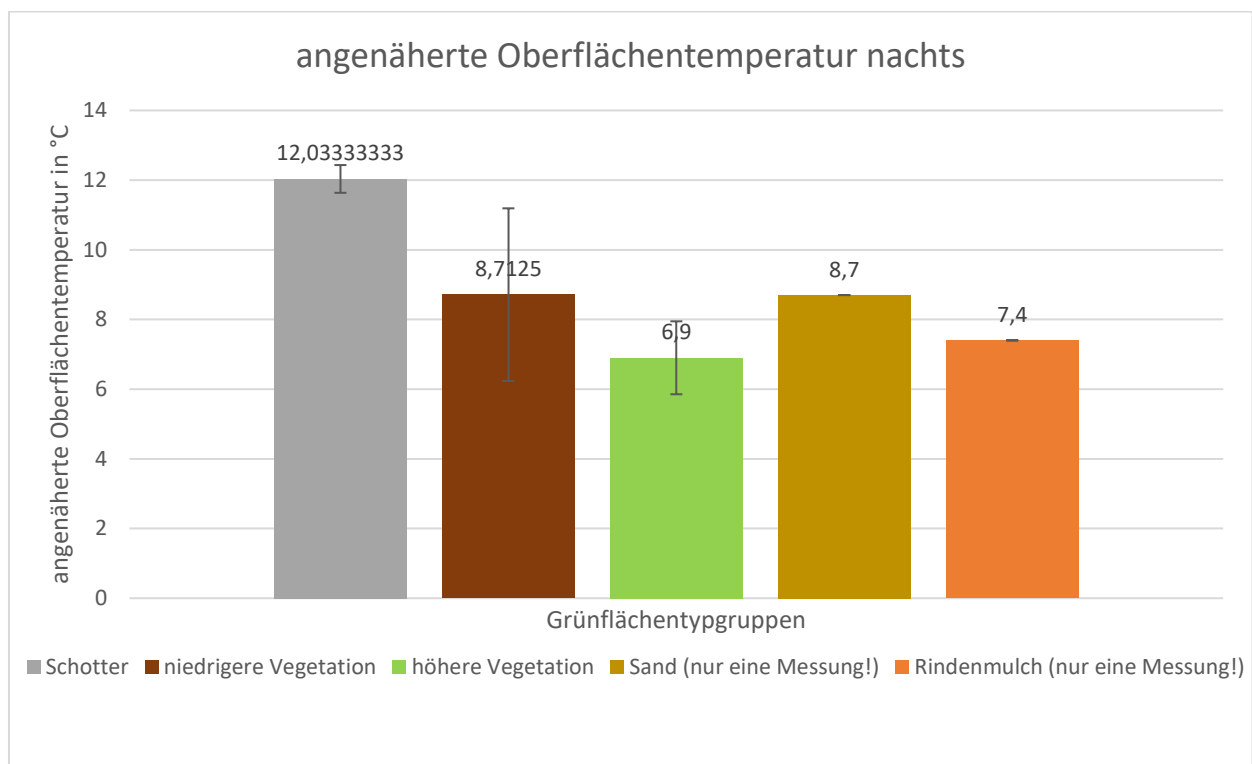


Abbildung 53: Näherungen der Oberflächentemperaturen gemittelt nach Grünflächentypen; Fehlerbalken zeigen Standardabweichung; Messzeitpunkt 15.05.22 zwischen 3:08 Uhr und 3:36 Uhr, Messort Budesheim

Abbildung 53 zeigt die nach Grünflächentypen gemittelten Oberflächentemperaturen. Die Messungen sind nachts zwischen 3:08 Uhr und 3:36 Uhr erfolgt und zeigen, wie stark die Wärme in den verschiedenen Grünflächentypen nachts gespeichert wird. Wie bei den anderen Messungen mit der Thermalkamera sind diese lediglich als Näherungen zu verstehen, da der Emissionskoeffizient bei allen Messungen auf 0,95 eingestellt war. Auf Schotter war die Oberflächentemperatur mit 12,0 °C am wärmsten, während sie bei „höhere Vegetation“ mit 6,9 °C den kältesten Wert erreichte.

4.3 Ergebnisse Biodiversität Ingelheim

Alissa Gehrig und Mari Külheim

Die einzelnen Messergebnisse finden sich in Anhang 7.3.

4.3.1 Grünflächentyp: Schotter (hell)

In Abbildung 54 wird der Grünflächentyp „Schotter (hell)“ beschrieben. Dies war der Messort „Schotter 2“. In oranger Farbe dargestellt ist die Individuenanzahl insgesamt und die Anzahl der beobachteten Artengruppen. Es wurden bei den Messungen insgesamt 8 Individuen in zwei verschiedenen Artengruppen erfasst. Wie anhand der blauen Balken zu erkennen, wurden innerhalb der vier Messungen Individuen der Artengruppen Ameisen und Fliegen erfasst.

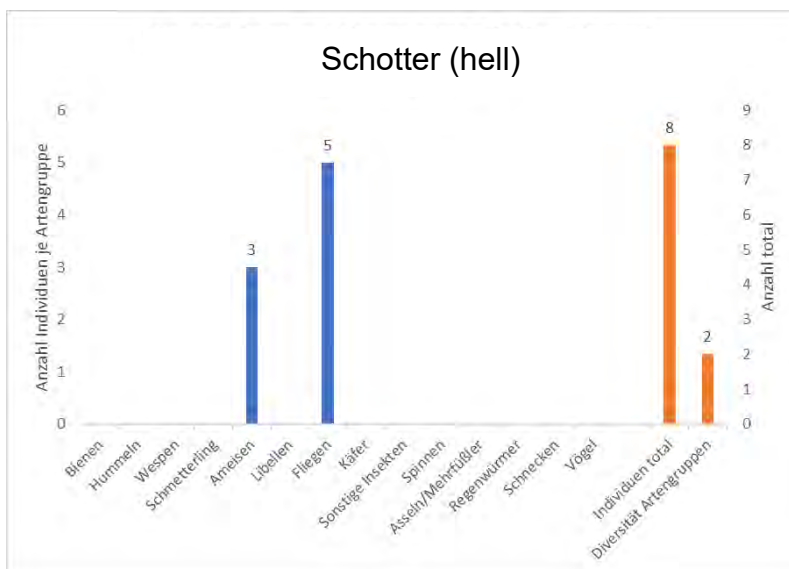


Abbildung 54: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Schotter (hell)" am Messort Schotter 2

4.3.2 Grünflächentyp: Schotter (dunkel)

In Abbildung 55 wird der Grünflächentyp „Schotter (dunkel)“ dargestellt. Dies war die Messort „Schotter 3“. In oranger Farbe dargestellt ist die Individuenanzahl insgesamt und die Anzahl der beobachteten Artengruppen. Es wurden bei den Messungen insgesamt 4 Individuen in zwei verschiedenen Artengruppen erfasst. Wie anhand der blauen Balken zu erkennen, wurden innerhalb der vier Messungen Individuen der Artengruppen Fliegen und sonstige Insekten erfasst.

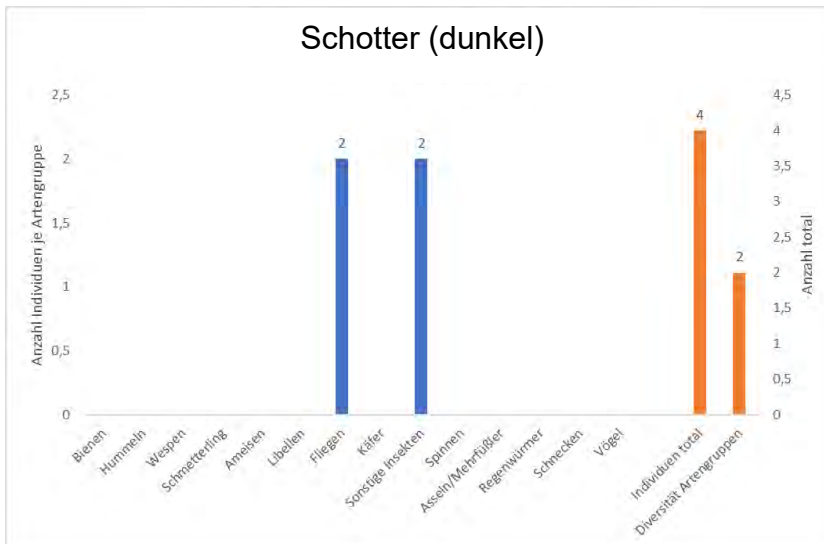


Abbildung 55: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Schotter (dunkel)" am Messort Schotter 3

4.3.3 Grünflächentyp: Niedrige Wiese

Der Grünflächentyp „Niedrige Wiese“ war an den Messorten „Wiese 1 und 2“ aufzufinden. Hier wurden bei den Messungen 55 Individuen und eine Diversität von 6 Artengruppen gezählt (s. Abb. 56). Diese setzen sich aus Bienen, Ameisen, Fliegen, Käfern, sonstigen Insekten und Vögeln zusammen. Während Ameisen, Fliegen und sonstige Insekten häufig vorkamen, wurden Bienen, Käfer und Vögel seltener gesichtet.

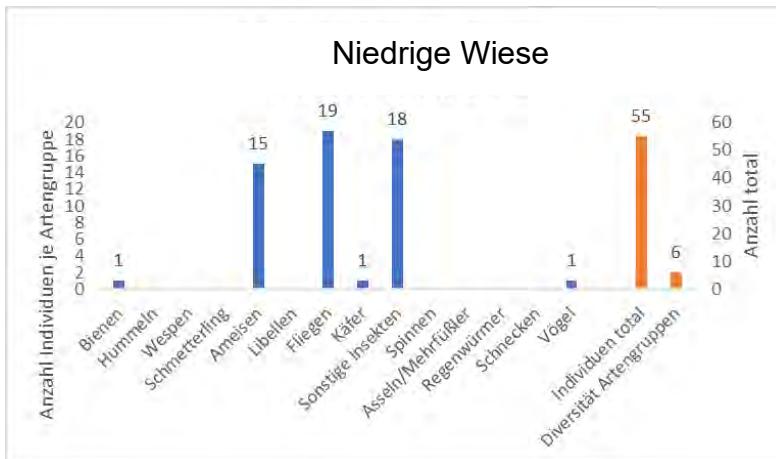


Abbildung 56: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Niedrige Wiese" an den Messorten Wiese 1 und 2

4.3.4 Grünflächentyp: Stauden auf Mineralmulch

In Abb. 57 wird der Grünflächentyp „Stauden auf Mineralmulch“ dargestellt. Dies waren die Messorte „Mineralmulch 2 und 3“. In oranger Farbe dargestellt ist die Individuenanzahl insgesamt und die Anzahl der beobachteten Artengruppen. Es wurden bei den Messungen insgesamt 136 Individuen in 8 verschiedenen Artengruppen erfasst. Wie anhand der blauen Balken zu erkennen, wurden innerhalb der vier Messungen Individuen der Artengruppen Bienen, Hummeln, Wespen, Ameisen, Fliegen, Käfer, Sonstige Insekten und Spinnen erfasst. Am häufigsten traten Fliegen auf. Seltener waren dagegen Spinnen, Hummeln und Wespen vertreten.

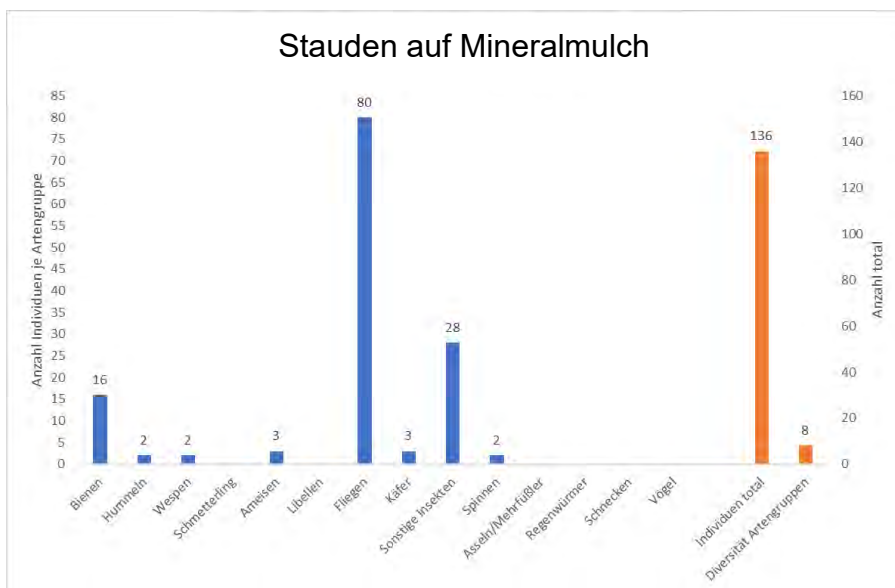


Abbildung 57: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Stauden auf Mineralmulch" an den Messorten Mineralmulch 2 und 3

4.3.5 Grünflächentyp: Stauden auf Erde

In Abb. 58 wird der Grünflächentyp „Stauden auf Erde“ an den Messorten „Stauden auf Erde 1 und 2“ dargestellt. Wie in oranger Farbe zu erkennen, konnten innerhalb der vier Messdurchläufe 82 Individuen gezählt werden. Diese unterteilen sich in 9 verschiedene Artengruppen. Die Artengruppen werden in der Grafik in blau dargestellt. An beiden Messstandorten wurden Bienen, Hummeln, Wespen, Ameisen, Libellen, Fliegen, Käfer, sonstige Insekten und Spinnen kartiert. Auffällig ist hierbei, dass vor allem Fliegen und Ameisen vorkamen.

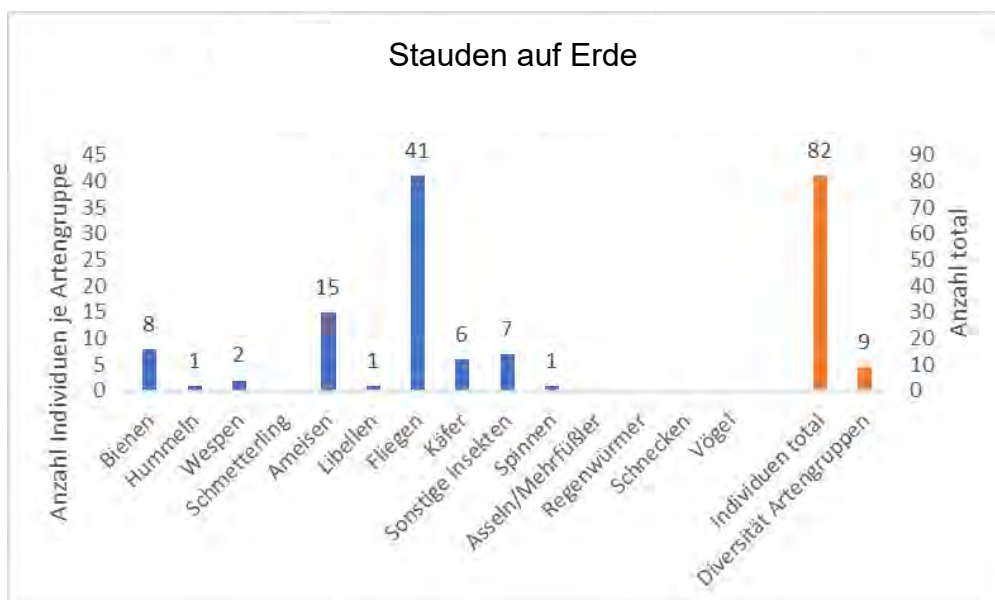


Abbildung 58: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Stauden auf Erde" an den Messorten Stauden auf Erde 1 und 2

4.3.6 Grünflächentyp: Hohe Wiese

In Abb. 59 wird der Grünflächentyp „Hohe Wiese“ am Messort Wiese 3 dargestellt. Es wurden insgesamt 102 Individuen festgestellt sowie eine Diversität von 10 Artengruppen. Es waren Bienen, Hummeln, Wespen, Ameisen, Fliegen, Käfer, sonstige Insekten, Spinnen und sogar Schnecken, Vögel, Motten und Eidechsen aufzufinden. Auf häufigsten traten die Schnecken und Bienen auf. Eidechsen waren dagegen selten zu entdecken.

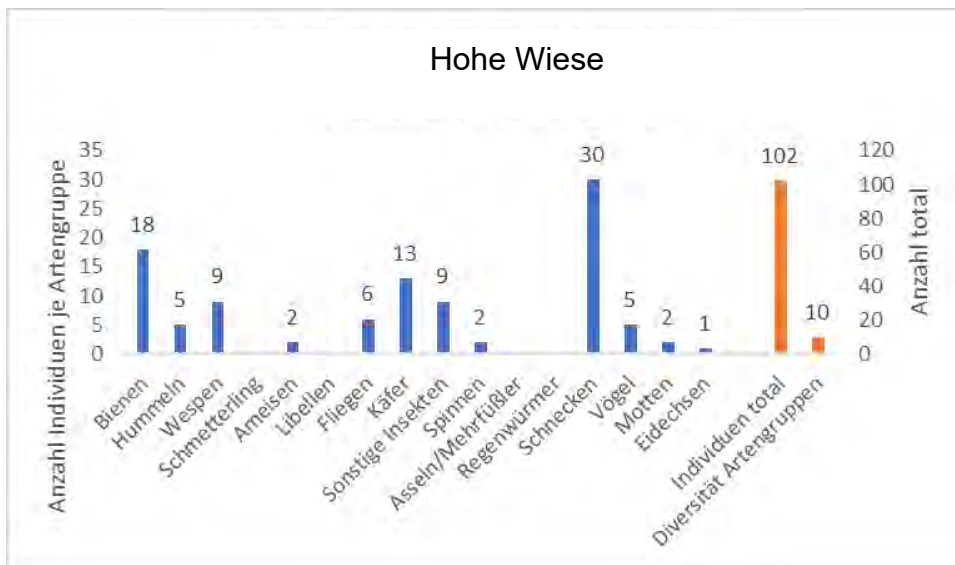


Abbildung 59: Biodiversität auf dem Grünflächentyp "Hohe Wiese" am Messort Wiese 3

4.3.7 Signifikante Abweichungen der Grünflächentypen

Tabelle 8: Signifikante Abweichungen Biodiversität in Ingelheim

Die Verteilungen sind signifikant unterschiedlich (Signifikanzniveau 5%), wenn hier "WAHR" steht	
Stauden auf Erde - Schotter hell	WAHR
Stauden auf Erde - Schotter dunkel	WAHR
Stauden auf Erde - Niedrige Vegetation	FALSCH
Stauden auf Erden - Hohe Vegetation	WAHR
Stauden auf Erde - Stauden auf Mineralmulch	FALSCH
Niedrige Vegetation - Schotter hell	FALSCH
Niedrige Vegetation - Schotter dunkel	FALSCH
Niedrige Vegetation - Hohe Vegetation	FALSCH
Niedrige Vegetation - Stauden auf Mineralmulch	FALSCH
Hohe Vegetation - Stauden auf Mineralmulch	FALSCH
Hohe Vegetation - Schotter hell	WAHR
Hohe Vegetation - Schotter dunkel	WAHR
Stauden auf Mineralmulch - Schotter hell	FALSCH
Stauden auf Mineralmulch - Schotter dunkel	FALSCH
Schotter hell - Schotter dunkel	FALSCH

In Tabelle 8 sind diejenigen Kombinationen der Grünflächentypen mit „WAHR“ gekennzeichnet, bei denen durch die statistische Prüfung mit dem U-Test (Signifikanzniveau = 5 %) eine signifikante Abweichung festgestellt wurde. Signifikante Unterschiede bestehen zwischen Stauden auf Erde und Schotterflächen, Stauden auf Erde und hoher Vegetation und zwischen hoher Vegetation und Schotterflächen.

4.4 Ergebnisse Biodiversität Budesheim

Simon Walter und Laura Wörner

Die einzelnen Messergebnisse finden sich in Anhang 7.4.

4.4.1 Schotterflächen (hell)

In Budesheim wurden an drei Standorten helle Schotterflächen auf das Vorkommen von Tierarten untersucht. Die Messorte lagen am Rathausplatz, am Schwimmbad und am Spielplatz im Bubenstück. Abbildung 60 zeigt die Ergebnisse der Biodiversitätsmessungen zusammenfassend für alle drei Standorte. Die blauen Balken stellen die Summe der während den vier Messdurchgänge gezählten Tiere je Artengruppe dar. Am häufigsten wurden Fliegen und Ameisen gefunden. Insgesamt wurden während der vier Messdurchgänge auf den drei Flächen 82 Individuen gezählt, die 6 verschiedenen Artengruppen zugehörten.

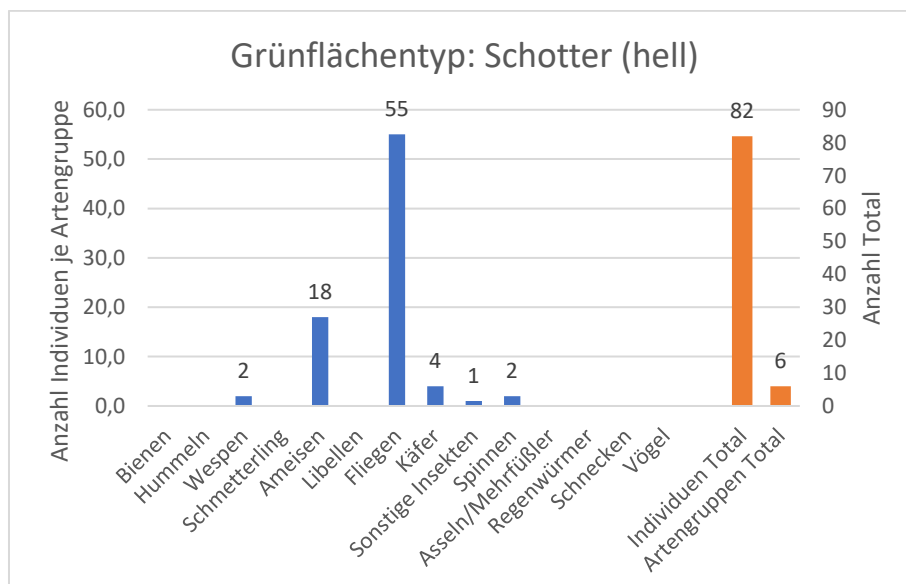


Abbildung 60: Biodiversität auf Schotterflächen in Budesheim

4.4.2 Niedrige Vegetation

Weiterhin wurden drei Rasenflächen auf ihre Biodiversität untersucht. Eine Fläche lag am Spielplatz im Bubenstück. Bei den anderen beiden handelte es sich um zwei frisch gemähte Insektenwiesen, von denen eine im Schatten lag und die andere besontet war. Am häufigsten wurden wieder Fliegen und Ameisen gezählt, gefolgt von sonstigen Insekten sowie Bienen (s. Abb. 61). Insgesamt ergibt sich bei 101 gefundenen Tieren aus 11 verschiedenen Artengruppen eine hohe Diversität.

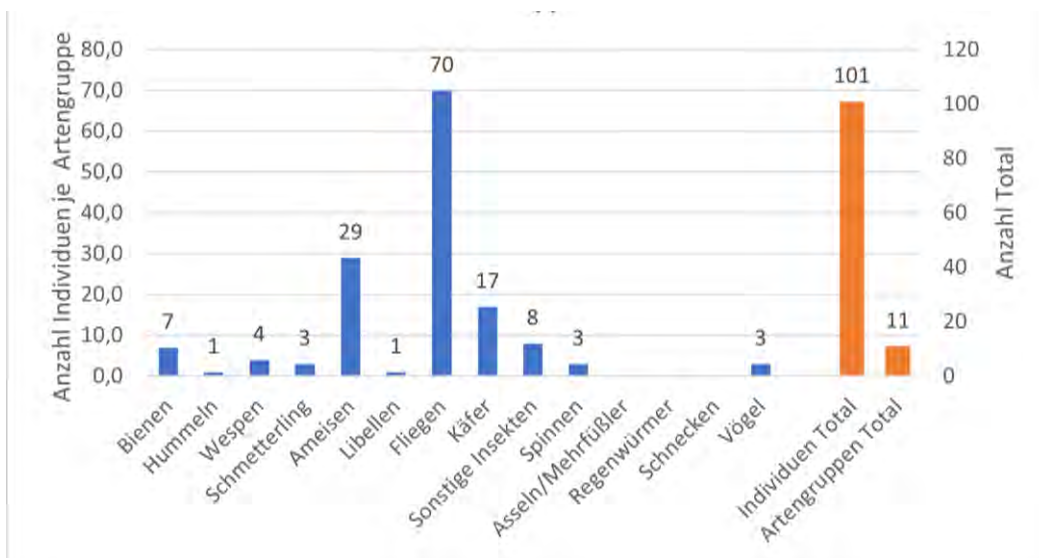


Abbildung 61: Biodiversität auf niedriger Vegetation in Budesheim

4.4.3 Rindenmulchfläche

Am Spielplatz im Bubenstück wurde eine Fläche mit Rindenmulch auf ihr Artenvorkommen untersucht. Hier konnten nur drei verschiedene Artengruppen gefunden werden (s. Abb. 62).

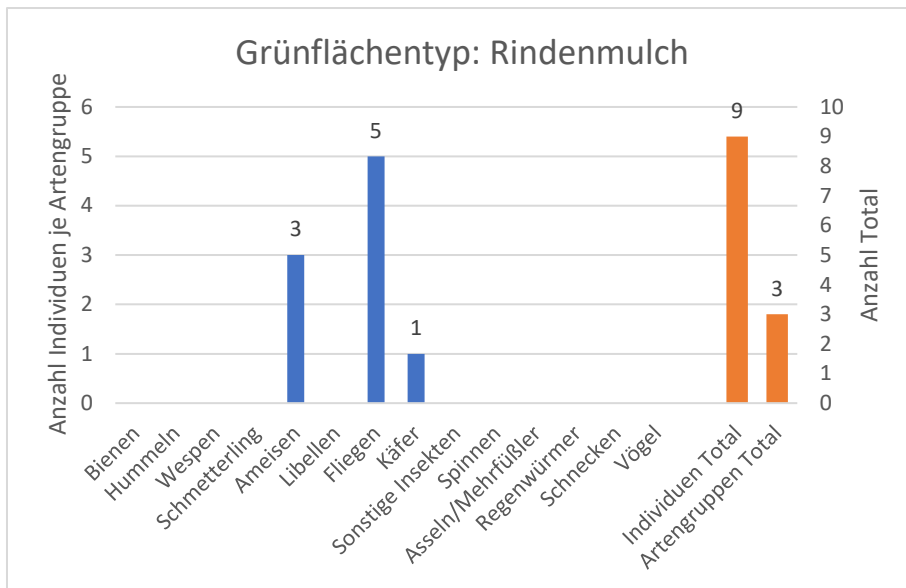


Abbildung 62: Darstellung der Biodiversitätsmessungen auf Rindenmulch in Büdesheim

4.4.4 Stauden auf Erde

Auf dem Rathausplatz in Büdesheim wurden Staudenpflanzungen auf Erde mit Stiefmütterchen und Tulpen angelegt. Bei den Messungen wurden neben Fliegen vereinzelt Bienen, eine Hummel und eine Spinne gefunden. Die hohe Individuenzahl der Artengruppe „sonstige Insekten“ ist zahlreichen Blattläusen geschuldet, die an den Tulpen saßen. Dementsprechend ergibt sich eine sehr hohe Individuenzahl, jedoch eine geringe Diversität der Arten (s. Abb. 63).

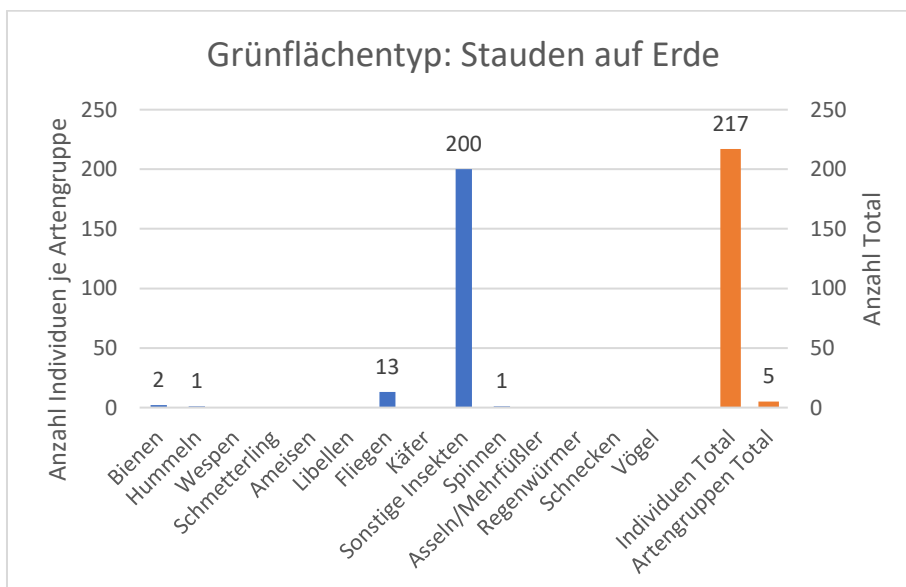


Abbildung 63: Darstellung der Biodiversitätsmessungen auf Stauden in Büdesheim

4.4.5 Hohe Vegetation

In Büdesheim wurden an vier Standorten hohe Vegetationsflächen auf die dort vorkommenden Artengruppen untersucht. Am häufigsten wurden Fliegen, Ameisen und sonstige Insekten gezählt (s. Abb. 64). Es kamen jedoch auch Artengruppen wie Bienen, Käfer, Hummeln und Schmetterlinge vor, die auf den anderen Flächen nicht so häufig vertreten waren. Hervorzuheben ist auch, dass auf der Insektenwiese am Friedhof Insekten in Larvenstadien gefunden wurden (gezählt zu „sonstige Insekten“), was zeigt, dass auf der Fläche auch Reproduktion stattfindet. Insgesamt wurden 234 Individuen aus 11 verschiedenen Artengruppen gezählt.

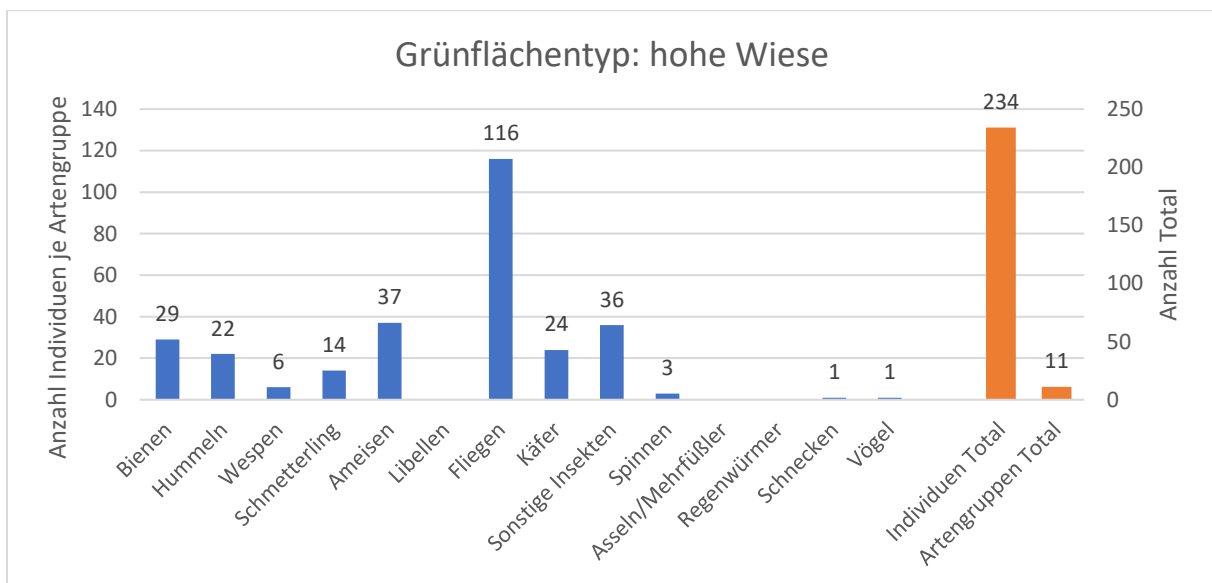


Abbildung 64: Darstellung der Biodiversitätsmessung auf vier hohen Insektenwiesen in Büdesheim

4.4.6 Signifikante Abweichungen bei den Grünflächentypen

Tabelle 9: *Signifikante Abweichungen Biodiversität in Budesheim*

Die Verteilungen sind signifikant unterschiedlich (Signifikanzniveau 5%), wenn hier "WAHR" steht		
Hohe Vegetation - Niedrige Vegetation		FALSCH
Hohe Vegetation - Rindenmulch		WAHR
Hohe Vegetation - Schotter hell		WAHR
Hohe Vegetation - Stauden auf Erde		WAHR
Schotter - Stauden auf Erde		FALSCH
Schotter - Niedrige Vegetation		FALSCH
Schotter - Rindenmulch		FALSCH
Stauden auf Erde - Niedrige Vegetation		WAHR
Stauden auf Erde - Rindenmulch		FALSCH
Niedrige Vegetation - Rindenmulch		WAHR

In Tabelle 9 sind diejenigen Kombinationen der Grünflächentypen mit „WAHR“ gekennzeichnet, bei denen durch die statistische Prüfung mit dem U-Test (Signifikanzniveau = 5 %) eine signifikante Abweichung festgestellt wurde. Signifikante Unterschiede bestehen zwischen hoher Vegetation und Rindenmulch, Schotter und Stauden auf Erde. Ebenfalls signifikant sind die Unterschiede zwischen Stauden auf Erde und niedriger Vegetation sowie Rindenmulch und niedriger Vegetation.

5 Diskussion und Gesamtbewertung

5.1 Vergleichende Bewertung der Grünflächentypen

Markus Arnold und Sven Gasiorek

5.1.1 Allgemeines

Die Untersuchungsflächen weisen nur eine geringe Größe auf und sind daher stark durch Randeffekte angrenzender Flächen und Strukturen (Straßenzüge, Gebäude, sonstige versiegelte Flächen) beeinflusst. Dennoch konnten teilweise sogar signifikante Unterschiede bei den Grünflächentypen gemessen werden. Es ist daher davon auszugehen, dass auch kleine Grünflächen das Stadtklima und die Biodiversität beeinflussen können.

Im Folgenden sollen die Auswirkungen der untersuchten Grünflächentypen diskutiert werden. Dabei werden zunächst die Messergebnisse der Handmessungen und mobilen Klimastationen zu den einzelnen mikroklimatischen Variablen (Luftfeuchte, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Strahlungsbilanz) und dann die Oberflächentemperaturen der Grünflächentypen beleuchtet. Im Anschluss folgt die Diskussion der Ergebnisse zur Biodiversität. Das Kapitel schließt mit einer vergleichenden Gesamtbewertung der Grünflächentypen.

5.1.2 Relative Luftfeuchte

Die Messungen der relativen Luftfeuchte in 2 m Höhe mit nur geringen Unterschieden zwischen den Standorten zeigen, dass die Betrachtungsräume kleinflächig sind. Daher konnten auf den Budesheimer Flächen nur geringe Differenzen zwischen den verschiedenen Messpunkten festgestellt werden. Es konnte aber nachgewiesen werden, dass Schotterflächen eine signifikant niedrigere Luftfeuchte aufweisen als niedrige und hohe Vegetation. Dies konnte auch bei den Untersuchungen in Ingelheim bestätigt werden. Hier wurde über der hohen Wiese die signifikant höchste Luftfeuchte im Vergleich zu den anderen Grünflächentypen gemessen. Besonders gering ist die Luftfeuchte über dunklen Schotterflächen, hier ist der Unterschied auch im Vergleich zu hellen Schotterflächen signifikant.

Diese Ergebnisse sind plausibel und zeigen, dass auf begrünten Flächen die Pflanzentranspiration die Luftfeuchte erhöht. Dennoch können die Messergebnisse auch durch die teilweise unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten, z.B. bedingt durch angrenzende Straßenzüge mit Windkanaleffekt, durch die Luftfeuchte abtransportiert wird, beeinflusst worden sein.

5.1.3 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur in 2 m Höhe ist in Büdesheim über den hellen Schotterflächen (hier wurden keine dunklen Schotterflächen gemessen) signifikant höher als über den Vegetationsflächen, auch wenn die Unterschiede mit insgesamt 0,7 °C im Mittel nur gering sind. Dies hängt mit der Kleinflächigkeit der Untersuchungsflächen zusammen. In Ingelheim sind die dunklen Schotterflächen signifikant wärmer als alle Vegetationsflächen und auch als die hellen Schotterflächen. Auch Stauden auf Mineralmulch sind wärmer als die anderen Vegetationsflächen (inklusive Stauden auf Erde) und interessanterweise auch wärmer als heller Schotter. Die Temperaturunterschiede sind allerdings auch hier wegen der Kleinflächigkeit der untersuchten Bereiche sehr gering.

5.1.4 Windgeschwindigkeit

Die Messungen zur Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe sind stark von den die Messflächen umgebenden Strukturen abhängig, z.B. Gebäuden und Straßen. Zudem wurden die Messungen immer im Abstand von 10 min durchgeführt, sodass kurzzeitige Winde vermutlich zu den stark schwankenden Messergebnissen geführt haben.

In Büdesheim war die Windgeschwindigkeit über den Schotterflächen am höchsten, während die Windgeschwindigkeit über den Schotterflächen in Ingelheim eher niedrig war. Wegen der starken Randeffekte, der Inkonsistenzen in den Messergebnissen und der Spannweite der Messdaten wird die Windgeschwindigkeit in der Gesamtbewertung nicht weiter betrachtet. Zudem ist davon auszugehen, da auf den untersuchten Grünflächentypen selbst keine höheren Strukturen wie z.B. Bäume mit Einfluss auf die Windgeschwindigkeit vorhanden sind, dass Auswirkungen der kleinflächigen Grünflächentypen auf die Windgeschwindigkeit insgesamt weitgehend fehlen.

5.1.5 Strahlungsbilanz

Die Strahlungsbilanz gibt die Differenz zwischen der einfallenden und reflektierten Strahlung wieder. Ist die Strahlungsbilanz gering, wird viel Strahlung reflektiert. Je mehr Strahlung absorbiert wird, desto stärker erwärmen sich die Flächen.

Sowohl in Ingelheim als auch in Büdesheim hat heller Schotter die signifikant niedrigste Strahlungsbilanz. Am meisten Strahlung wird dagegen bei dunklen Schotterflächen sowie bei niedriger Wiese (Ingelheim) bzw. höherer Vegetation (Büdesheim)

absorbiert. Dabei ist zu beachten, dass dies v.a. durch die Helligkeit und Färbung, also die Albedo der Grünflächentypen beeinflusst wird. Je heller die Färbung, desto mehr Strahlung wird reflektiert. Dies zeigt sich klar bei den hellen Schotterflächen im Vergleich zu dunklem Schotter. Bei begrünten Flächen variiert die Färbung. Bei Wiesen z.B. je nach Anteil an trockenen, braunen Altgrasbeständen, die heller gefärbt sind als frisches dunkelgrünes Gras. Auch je nachdem wie geschlossen die Vegetationsdecke ist oder ob dunkle Erde bei lückiger Vegetation sichtbar ist, variiert die Strahlungsbilanz. Dies erklärt zum einen den hohen Wert absorbierter Strahlung bei den niedrigen und teilweise lückigen, dunkle Erde zeigenden Wiesen in Ingelheim sowie den hohen Wert absorbierter Strahlung bei der höheren, eher dunkelgrün und noch nicht durch Altgrasbestände gekennzeichneten Vegetation in Büdesheim.

5.1.6 Oberflächentemperaturen

Mithilfe der Thermalkamera wurden die Oberflächentemperaturen auf allen Grünflächentypen tags sowie in Büdesheim auch nachts gemessen. Bei den gemessenen Werten handelt es sich um Annäherungen an die tatsächliche Oberflächentemperatur, da der Emissionskoeffizient bei der Kamera immer auf 0,95 eingestellt war. Unterschiedliche Materialien weisen jeweils unterschiedliche Emissionskoeffizienten auf. Da sich die untersuchten Flächen jedoch aus unterschiedlichen Materialien zusammensetzen und jeweils nur die Temperaturunterschiede zwischen den Grünflächentypen relevant sind, kann der Emissionskoeffizient vorliegend vernachlässigt werden.

Tagsüber wiesen dunkle Schotterflächen und Stauden auf Mineralmulch in Ingelheim die höchsten Oberflächentemperaturen auf, während Wiesen, aber auch Stauden auf Erde deutlich kühler waren. Die Thermalaufnahmen in Büdesheim zeigen, dass auch helle Schotterflächen deutlich wärmer sind als begrünte Flächen. Am wärmsten war dort allerdings lückige Vegetation, wobei es sich um Flächen handelt, bei denen die Vegetation nur wenig Boden bedeckt und der dunkle offene Boden viel Strahlung absorbieren und sich dadurch stark erwärmen kann.

Die nächtlichen Thermalaufnahmen in Büdesheim zeigen, dass Schotterflächen nicht nur tagsüber, sondern auch nachts mit Abstand die höchsten Oberflächentemperaturen aufweisen. Schotterflächen erwärmen sich also tagsüber stark und kühlen nachts nur langsam ab, sind also mikroklimatisch im Vergleich zu begrünten Flächen deutlich ungünstiger. Dabei hat die Helligkeit des Gesteins einen

großen Einfluss, aber auch die Korngröße. Je größer das verwendete Schottermaterial, desto langsamer kühlt es ab, wie der Vergleich mit der Thermalaufnahme einer Sandfläche in Büdesheim zeigt, die nachts mit 8,7 °C deutlich stärker abgekühlt war als der helle Schotter mit 12 °C. Auch Rindenmulch war nachts deutlich kühler als Sand oder Schotter. Dies sollte bei der Verwendung von mineralischem Mulch bei Staudenpflanzungen berücksichtigt werden.

Die geringsten nächtlichen Oberflächentemperaturen wiesen die Grünflächen mit höherer, geschlossener Vegetation auf, während niedrige Vegetation etwas höhere Oberflächentemperaturen zeigt.

Insgesamt zeigt sich, dass auch kleinflächige, begrünte Bereiche in den Siedlungen zur nächtlichen Abkühlung und Kaltluftproduktion beitragen, während Schotterflächen die urbanen Hitzeinseleffekte verstärken.

5.1.7 Biodiversität

Der Schwerpunkt der Biodiversitätsmessungen lag auf den Arthropodenuntersuchungen, da die dazugehörigen Artengruppen oft wenig mobil sind, geschlossene Populationen in kleinflächigen Lebensräumen bilden und daher besser als andere Tierartengruppen geeignet sind, die Habitatqualität von kleinen Grünflächentypen anzuzeigen. Zudem stehen die Arthropoden in der Nahrungskette unten, so dass viele Arthropoden die Flächen auch für andere Artengruppen z.B. der Vögel, Reptilien oder Säugetiere interessant machen.

Die Anzahl der gefundenen Artengruppen ist entscheidend für die Biodiversität. Daneben zeigt die Anzahl an Individuen und insbesondere die Gleichverteilung der Individuen auf die Artengruppen (Evenness) eine hohe Biodiversität an.

Die Ergebnisse zeigen große Unterschiede zwischen begrünten und unbegrünten Flächen. Die hohe Vegetation (Wiese) weist sowohl in Ingelheim als auch in Büdesheim die höchste Anzahl an Artengruppen und die höchste Evenness auf. Hier kommen auch die meisten ökologisch wertvollen Artengruppen der Bestäuberinsekten vor. Dazu zählen z.B. Bienen, Hummeln, Wespen und Schmetterlinge. Ein weiterer Hinweis für ein funktionierendes Ökosystem sind die unterschiedlichen Lebensstadien der vorkommenden Insekten. So konnten in Büdesheim bei der hohen Vegetation neben der Imago auch Tiere im Larvenstatus beobachtet werden. Das zeigt, dass nur hier die Habitatqualität Reproduktion ermöglicht. Die geringe Pflegeintensität der Wiesen wirkt sich klar positiv auf die Biodiversität aus.

Bei der niedrigen Vegetation in Ingelheim lässt sich ein Rückgang solcher ökologisch wertvoller Artengruppen erkennen. Der Einbruch dieser Zahlen rührt daher, dass durch die intensivere Mahd und Pflege dieser Rasenflächen Futterpflanzen, insbesondere Blüten für Bestäuberinsekten, fehlen und der Lebensraum insgesamt weniger strukturreich ist. Schwerpunktmäßig kommen hier noch Artengruppen wie Fliegen und Ameisen vor, die sehr anpassungsfähig sind und daher häufig in Siedlungen vorkommen. Bei der niedrigen Vegetation in Budesheim sind Anzahl der Artengruppen und Individuenzahlen deutlich höher, dies liegt aber nur daran, dass hier auch frisch gemähte Teilflächen der Insektenwiese mit betrachtet wurden, deren Biodiversität durch die insgesamt geringe Pflegeintensität auf der Fläche trotzdem noch hoch ist. Die Staudenpflanzungen sowohl auf Mineralmulch als auch auf Erde weisen ebenfalls eine hohe Biodiversität auf, jedoch deutlich geringer im Vergleich zu hoher Wiese. Dies kann mit der höheren Anzahl nicht heimischer Arten in Staudenpflanzungen zusammenhängen. Bei den untersuchten Staudenpflanzungen in Budesheim hängt dies sicherlich auch mit der besonderen Ausprägung (verblühte Stiefmütterchen und Tulpen, nur lückige Vegetation) zusammen.

Die Biodiversität ist auf Schotterflächen insgesamt am schlechtesten und signifikant geringer als bei Staudenpflanzungen und hoher Wiese. Wegen der fehlenden Begrünung sind die Flächen nur für extrem anpassungsfähige Artengruppen geeignet und überwiegend Fliegen und Ameisen treten hier auf. Helle Schotterflächen zeigen dabei tendenziell eine etwas höhere Biodiversität im Vergleich zu dunklen Schotterflächen, vermutlich weil die starken Aufheizungseffekte bei dunklem Schotter die Habitatqualität weiter verschlechtern. Die vereinzelt festgestellten Individuen sonstiger Artengruppen auf Schotter haben sich wahrscheinlich während der Messungen nur zufällig auf den Flächen aufgehalten, die Flächen z.B. gequert. Auch die Rindenmulchflächen haben bezüglich der Biodiversität schlecht abgeschnitten.

5.1.8 Gesamtbewertung Mikroklima und Biodiversität

Es wurden zuerst die Mittelwerte eines jeden Grünflächentyps berechnet. Da die mikroklimatischen Auswirkungen sowie die Biodiversität der hohen Vegetation / Wiese am besten abschneiden, wurde dieser Grünflächentyp als Referenzfläche festgelegt. Mithilfe von Delta-Berechnungen konnte dann anschaulich dargestellt werden, inwieweit die Messergebnisse der anderen Grünflächentypen von dieser Referenzfläche abweichen (vgl. Anhang 7.5). Für die Gesamtbewertung wurden nur

die Oberflächentemperaturen und die Biodiversität einbezogen, weil sich hier die größten Unterschiede zwischen den Grünflächentypen zeigen. Die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit sowie die absorbierte Strahlung wurden zwar wegen der relativ geringen Unterschiede nicht einbezogen, allerdings unterstützen auch hier die Ergebnisse die Gesamtbewertung.

Bei der Biodiversität der niedrigen Vegetation wurden nur die Werte aus Ingelheim berücksichtigt, da die Werte aus Budesheim auf den frisch gemähten Teilflächen der Insektenwiese nicht typisch für niedrige Vegetationsflächen (Rasen) sind.

Da für die Grünflächentypen Sand und Rindenmulch nur sehr wenige Messdaten vorliegen, wurden diese in die Gesamtbewertung ebenfalls nicht einbezogen.

Für die Gesamtbewertung wurden die gemittelten Messdaten zu Oberflächentemperaturen sowie zur Biodiversität in Kategorien eingeteilt (vgl. Tab. 10). Die Gesamtbewertung wurde zur besseren Übersichtlichkeit für die Grünflächentypen in Ampelfarben dargestellt.

Tabelle 10: Gesamtbewertung Mikroklima und Biodiversität

Grünflächentyp	Mikroklima		Biodiversität		Gesamtbewertung Mikroklima	Gesamtbewertung Biodiversität
	Oberflächentemperatur Tag (Mittelwert) (°C)	Oberflächentemperatur Nacht (Mittelwert) (°C)	Individuenzahl (Mittelwert)	Anzahl Artengruppen (Mittelwert)		
Wiese (Referenzfläche)	29,9	6,9	54,7	10,5		
	Δ-Oberflächen-temperatur Tag (°C)	Δ-Oberflächen-temperatur Nacht (°C)	Δ-Individuenzahl	Δ- Anzahl Artengruppen		
Rasen	+ 1,0	+ 1,8	- 23,5	- 4		
Schotter hell	+ 7,5	+ 5,1	- 37,1	- 6,5		
Schotter dunkel	+ 10,7	-	- 52,7	- 8,5		
Stauden auf Mineralmulch	+ 9,5	-	+ 13,2	- 2,5		
Stauden auf Erde	+ 7,8	+ 3,6	- 13,7	- 1,5		
Bewertungsschema:						
	Gut		Mittel		Schlecht	

Gesamtbewertung Mikroklima:

Gut: Oberflächentemperatur tags <30°C, nachts <8°C

Mittel: Oberflächentemperatur tags 30-39 °C, nachts 8-13 °C

Schlecht: Oberflächentemperatur tags >39 °C, nachts >13 °C

Gesamtbewertung Biodiversität:

Gut: >8 Artengruppen, Individuenzahl >40

Mittel: 6-8 Artengruppen, Individuenzahl 20-40

Schlecht: <6 Artengruppen, Individuenzahl <20

5.2 Empfehlungen, rechtliche Umsetzung, Beratung und Förderung

5.2.1 Handlungsempfehlungen

Thomas Ennenbach & Lars Dunkel

Im Folgenden werden positive und negative Auswirkungen der Grünflächentypen tabellarisch zusammengestellt und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Tabelle 11: *Handlungsempfehlungen*

Grünflächen- typ	Positiv	Negativ	Empfehlung
Wiese (Hohe Vegetation) (Referenzfläche)	<ul style="list-style-type: none"> - Höchste Biodiversität - Habitatqualität ermöglicht Reproduktion verschiedener Arten - Im Vergleich geringste Durchschnittstemperatur und daher kühlendes Mikroklima - Mehr Pflanzen- transpiration und daher höhere Luftfeuchte (Kozlowski, 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> - Kühlender Effekt auf umliegende Flächen bei kleinflächigen Wiesen gegeben, aber besser bei großen Wiesen - Je nach Helligkeit der Färbung (frisches dunkles Gras, hellere Altgrasbestände) variiert die absorbierte Strahlung und damit die Erwärmung der Wiesen - Flächen mit geringer Pflegeintensität werden teilweise als unsauber, unordentlich oder sogar verwahrlost wahrgenommen 	<ul style="list-style-type: none"> - Wiesen mit geringer Pflegeintensität (Mahd 1-2 x jährlich, alternierende Mahd) sind für das städtische Klima sowie für eine reiche Biodiversität die beste Wahl und sollten möglichst großflächig angelegt werden. - Altgrasbestände verringern wegen heller Färbung die Erwärmung, sind gut für die Biodiversität (z.B. überwintern manche Insekten in den hohlen Stängeln) und sollten daher zumindest randlich oder auf Teilflächen stehen bleiben. - Infotafeln zur Steigerung der Akzeptanz bei geringer Mahdhäufigkeit, alternierender Mahd oder Belassen von Altgrasstreifen

Grünflächen- typ	Positiv	Negativ	Empfehlung
Rasen (Niedrige Vegetation)	<ul style="list-style-type: none"> - Größere Belastbarkeit im Vergleich zu Wiesen - Mittlere Temperaturen ähnlich wie bei Wiesenflächen, aber nächtliche Oberflächentemperatur etwas höher 	<ul style="list-style-type: none"> - Häufige Pflege notwendig - Biodiversität ist durch regelmäßige Mahd im Vergleich zu Wiesen sehr deutlich eingeschränkt - Mahdroboter können Igel oder andere Kleintiere gefährden - Kühlender Effekt auf umliegende Flächen erfordert große Rasenflächen - Bei lückiger Vegetation deutlich höhere Temperaturen - Weniger Pflanzentranspiration und daher geringere Luftfeuchte als bei Wiesen - Sehr empfindlich gegenüber Sommertrockenheit bzw. fehlender Bewässerung 	<ul style="list-style-type: none"> - Rasenflächen sollten für das Mikroklima und die Biodiversität aufgewertet werden, indem nur bereichsweise Flächen regelmäßig gemäht werden, die eine hohe Belastbarkeit erfordern, z.B. als Liege- oder Sportrasen. Ansonsten sollten Altgrasstreifen und -inseln belassen werden oder zumindest sollte nur alternierend gemäht werden. - Blühinseln / -streifen fördern die Biodiversität - Zur Optimierung des Mikroklimas ist unbedingt auf eine geschlossene Vegetationsdecke zu achten.

Grünflächen- typ	Positiv	Negativ	Empfehlung
Stauden auf Erde	<ul style="list-style-type: none"> - Deutlich mehr Biodiversität als auf Rasenflächen - Biodiversität vergleichbar mit Stauden auf Mineralmulch (abhängig von Bewuchsdichte und Pflanzenarten) - Mittlere Temperaturen etwas kühler im Vergleich zu Stauden auf Mineralmulch - relative Luftfeuchte wegen ähnlichem Pflanzenaufwuchs vergleichbar mit Stauden auf Mineralmulch und höher als bei Rasen 	<ul style="list-style-type: none"> - Deutlich weniger Biodiversität im Vergleich zu Wiese - Deutlich wärmer als Wiese und Rasen - Deutlich weniger Luftfeuchte als Wiese - Für das Mikroklima wichtige geschlossene Vegetation erfordert intensivere Pflege im Vergleich zu Stauden auf Mineralmulch 	<ul style="list-style-type: none"> - Geschlossene Bepflanzung sorgt für mehr Transpiration und bedeckt gleichzeitig den dunklen Boden - Es sollten einheimische Staudenpflanzen integriert werden, die sich mit vermehrtem Anflug und der Besiedelung von verschiedenen Insektenarten bewährt haben (Kleinod et al., 2018) - Stauden auf Erde sind im Vergleich zu Stauden auf Mineralmulch mikroklimatisch günstiger

Grünflächen- typ	Positiv	Negativ	Empfehlung
Stauden auf Mineralmulch	<ul style="list-style-type: none"> - Deutlich mehr Biodiversität als bei Rasenflächen, vergleichbar mit der Biodiversität bei Stauden auf Erde (abhängig von Bewuchsdichte und Pflanzenarten) - Relative Luftfeuchte wegen ähnlichem Pflanzenaufwuchs vergleichbar mit Stauden auf Erde - Weniger pflegeintensiv im Vergleich zu Stauden auf Erde 	<ul style="list-style-type: none"> - Deutlich weniger Biodiversität im Vergleich zu Wiese - Mittlere Temperaturen etwas höher als bei Stauden auf Erde, deutlich wärmer als Wiese und Rasen - Deutlich weniger Luftfeuchte als Wiese - Geschlossene Vegetation erfordert intensive Pflege 	<ul style="list-style-type: none"> - Geschlossene Bepflanzung sorgt für mehr Transpiration und bedeckt gleichzeitig den dunklen Boden - Es sollten einheimische Staudenpflanzen integriert werden, die sich mit vermehrtem Anflug und der Besiedelung von verschiedenen Insektenarten bewährt haben (Kleinod et al., 2018) - Wegen des ungünstigeren Mikroklimas sollte genau überlegt werden, ob Staudenflächen mineralisch gemulcht werden, auch wenn der Pflegebedarf dadurch etwas reduziert wird. Wiese ist deutlich weniger pflegeintensiv. - Der Winteraspekt ist besonders zu beachten. Liegen die Mineralmulchflächen dann offen, weil die Stauden eingezogen sind bzw. zurückgeschnitten wurden, dann wirken die Flächen wie Schotterflächen und stellen ein sehr ungünstiges Vorbild für die Bürger dar

Grünflächen- typ	Positiv	Negativ	Empfehlung
Schotter hell	<ul style="list-style-type: none"> - Durch hellen Schotter wird deutlich mehr Strahlung reflektiert, wodurch sich die Fläche tags weniger erhitzt als dunkler Schotter - Relative Luftfeuchte etwas höher im Vergleich zu dunklem Schotter - Tendenziell wegen der geringeren Aufheizung etwas günstiger für die Biodiversität im Vergleich zu dunklem Schotter - 	<ul style="list-style-type: none"> - Deutlich wärmer als begrünte Flächen - Flächen speichern Wärme über die Nacht und kühlen kaum ab - Relative Luftfeuchte deutlich geringer als bei begrünten Flächen wegen fehlender Pflanzentranspiration - Größere Steine speichern mehr Wärme (Li, 2002) und tragen daher besonders stark zur Aufheizung bei - Insgesamt starker Beitrag zu Hitzeinseleffekt in Siedlungen - Negativ für Biodiversität, da keine Lebensraumqualität - Bei Folien unter dem Schotter keine Versickerung von Wasser möglich (Chemnitz & Weigelt, 2015) - Pflegeintensität kurzfristig gering, bei durchwachsendem Unkraut aber hoch 	<ul style="list-style-type: none"> - Auf Schotterflächen verzichten - Möglichst alle Freiflächen im Siedlungsbereich begrünen - Wenn Schotter verwendet wird, dann nur heller Schotter, möglichst feinkörnig und ohne Folienversiegelung im Untergrund

Grünflächen- typ	Positiv	Negativ	Empfehlung
Schotter dunkel		<ul style="list-style-type: none"> - Deutlich wärmer als begrünte Flächen und als heller Schotter - Flächen speichern Wärme über Nacht und kühlen kaum ab (von Aster, 2019) - Relative Luftfeuchte deutlich geringer als bei begrünten Flächen wegen fehlender Pflanzentranspiration - Insbesondere große Korngrößen speichern mehr Wärme (Li, 2000) und tragen daher besonders stark zur Aufheizung bei - Insgesamt starker Beitrag zu Hitzeinseleffekt in Siedlungen - Negativ für Biodiversität, da keine Lebensraumqualität - Bei Folien unter dem Schotter keine Versickerung von Wasser möglich (Chemnitz & Weigelt, 2015) - Pflegeintensität kurzfristig gering, bei durchwachsendem Unkraut aber hoch 	<ul style="list-style-type: none"> - Verzicht auf Schotterflächen, insbesondere Verzicht auf dunklen Schotter - Möglichst alle Flächen im Siedlungsbereich begrünen

5.2.2 Rechtliche Umsetzung am Beispiel der Stadt Mainz

Frederik Wallau

Die Umsetzung von Begrünung über eine Gestaltungssatzung stellt eine rechtliche Möglichkeit für Kommunen dar. Jedoch ist eine solche Satzung nur auf Neubauten anwendbar, bestehende Flächen haben Bestandsschutz.

Dieses Beispiel orientiert sich an der neuen Begrünungs- und Gestaltungssatzung der Stadt Mainz.

Dort wurden folgende Punkte festgehalten:

- Flachdächer ab 15 m² müssen zumindest extensiv (leicht und kostengünstig) begrünt werden (§6 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz). Eine Kombination mit Solaranlagen ist zulässig (§6 Nr. 2 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz)
- Außenwände ab einer zusammenhängenden Fläche von 20 m², die einen vorhandenen oder herstellbaren Bodenanschluss haben, müssen begrünt werden. Abweichung von der Regelung ist mit zusätzlicher Begrünung mit Sträuchern möglich. Grenzständige Außenwände und Tordurchfahrten sind ausgenommen. (§7 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz)
- Schüttungen aus Kies oder Schotter, die Verwendung von Folien und Textilgeweben sind nicht zulässig (§4 Nr. 3 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz).
- 15 % des Baugrundstücks sind mit Sträuchern zu bepflanzen, bereits vorhandene werden angerechnet (§4 Nr. 5 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz).
- Je angefangener 200 m² der nicht mit Gebäuden überbauten Grundstücksfläche ist mindestens ein Baum zu pflanzen (§4 Nr. 4 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz).
- Es werden Pflanzlisten mit Empfehlungen zur Artenauswahl ausgearbeitet und zur Verfügung gestellt (§9 Nr.1, Anlage 2 Begrünungs- und Gestaltungssatzung Mainz).

(Satzung über die Begrünung und Gestaltung von bebauten Grundstücken innerhalb der Stadt Mainz (Begrünungs- und Gestaltungssatzung, 17.06.2022)

Die Satzung ist auf Vorhaben anzuwenden, für die ein Bauantrag gestellt wird sowie für genehmigungsfreie Vorhaben nach §62 Landesbauordnung (LBauO und Vorhaben im Freistellungsverfahren nach § 67 LBauO).

Untersuchungsergebnisse aus Forschungsprojekten zu Dachgrün der TH Bingen zeigen, dass semi-intensive, bewässerte Dachbegrünungen mit höherer, arten- und blütenreicherer Vegetation sowohl für das Mikroklima als auch für die Biodiversität deutlich besser sind als extensive Dachbegrünungen (Hietel et al. 2020). Dies zeigt auch, dass die positiven Ergebnisse dieses Untersuchungsberichts in Bezug auf Wiesenflächen / höhere Vegetation plausibel sind. Daher sollte in Satzungen die Dachbegrünung nicht nur auf extensiv begrenzt werden, sondern es sollten unbedingt semi-intensive und intensive Begrünungen mitberücksichtigt werden. Nach den Ergebnissen des vorliegenden Berichts sollte in den Satzungen auch die Anlage von Wiese statt Rasen auf einem möglichst großen Anteil der Grundstücksfläche vorgesehen werden. Schotterflächen sollten ausgeschlossen werden.

Bei Staudenpflanzungen im öffentlichen Raum haben die Kommunen selbst die Möglichkeit, mikroklimatisch günstiger auf Mineralmulch zu verzichten, ohne rechtliche Vorgaben.

5.2.3 Beratung zu klimaangepassten, biodiversen Grünflächen

Susanne Ruhl

Nicht nur Öffentlichkeitsarbeit im Allgemeinen, sondern die aktive Beratung der Bürger ist besonders wichtig, um einen Wissenstransfer zu erlangen. Beratung kann z.B. in Form von Infoveranstaltungen, Schulungen und Kampagnen erfolgen.

Infoveranstaltungen

Zielgruppen für Infoveranstaltungen sind Bürger mit bereits bestehenden Gärten, sowie Interessenten für Neubaugebiete. Ziel der Infoveranstaltungen sollte sein, dass die Teilnehmer das Verständnis für die Relevanz klimaangepasster Gärten in der Stadt sowie praktische Tipps und Handlungsempfehlungen für ihre eigenen Gärten erhalten. Besonders Neubaugebiete sollten als Vorbildfunktion für die gesamte Stadt dienen und Fortschritt in der Klimaanpassung bewusst präsentieren.

Folgende Fragen sollten durch Veranstaltungen und Aktionen beantwortet werden:

- Warum ist es für die Stadt wichtig, wie ich meinen Garten gestalte?
- Wie kann ich das Stadtklima mit meinem Garten beeinflussen?

- Wie kann ich meinen Garten kostengünstig (um-)gestalten, sodass er zur Biodiversität und einem positiven Mikroklima beiträgt?

Diese Fragen können in Form von Workshop-Reihen (vgl. z.B. Transferstelle Bingen (TSB) in der ITB gGmbH, 2014) oder Aktionstagen aufgearbeitet und beantwortet werden.

Beispiel: Infomarkt mit Beispielflächen nach dem Motto „So könnte Ihr Garten aussehen“ mit Hinweisen auf stadteigene Förderprogramme

Schulungen

Zielgruppe von Schulungen sind Mitarbeiter des städtischen Bauhofs. Ziel der Schulungen sollte sein, Mitarbeiter des städtischen Bauhofs dafür zu sensibilisieren, wie hoch die Relevanz städtischer Grünflächen für das Stadtklima ist. Hier kann eine Kooperation mit ortsansässigen Garten- und Landschaftsbau-Betrieben erfolgen, indem gartenbauliches Fachwissen mit Expertenwissen über Klima und Biodiversität (ggf. in Zusammenarbeit mit Professoren oder Absolventen von Hochschulen oder Universitäten der Umgebung) verknüpft und vermittelt wird. Das Angebot der Zusammenarbeit dieser Parteien sollte nicht temporär bleiben, sondern zu einem gegenseitigen Unterstützungssystem werden.

Kampagnen

Kampagnen lassen sich in unterschiedlichen Formen umsetzen. Einerseits kann über Plakate prägnantes Wissen und Tipps über die private Gartengestaltung vermittelt werden, andererseits sind auch Punkte-Sammel-Aktionen ein Mittel der Wahl. Eine Punkte-Sammel-Aktion kann so gestaltet werden, dass Privatpersonen Punkte erhalten, wenn sie bestimmte Elemente in ihre Gartengestaltung einbringen (z.B. heimische Wildblumen, Wiese statt Rasen, Baumpflanzungen, Verzicht auf Schotterflächen). Bei Erhalt einer gewissen Punktzahl bekommen die Bürger eine städtische Prämie. Ein geeigneter Anreiz könnte die finanzielle Unterstützung bei weiterer Umgestaltung des Gartens sein oder auch materielle Prämien in Form von Insektenhotels oder Nistkästen.

5.2.4 Beispiel für ein Förderprogramm

Vanessa Lache

Ziel der Förderung ist es, den Bürger*innen einen Anreiz zu verschaffen, versiegelte Flächen und Schotterflächen so umzugestalten, dass diese eine überwiegend flächendeckende Vegetation aufweisen. Dadurch sollen die entsiegelten Flächen ihre

natürliche Bodenfunktion wieder aufnehmen, Platz für Insekten und andere Tiere bieten und die Hitzeinseleffekte im Siedlungsbereich reduzieren. Auch die Umwandlung von Rasen in Wiese sollte gefördert werden.

Die durchgeführte Untersuchung der TH-Bingen zum Thema Mikroklima und Biodiversität auf städtischen Grünflächen zeigt deutlich, dass Schottergärten die Biodiversität verdrängen und das Stadtklima aufheizen. Auch Rasenflächen sind ungünstig.

Gegenstand der Förderung

Die Änderung folgender Versiegelungsarten ist Gegenstand der Förderung:

Vollversiegelung: Wasserundurchlässige Flächen wie zum Beispiel betonierte oder asphaltierte Wege.

Teilversiegelung: Undurchlässige Flächen mit wasserdurchlässigen Bereichen und teildurchlässiger Flächenversiegelung. Zum Beispiel Rasengittersteine, Pflasterung, offene Fugen und Schotterflächen. (Stadt Recklinghausen, 2021)

Zudem sollte die Umwandlung von artenarmen, häufig gemähten Rasenflächen in Wiesen Gegenstand der Förderung sein.

Gefördert werden:

- Entsorgungskosten für das anfallenden Abbruchmaterial
- Gärtnerische Dienstleistungen und Gerätschaften
- Anschaffung von Pflanzen für die Neugestaltung, z.B. heimische Wildstauden, Regiosaatgut für die Anlage von Blumenwiesen
- Kauf von Materialien für die Schaffung weiterer Lebensräume für heimische Arten, z.B. Insektenhotels, Nistkästen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass diese Nisthilfen naturnah und funktionstüchtig sind. Eine Orientierung dazu bietet z.B. die NABU-Homepage.

Voraussetzungen der Förderung

Gefördert wird die Renaturierung von Schotter und/oder versiegelten Flächen sowie Rasenflächen auf Privatgrundstücken. Die Städte legen eine Mindestgröße der umzuwandelnden Flächen innerhalb eines Grundstückes fest. Diese könnte zum Beispiel 15 m² groß sein, wovon mindestens 90 % renaturiert werden müssten. Um die

Förderung zu erhalten, können mehrere Teilflächen addiert werden. Es müssen jedoch mindestens 10 m² umgestaltet werden. Weitere Voraussetzungen sind:

- das Grundstück befindet sich in der Kommune,
- der/die Antragsteller*in ist Grund- oder Hauseigentümer*in,
- die Maßnahme muss freiwillig sein und darf nicht aus vorangegangenen Verpflichtungen erfolgen, wie zum Beispiel dem Erfüllen der Auflagen der Baugenehmigungen
- durch die Entsiegelung darf keine Grund- und Bodenwassergefährdung entstehen
- dass auf den Boden kommende Niederschlagswasser muss versickern können

Höhe der Förderung

Die Städte müssen jeweils einen Gesamtförderbetrag festlegen, sowie einen Prozentsatz über die Höhe der zu übernehmenden Kosten. Dabei ist es sinnvoll einen allgemeinen Förderhöchstbetrag pro Antrag festzulegen, der pro Grundstück zählt. Ebenfalls ist es sinnvoll einen Zeitrahmen festzulegen, indem die mit Fördermitteln umgestalteten Fläche/n nicht verändert werden dürfen, sodass keine erneute Versiegelung oder ein Vegetationsverlust entsteht.

Antragstellung

Bei der Erstellung des Antrages ist es wichtig auf eine gewisse Bedienungsfreundlichkeit des Formulars einzugehen, wie zum Beispiel der Möglichkeit das Formular online beantragen zu können und ein unkompliziertes Ausfüllen zu gewährleisten.

Um die Bürger*innen über die Fördermöglichkeit zu informieren, könnten zu Beginn der Fördermaßnahme Artikel in den regionalen Medien, beispielsweise der Zeitung, Zeitungsbeilagen, eine Werbeanzeige über Facebook/Instagram geschaltet werden oder eine Vortrags-/Workshopreihe stattfinden.

Gesplittete Abwassergebühr

Eine weitere Option die Versiegelung von Flächen unattraktiver zu gestalten, bietet das System der gesplitteten Abwassergebühr. Hierbei wird die Abwassergebühr in eine Schmutzwassergebühr und Niederschlagswassergebühr aufgeteilt.

- Die Schmutzwassergebühr beinhaltet alle Kosten für die Beseitigung des anfallenden Schmutzwassers. Pro verbrauchtem Kubikmeter Frischwasser fallen dann verursacherabhängig Gebühren an.
- Die Niederschlagswassergebühr deckt die Kosten für die Beseitigung, Ableitung, Behandlung und Reinigung von Niederschlagswasser. Die individuell anfallenden Gebühren berechnen sich nach der Größe der Versiegelung, der Versiegelungsart auf dem Grundstück oder nach befestigten sowie überbauten Flächen, von denen das Niederschlagswasser eingeleitet wird. Die Gebühr wird in Euro je Quadratmeter erhoben.

Durch das Prinzip fallen für versickerungsfähige, begrünte Flächen im Gegensatz zu Schotterflächen / versiegelten Flächen keine Abwassergebühren für die Bürger*innen mehr an. (Kovacic Ingenieure, 2022)

Literatur

Literatur Handlungsempfehlungen

von Aster, E.-L. (2019). Schottergärten - Ein ökologischer Sündenfall. deutschlandfunkkultur.de/schottergaerten-e. Abgerufen am 05.06.2022

Chemnitz, C. & Weigelt, J. (2015). Bodenatlas, Daten und Fakten über Acker, Land und Erde (3. Auflage Aufl.). Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.

Kipp & Zonen B.V. (2016). CMP6 Pyranometer datapage. Manual document number: V1610. <https://www.kippzonen.com/Product/12/CMP6-Pyranometer#.YtbR2LaZO3B>. Abgerufen 19.07.2022

Kleinod, B. et. al. (2018). Schön wild! attraktive Beete mit heimischen Wildstauden im Garten: 22 Gestaltungsideen für jeden Standort, 2. Auflage. Darmstadt: pala verlag, 2018.

Kozłowski, T.T. (2012). Additional Woody Crop Plants V7. Band 7. Verlag Elsevier 2012. ISBN 0323158560. 9780323158565

Li, Xiao-Yan (2002). Effects of gravel and sand mulches on dew deposition in the semiarid region of China. Journal of Hydrology 260/1, 2002. S. 151-160

Nachbarschaftsverband Stuttgart 1992: Klimauntersuchung für den Nachbarschaftsverband Stuttgart und angrenzende Teile der Region Stuttgart (Klimaatlas). Stuttgart.

Rothenbühler, E. (2017). Schottergärten und Landschaft, Dynamik – Akteure – Instrumente. Bern: Universität Bern.

Spektrum.de. Albedo - Lexikon der Geographie 2001. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. [Spektrum.de/lexikon/geographie/albedo/241](https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/albedo/241). Abgerufen 04.06.2022

Literatur Rechtliches

Hietel, E., Panferov, O., Rößner, U., Seelos, K., Lorenz-Haas, C., Warnecke, B. & Wustmann, J. (2020): Semi-intensive Dachbegrünung - Ein innovatives Klimaanpassungs- und Umweltschutzinstrument. – Transforming Cities, H. 3 / 2020, S. 64-71.

LBauO Rheinland-Pfalz (<https://landesrecht.rlp.de/bsrp/document/jlr-BauORPraemen>) abgerufen am: 06.07.2022

Satzung über die Begrünung und Gestaltung von bebauten Grundstücken innerhalb der Stadt Mainz (Begrünungs- und Gestaltungssatzung), Stand 17.06.2022, <https://mainz.de/verzeichnisse/ortsrecht/begrueunungs-und-gestaltungssatzung-vom-17.06.2022.php> abgerufen am: 15.07.2022

Literatur Beratung

Transferstelle Bingen (TSB) in der ITB gGmbH. (2014). KSI: Klimaschutzteilkonzept der Stadt Ingelheim am Rhein „Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Strategien und Maßnahmen für die Stadt Ingelheim“. Bingen.

Literatur Förderprogramme

Kovacic Ingenieure GmbH (2022). Infobroschüre - Gesplittete Abwassergebühr. Sigmaringen. Von

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjI2q2Y3_j4AhWshv0HHXJHC9QQFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.kovacic.de%2Fwpk%2Fgesplittete-abwassergebuehr-neuregelung-der-abwassergebuehr%2F&usq=AOvVaw1GrZVzrorOEcq3EgxwsXWI

abgerufen am 14.07.2022, 18:11

Kreisverwaltung Mainz-Bingen (2022). Förderprogramm des Landkreises. Ingelheim am Rhein. Von <https://www.mainz-bingen.de/de/Aemter-Abteilungen/bauen-umwelt/Umwelt-und-Energieberatungszentrum/Klimaschutz/Foerderung/Foerderung-Landkreis.php> abgerufen am 07.07.2022, 23:00

Pannicke-Prochnow, N., Krohn, C., Albrecht, Dr. J., Thinius, K., Ferber, Dr. U., Eckert, K. (2021). Umweltbundesamt. Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und Klimaanpassung. Dessau-Roßlau. Von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bessere-nutzung-von-entsiegelungspotenzialen-zur>

abgerufen am 06.07.2022, 10:14

Stadt Recklinghausen (2021). Förderprogramm zur Umgestaltung von Schottergärten und versiegelten Flächen in naturnahe Gärten in Recklinghausen. Recklinghausen. Von

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiE1vGssOP5AhUvgv0HHXRIAxcQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Frecklinghausen.de%2FInhalte%2FStartseite%2FKlima_Mobilitaet%2FDokumente%2FF-rderrichtlinie_Schotterg-rten.pdf&usg=AOvVaw3AhzY5OLcdkzHb5zEWptL0

abgerufen am 07.07.2022, 14:28

Umweltbundesamt (2022). Bodenversiegelung. Von

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#ermittlung-der-bodenversiegelung>

abgerufen am 07.07.2022, 22:56

6 Fazit

Johanna Surges

Die anfänglich aufgestellten Hypothesen lassen sich durch die vorgenommenen Untersuchungen bestätigen: Erstens fällt bei hellen Flächen die Aufheizung geringer aus und zweitens führt hochwüchsige, dichte Vegetation (Wiese) zu verringerter Aufheizung. Zudem stimmt drittens die Annahme, dass die Biodiversität auf höherwüchsig begrünten Flächen mit insektenfreundlichen Blühpflanzen am höchsten ist.

Sofern im Siedlungsbereich Baumpflanzungen nicht möglich sind, sollten daher auch auf kleinen Flächen Wiesen angelegt werden. Diese Wiesen schneiden sowohl mikroklimatisch als auch in Bezug auf die Biodiversität im Ranking der Grünflächentypen am besten ab und sind daher für die Begrünung in Siedlungsbereichen besonders zu empfehlen. Ein Vorteil ist auch, dass sie nur einen geringen Pflegebedarf haben. Möglicherweise müssen aber bei den kommunalen Bauhöfen und Grünflächenämtern neue Mahdgeräte für eine adäquate Pflege der hochwüchsigen Flächen beschafft oder auch Entsorgungsmöglichkeiten für das anfallende Mahdgut geschaffen werden, das anders als bei Rasenflächen nicht als Mulch auf den Flächen verbleiben sollte, um eine Nährstoffanreicherung zu vermeiden. Bei Akzeptanzproblemen sollte versucht werden, über Beratung oder z.B. Infoschilder auf den Flächen die Akzeptanz der Bürger zu erhöhen. Es ist auch darauf zu achten, dass die Wiesenflächen groß genug sind, damit der positive Effekt nicht durch angrenzende versiegelte Flächen neutralisiert wird.

Rasenflächen sind mikroklimatisch ungünstiger und bieten deutlich weniger Lebensraum als Wiesen. Sie lassen sich durch Reduktion der Mahdhäufigkeit auf max. 1 – 2 mal jährliches Mähen (Ende Juni und im Herbst) in Wiesen umwandeln. Wenn dies wegen der vorgegebenen Nutzung bzw. Belastung nicht möglich ist, sollten zumindest Grasstreifen am Rand oder Grasinseln aus der häufigen Mahd ausgespart werden.

Staudenbepflanzungen bieten ebenfalls eine hohe Biodiversität, diese Flächen eignen sich jedoch dann besonders zur Reproduktion von Arthropoden bzw. dienen als Nahrungsgrundlage, wenn einheimische, insektenfreundliche Stauden gewählt werden. Die Bepflanzung sollte möglichst geschlossen sein, da lückige Vegetation mikroklimatisch schlecht ist. Da Stauden auf Mineralmulch mikroklimatisch

ungünstiger sind als Stauden auf Erde, sollte überlegt werden auf den Mineralmulch zu verzichten, trotz des dann etwas höheren Pflegebedarfs für die Staudenpflanzungen. Zudem stellen die mineralgemulchten Staudenflächen wegen der Ähnlichkeit des Aspekts v.a. im Winter zu Schottergärten ein schlechtes Vorbild für die Bürger dar.

Vollständig abzuraten ist von der Verwendung von Schotter, da diese Flächen keine Grundlage für die Biodiversität bieten und durch die wärmespeichernde Eigenschaft von Stein auch nachts stetig Wärme abgeben. Sie besitzen keine kühlende Wirkung, weil keine Transpiration von Wasser durch Bepflanzung stattfindet. Ein weiterer negativer Aspekt ist, dass Niederschlag bei der Verwendung von Folien unter dem Schotter nicht im Boden versickern kann und so die Gefahr von Überschwemmungen z.B. bei Starkregen erhöht wird. Hervorzuheben ist auch, dass der Pflegeaufwand solcher Schotterflächen über die Zeit sehr hoch wird, da aufwachsendes Unkraut nur schwer entfernt werden kann. Gerade hierzu werden die Bürger oft auch von Garten- und Landschaftsbaufirmen fachlich falsch beraten.

Fragen der mikroklimatisch und für die Biodiversität besonders günstigen Stadtbegrünung sowie der besonders wirksamen Auswahl von zu begrünenden Flächen in Siedlungen (Flächengröße und Flächenverteilung) haben weiter einen großen Forschungsbedarf. Insbesondere vor dem Hintergrund von fortschreitendem Klimawandel und Biodiversitätsverlust spielen alle Siedlungsbereiche hier eine wesentliche Rolle. Auch multidisziplinäre Faktoren wie Erholung, Nutzbarkeit, visuelles Erscheinungsbild und Wasserrückhalt müssen neben dem Mikroklima und der Biodiversität in die Forschung einbezogen werden. Sicher ist jedoch, dass eine Optimierung des Stadtgrüns im Hinblick auf Klimaanpassung und Biodiversität einen erheblichen Beitrag zu Lebensqualität, Wohlbefinden und Gesundheit der Stadtbewohner leisten kann.

7 Anhang

7.1 Ergebnisse Klimamessungen Ingelheim Andriana Rizos, Christopher Trumpp

Tabelle 12: Handmessungen, Rohdaten ohne Korrektur

Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Lux einfallend (ES)	Lux reflektiert (RS)	Zeit
Mineralmulch 2: Stauden auf Mineralmulch	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1.Messung	29,2	30,2	4,24666667	79.167	7.500	16:15
2.Messung	30,28	28,6	1,93	81.403	6.813	16:25
3.Messung	29,59	28,2	3,15	84.407	6.727	16:35
4.Messung	29,78	27,8	1,15	12.550	1.113	16:45
Schotter 3: Dunkler Schotter	Geräte-Nr:4 Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr:4 Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr:4 Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr:4 Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr:4 Geräte-Nr: 3	
1.Messung	30	26,3	3,4	77.590	7.115	15:30
2.Messung	30,26	29,4	1,31	48.530	2.420	15:55
3.Messung	30,53	27,6	1,41	64.520	5.020	16:15
4.Messung	30,07	27,9	1,37	13.770	1.180	16:35
Stauden auf Erde 2: Stauden auf Erde	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1.Messung	29,85	28,6	3,53	81.340	3.870	15:35
2.Messung	29,49	30,1	4,2	85.540	3.350	15:45
3.Messung	29,87	30,1	2,18	82.210	6.570	15:55
4.Messung	29,86	29,9	1,85	85.800	6.680	16:05
Stauden auf Erde 3: Stauden auf Erde	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1.Messung	29,86	29,9	1,03	79.520	8.500	16:15
2.Messung	29,91	28,5	2,43	72.330	6.340	16:25
3.Messung	30,55	27,6	2,01	71.490	5.510	16:35
4.Messung	30,48	27,8	3,04	65.310	5.000	16:45
Wiese 1: Wiese	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1. Messung	29,85	28,6	1,63666667	83223,3333	4330	15:35
2. Messung	29,5	29,7	0,25	12273,3333	726,666667	15:45
3. Messung	29,66	29,7	2,49666667	80866,6667	4140	15:55
4. Messung	30,1	26,15	1,28	67183,3333	3726,66667	16:05

Wiese 2: Wiese	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	
1. Messung	29,33	29,7	1,155	86270	4632,5	15:45
2. Messung	29,88	28,8	2	76143	4340	15:55
3. Messung	30,71	29	1,0525	73800	4232,5	16:05
4. Messung	30,3	27	2,074	68112,5	3277,5	16:15
5. Messung	29,03	27,2	2,255	54357,5	3312,5	16:25
6. Messung	29,49	28,2	1,3325	20592,5	1025	16:35
7. Messung	30	26,1	1,81	58467,5	3435	16:45

Tabelle 13: Handmessungen Ingelheim, korrigiert

Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Lux einfallend (ES)	Lux reflektiert (RS)	Zeit
Mineralmulch 2: Stauden auf Mineralmulch	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1. Messung	29,2	30,2	4,24666667	79166,6667	7500	16:15:00
2. Messung	30,28	28,6	1,93	81403,3333	6813,3333	16:25:00
3. Messung	29,59	28,2	3,15	84406,6667	6726,6667	16:35:00
4. Messung	29,78	27,8	1,15	12550	1113,3333	16:45:00
Schotter 3: Dunkler Schotter	1. Messung: Geräte-Nr: 4 2.-4. Messung: Geräte-Nr: 3	1. Messung: Geräte-Nr: 4 2.-4. Messung: Geräte-Nr: 3	1. Messung: Geräte-Nr: 4 2.-4. Messung: Geräte-Nr: 3	1. Messung: Geräte-Nr: 4 2.- 4. Messung: Geräte-Nr: 3	1. Messung: Geräte-Nr: 4 2.- 4. Messung: Geräte-Nr: 3	
1. Messung	30	26,3	3,4	77590	7115	15:30:00
2. Messung	30,26	29,4	1,31	59809,085	2379,08	15:55:00
3. Messung	30,53	27,6	1,41	79724,63	5617,38	16:15:00
4. Messung	30,07	27,9	1,37	16515,505	834,66	16:35:00
Stauden auf Erde 2: Stauden auf Erde	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1. Messung	29,85	28,6	3,53	81340	3870	15:35:00
2. Messung	29,49	30,1	4,2	85540	3350	15:45:00
3. Messung	29,87	30,1	2,18	82210	6570	15:55:00
4. Messung	29,86	29,9	1,85	85800	6680	16:05:00
Stauden auf Erde 3: Stauden auf Erde	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1. Messung	29,86	29,9	1,03	79520	8500	16:15:00
2. Messung	29,91	28,5	2,43	72330	6340	16:25:00
3. Messung	30,55	27,6	2,01	71490	5510	16:35:00
4. Messung	30,48	27,8	3,04	65310	5000	16:45:00
Wiese 1: niedrige Wiese	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1. Messung	29,85	28,6	1,63666667	83223,3333	4330	15:35:00
2. Messung	29,5	29,7	0,25	12273,3333	726,666667	15:45:00
3. Messung	29,66	29,7	2,49666667	80866,6667	4140	15:55:00

4. Messung	30,1	26,15	1,28	67183,3333	3726,66667	16:05:00
Wiese 2: niedrige Wiese	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	
1. Messung	29,33	29,7	1,155	86270	4632,5	15:45:00
2. Messung	29,88	28,8	2	76143	4340	15:55:00
3. Messung	30,71	29	1,0525	73800	4232,5	16:05:00
4. Messung	30,3	27	2,074	68112,5	3277,5	16:15:00
5. Messung	29,03	27,2	2,255	54357,5	3312,5	16:25:00
6. Messung	29,49	28,2	1,3325	20592,5	1025	16:35:00
7. Messung	30	26,1	1,81	58467,5	3435	16:45:00

Tabelle 14: absorbierte Strahlung und Albedo der Standorte der Klimastationen

Grünflächentyp	Albedo %	absorbierte Strahlung [%]
Mineralmulch 2: Stauden auf Mineralmulch		
1.Messung		90,5263158
2.Messung		91,6301544
3.Messung		92,0306453
4.Messung		91,1288181
Schotter 3: Dunkler Schotter		
1.Messung		90,8300039
2.Messung		96,0222097
3.Messung		92,9540219
4.Messung		94,9462036
Stauden auf Erde 2: Stauden auf Erde		
1.Messung		95,2421933
2.Messung		96,0837035
3.Messung		92,0082715
4.Messung		92,2144522
Stauden auf Erde 3: Stauden auf Erde		
1.Messung		89,3108652
2.Messung		91,2346191
3.Messung		92,2926283
4.Messung		92,3442046
Wiese 1: niedrige Wiese		
1. Messung		94,7971322
2. Messung		94,0793047
3. Messung		94,8804617
4. Messung		94,4529893

Wiese 2: niedrige Wiese		
1. Messung		94,6302307
2. Messung		94,3001983
3. Messung		94,2649051
4. Messung		95,1881079
5. Messung		93,9060847
6. Messung		95,0224596
7. Messung		94,1249412
Wiese 3: hohe Wiese	21,854	78,146
	20,625	79,375
	20,556	79,444
	13,200	86,800
	13,182	86,818
Mineralmulch 3: Stauden auf Mineralmulch		11,69
	14,92	85,079
	11,54	88,462
	11,23	88,769
	10,26	89,744
Schotter 2: weißer Schotter		
	35,71	64,286
	34,88	65,116
	34,88	65,116
	35,90	64,103
	31,25	68,750
Stauden auf Erde 1: Stauden auf Erde		
	10,48	89,516
	10,17	89,833
	11,67	88,333
	13,02	86,984
	9,38	90,625

Tabelle 15: Klimastationsdaten Mineralmulch 3-Stauden auf Mineralmulch, grüne Station

Zeit	Windgeschwindigkeit [m/s]	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]
15:30	2,9	30,2	30
15:31	1,8	30,2	29,9
15:32	1,8	30,3	29,5
15:33	1,7	30,3	29,2
15:34	1,7	30,3	29,2
15:35	1,4	30,2	29,3

15:36	1,7	30,3	29,5
15:37	1,4	30,3	29,6
15:38	1,4	30,4	29,9
15:39	1,6	30,4	29,8
15:40	1,5	30,4	30
15:41	2,8	30,4	29,9
15:42	2,7	30,3	30,2
15:43	2,8	30,2	30,4
15:44	2,3	30,1	30,8
15:45	2,3	30	31
15:46	1,7	29,9	31,2
15:47	1,7	29,9	31,2
15:48	2,2	29,9	31,2
15:49	1,1	29,9	31,7
15:50	1,8	30	31,5
15:51	2,2	30	31,2
15:52	2,1	29,9	31,2
15:53	1,8	29,8	31,5
15:54	2,2	29,8	31,5
15:55	2	29,7	31,6
15:56	1,9	29,7	31,7
15:57	1,6	29,7	31,9
15:58	1,8	29,7	31,9
15:59	2,4	29,7	31,7
16:00	2,2	29,7	31,7
16:01	2	29,7	31,9
16:02	1,9	29,7	32
16:03	2	29,8	31,7
16:04	1,2	29,8	31,9
16:05	1	29,8	32,1
16:06	1,8	29,7	31,9
16:07	1,5	29,7	31,8
16:08	1,7	29,7	31,7
16:09	1,1	29,7	31,9
16:10	1	29,8	32,2
16:11	1,4	29,9	32,1
16:12	2,2	30	32
16:13	1,6	30,1	31,7
16:14	2	30,2	31,6
16:15	1,3	30,2	31,6
16:16	0,8	30,3	31,9
16:17	1	30,4	32
16:18	1,5	30,6	31,4
16:19	1,9	30,7	30,7
16:20	1,6	30,7	29,6
16:21	0,8	30,7	29,7
16:22	2,1	30,7	29,7

16:23	1,7	30,7	29,8
16:24	2,1	30,6	29,6
16:25	1,6	30,6	29,8
16:26	1,7	30,6	29,7
16:27	1,1	30,6	29,8
16:28	1,4	30,7	29,8
16:29	1,2	30,7	29,8
16:30	1,3	30,7	29,8
16:31	1,9	30,8	29,4
16:32	2,7	30,7	29,1
16:33	2,6	30,5	29,1
16:34	1,8	30,4	29,1
16:35	1,4	30,3	29,5
16:36	2,5	30,3	29,4
16:37	2,9	30,3	29,3
16:38	2,5	30,2	29,5
16:39	2,9	30,2	29,4
16:40	2,2	30,1	29,3
16:41	1,2	30,1	29,5
16:42	2,3	30,2	29,2
16:43	1	30,1	29,5
16:44	1,5	30,1	29,5
16:45	1,6	30,1	29,4

Tabelle 16: Klimastationsdaten Wiese 3 - hohe Wiese, Station grün, Korrektur Relative Luftfeuchte:
 $Y=0,6617 \cdot X+20,74$

Zeit	Windgeschwindigkeit [m/s]	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Rel. Luftfeuchte korrigiert [%]
15:30	4,9	29,4	30,4	40,85568
15:31	3,8	29,4	30,6	40,98802
15:32	1,5	29,4	31,6	41,64972
15:33	1,9	29,6	31,9	41,84823
15:34	2,8	29,7	31,1	41,31887
15:35	1,4	29,7	31,3	41,45121
15:36	3	29,7	31,5	41,58355
15:37	1,8	29,8	31,9	41,84823
15:38	2,2	29,8	31,5	41,58355
15:39	1,6	29,9	31,9	41,84823
15:40	2,1	29,9	31,5	41,58355
15:41	3	29,8	31,5	41,58355
15:42	2,8	29,8	31,7	41,71589
15:43	3,2	29,7	31,7	41,71589
15:44	2,8	29,6	31,7	41,71589
15:45	2,8	29,6	32,1	41,98057

15:46	1,7	29,5	32,1	41,98057
15:47	3,2	29,4	32,1	41,98057
15:48	2	29,3	32,6	42,31142
15:49	1,1	29,4	33,2	42,70844
15:50	1,7	29,6	32,8	42,44376
15:51	2,1	29,6	32,4	42,17908
15:52	1,9	29,5	32,3	42,11291
15:53	2,8	29,5	32,2	42,04674
15:54	1,6	29,4	32,6	42,31142
15:55	2,5	29,5	32,6	42,31142
15:56	2	29,6	32,5	42,24525
15:57	2	29,7	32,6	42,31142
15:58	2,2	29,8	32,2	42,04674
15:59	2,3	29,7	32,3	42,11291
16:00	2,6	29,5	32,1	41,98057
16:01	1,9	29,4	32,2	42,04674
16:02	1,7	29,4	32,6	42,31142
16:03	2,3	29,4	32,2	42,04674
16:04	4,9	29,4	32	41,9144
16:05	3,6	29,4	32,1	41,98057
16:06	3,5	29,4	32,6	42,31142
16:07	2,5	29,5	32,7	42,37759
16:08	1,5	29,6	32,8	42,44376
16:09	1,8	29,8	33,1	42,64227
16:10	2,2	30	32,3	42,11291
16:11	2,9	30	31,5	41,58355
16:12	1,6	30	32,2	42,04674
16:13	2,7	30,1	31,4	41,51738
16:14	3,4	30,1	30,7	41,05419
16:15	3,1	30,1	30,6	40,98802
16:16	2	30,1	30,6	40,98802
16:17	1,9	30,1	30,8	41,12036
16:18	2,1	30,1	30,4	40,85568
16:19	2,6	30,1	30,6	40,98802
16:20	1,9	30,1	30,5	40,92185
16:21	0,9	30,2	31,2	41,38504
16:22	1,6	30,3	31,3	41,45121
16:23	4,1	30,3	30,2	40,72334
16:24	4,5	30,2	29,8	40,45866
16:25	2	30	30	40,591
16:26	1,4	30	30,3	40,78951
16:27	2,4	30	30,4	40,85568
16:28	2,6	30	30	40,591
16:29	3,2	29,9	29,8	40,45866
16:30	2,5	29,9	30,3	40,78951
16:31	1,6	29,9	30,5	40,92185
16:32	3,7	29,9	30,1	40,65717

16:33	2	29,9	30,2	40,72334
16:34	2,2	30	30,5	40,92185
16:35	3,3	30,1	30,2	40,72334
16:36	2,6	30,2	30,3	40,78951
16:37	3,8	30,1	29,7	40,39249
16:38	2,1	29,9	29,9	40,52483
16:39	2,5	29,9	30	40,591
16:40	2,4	29,9	30,1	40,65717
16:41	4,7	29,8	29,8	40,45866
16:42	3,7	29,7	29,9	40,52483
16:43	3,2	29,7	30,1	40,65717
16:44	2,7	29,7	29,9	40,52483
16:45	3,2	29,8	30	40,591

Tabelle 17: Klimastationsdaten, Schotter 2 - Heller Schotte, rote Station, Korrektur Relative Luftfeuchte:
 $Y=0,9407 \cdot X+2,7755$

Zeit	Windgeschwindigkeit [m/s]	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Rel. Luftfeuchte korrigiert [%]
15:30	1,4	30,5	30,3	31,27871
15:31	2,3	30,5	30,5	31,46685
15:32	2,7	30,4	30,6	31,56092
15:33	2,4	30,2	30,6	31,56092
15:34	1,6	30,1	31	31,9372
15:35	2,3	30,1	31,2	32,12534
15:36	3,1	30	31,5	32,40755
15:37	2	29,9	31,8	32,68976
15:38	1,9	29,9	31,9	32,78383
15:39	2,2	29,9	32,1	32,97197
15:40	2,5	29,8	32,2	33,06604
15:41	1,8	29,8	32,2	33,06604
15:42	1,5	29,8	32,5	33,34825
15:43	1,8	29,8	32,5	33,34825
15:44	3,5	29,8	32,3	33,16011
15:45	2,6	29,6	32,1	32,97197
15:46	2,6	29,5	32,5	33,34825
15:47	2,8	29,4	32,8	33,63046
15:48	2,2	29,3	32,9	33,72453
15:49	2,1	29,3	33	33,8186
15:50	1,8	29,2	33	33,8186
15:51	1,3	29,2	33,3	34,10081
15:52	2,2	29,3	33,5	34,28895
15:53	2,2	29,3	33	33,8186
15:54	2,6	29,3	33	33,8186
15:55	2,7	29,4	33,2	34,00674

15:56	1,5	29,4	33,3	34,10081
15:57	1,3	29,5	33,6	34,38302
15:58	2,4	29,5	33,2	34,00674
15:59	1,4	29,4	33,2	34,00674
16:00	1,1	29,4	33,4	34,19488
16:01	1,2	29,4	33,7	34,47709
16:02	1,5	29,6	33,5	34,28895
16:03	1,3	29,6	33,4	34,19488
16:04	1,5	29,7	33,4	34,19488
16:05	1,7	29,8	33,3	34,10081
16:06	2,3	29,9	32,7	33,53639
16:07	3,4	29,9	32,3	33,16011
16:08	2	29,8	32,7	33,53639
16:09	1	29,8	32,9	33,72453
16:10	1,7	29,9	32,8	33,63046
16:11	1,9	29,9	32,9	33,72453
16:12	2,5	29,9	33	33,8186
16:13	1,1	29,9	33,2	34,00674
16:14	1,2	30	33,1	33,91267
16:15	1,5	30,2	32,8	33,63046
16:16	1,5	30,3	32	32,8779
16:17	1,8	30,3	31,1	32,03127
16:18	1,7	30,3	30,9	31,84313
16:19	2,4	30,3	30,8	31,74906
16:20	2,4	30,1	30,9	31,84313
16:21	2,1	30	31,2	32,12534
16:22	2,5	29,9	31	31,9372
16:23	1,7	29,9	31,2	32,12534
16:24	1,8	29,8	31,2	32,12534
16:25	2,2	29,8	31,5	32,40755
16:26	2,6	29,7	31,4	32,31348
16:27	2	29,6	31,3	32,21941
16:28	2,6	29,6	31,1	32,03127
16:29	1,6	29,6	31,2	32,12534
16:30	1,3	29,6	31,3	32,21941
16:31	2,5	29,8	31,2	32,12534
16:32	2,5	29,8	31,1	32,03127
16:33	1,5	29,9	31,4	32,31348
16:34	1,9	30	30,9	31,84313
16:35	2,6	30	30,4	31,37278
16:36	1,5	29,9	30,4	31,37278
16:37	1,9	29,8	30,7	31,65499
16:38	1,6	29,7	31	31,9372
16:39	1,2	29,6	31,4	32,31348
16:40	0,9	29,6	31,6	32,50162
16:41	1,7	29,7	31,5	32,40755
16:42	2	29,8	31,3	32,21941

16:43	2,9	29,9	30,8	31,74906
16:44	2,6	29,8	30,7	31,65499
16:45	2,2	29,9	30,6	31,56092

Tabelle 18 Klimastationsdaten, Stauden auf Erde 1, gelbe Station, Korrektur der Relativen Luftfeuchte:
 $Y=0,8914 \cdot X+7,0527$

Zeit	Windgeschwindigkeit [m/s]	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Rel. Luftfeuchte korrigiert [%]
15:30	3,5	29,5	29,2	33,08158
15:31	3,9	29,6	28,9	32,81416
15:32	3	29,5	28,8	32,72502
15:33	3,1	29,6	29	32,9033
15:34	2,4	29,6	29,2	33,08158
15:35	3,5	29,6	29,2	33,08158
15:36	3,9	29,6	29,2	33,08158
15:37	3,1	29,5	29,4	33,25986
15:38	4,9	29,4	29,9	33,70556
15:39	3,6	29,3	29,9	33,70556
15:40	3,6	29,2	30,3	34,06212
15:41	3,1	29,2	30,5	34,2404
15:42	4,3	29,2	30,3	34,06212
15:43	3,5	29,1	30,5	34,2404
15:44	4,8	29,1	30,2	33,97298
15:45	3	29	30,4	34,15126
15:46	4,2	29	30,7	34,41868
15:47	2,6	29	30,8	34,50782
15:48	3,5	29,1	30,7	34,41868
15:49	4	29,1	30,5	34,2404
15:50	3,1	29	30,6	34,32954
15:51	1,9	29,1	31,2	34,86438
15:52	3	29,3	31,1	34,77524
15:53	3,5	29,3	30,3	34,06212
15:54	3,8	29,4	30,3	34,06212
15:55	3,7	29,3	30,5	34,2404
15:56	2,9	29,4	30,7	34,41868
15:57	2,2	29,4	30,6	34,32954
15:58	2,5	29,4	30,7	34,41868
15:59	3,8	29,2	30,7	34,41868
16:00	3,1	29,1	31	34,6861
16:01	2,8	29	31,3	34,95352
16:02	2,7	29,1	31,5	35,1318
16:03	2,1	29,2	31,2	34,86438
16:04	2,8	29,3	31,4	35,04266
16:05	3,4	29,5	31	34,6861

16:06	4,1	29,5	30,3	34,06212
16:07	3,8	29,4	30,4	34,15126
16:08	3	29,4	30,7	34,41868
16:09	3,3	29,5	30,7	34,41868
16:10	3,2	29,5	30,1	33,88384
16:11	3,2	29,6	30,5	34,2404
16:12	2,6	29,7	30,7	34,41868
16:13	3,1	29,7	30,6	34,32954
16:14	3,1	29,7	30,6	34,32954
16:15	3,7	29,8	29,9	33,70556
16:16	4,2	29,8	29,4	33,25986
16:17	2,8	29,7	28,5	32,4576
16:18	3,8	29,7	28,7	32,63588
16:19	3,2	29,7	28,8	32,72502
16:20	4,5	29,6	28,8	32,72502
16:21	3,3	29,6	29,3	33,17072
16:22	2,7	29,7	29,1	32,99244
16:23	3,3	29,7	28,6	32,54674
16:24	2,8	29,6	28,7	32,63588
16:25	3,8	29,6	29	32,9033
16:26	3,5	29,5	28,5	32,4576
16:27	3,1	29,4	28,7	32,63588
16:28	3,4	29,4	28,7	32,63588
16:29	4,5	29,5	28,4	32,36846
16:30	4	29,4	28,5	32,4576
16:31	3,2	29,5	28,8	32,72502
16:32	2,5	29,6	29	32,9033
16:33	3,2	29,6	28,5	32,4576
16:34	3,1	29,7	28,5	32,4576
16:35	3,6	29,7	28	32,0119
16:36	3,4	29,6	28,1	32,10104
16:37	3,1	29,4	28,3	32,27932
16:38	3,5	29,3	28,6	32,54674
16:39	2,5	29,2	29	32,9033
16:40	3,1	29,2	29,1	32,99244
16:41	2,5	29,2	29,3	33,17072
16:42	2,6	29,3	29,3	33,17072
16:43	3,6	29,4	28,5	32,4576
16:44	3,1	29,5	28,2	32,19018
16:45	3,1	29,6	28,1	32,10104

Tabelle 19: Mittelwerte der einzelnen Standorte, zusammengefasst nach Grünflächentyp

	Temperatur in °C	Relative Luftfeuchte in %	Windgeschwindigkeit in m/s	Absorbierte Strahlung in %
Mineralmulch 2	29,7125	28,7	2,61916667	91,3289834
Mineralmulch 3	30,1723684	30,5565789	1,80263158	88,072
Stauden auf Mineralmulch	29,9424342	29,6282895	2,21089912	89,7006333
Schotter 2 - heller Schotter	29,7862745	31,56092	1,99078947	65,474
Schotter 3 - dunkler Schotter	30,215	27,8	1,8725	93,6881097
Stauden auf Erde 1	29,4171053	33,52728	3,30131579	89,058
Stauden auf Erde 2	29,7675	29,675	2,94	93,8871551
Stauden auf Erde 3	30,2	28,45	2,1275	91,2955793
Stauden auf Erde	29,7948684	30,55076	2,78960526	91,414
Wiese 1	29,7775	28,5375	1,41583333	94,552472
Wiese 2	29,82	28	1,66842857	94,4909897
niedrige Wiese	29,79875	28,26875	1,54213095	94,5217308
Wiese 3 - hohe Wiese (ca. 50 cm)	29,7789474	41,4520807	2,53026316	82,117

Tabelle 20: Daten Thermalkamera Ingelheim mit Mittelwerten

Bild-Nr.	Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Uhrzeit
Mineralmulch 2			
5107		29,1	15:40
5108		46,6	15:40
5109		42,5	15:40
Mittelwert		39,4	
Schotter 3			
5139		40,1	16:35
5140		39,6	16:35
5141		42,2	16:35
Mittelwert		40,63333333	
Stauden auf Erde 1			
5129		41,9	16:16
5130		41,7	16:16
5131		31,5	16:16
Mittelwert		38,36666667	
Stauden auf Erde 2			
5110		42,7	15:49
5111		32,8	15:49

5112		50,6	15:49
Mittelwert		42,03333333	
Stauden auf Erde 3			
5114		34,4	15:50
5115		31,4	15:50
5116		32,4	15:50
Mittelwert		32,73333333	
Wiese 1			
5106		30,3	15:35
Wiese 2			
5135		25,2	16:26
5136		26,3	16:26
5137		28,8	16:26
5138		27,3	16:26
Mittelwert		26,9	
Wiese 3			
5146		33,1	16:53
5147		30,1	16:53
5148		28,6	16:53
Mittelwert		30,6	
Mittelwerte nach Flächentypen			
	niedrige Wiese	28,6	
	Stauden auf Erde	37,71111111	
	Schotter (dunkel)	40,63333333	
	Stauden auf Mineralmulch	39,4	
	hohe Wiese	30,6	

Tabelle 21: Prüfung der Abweichung zwischen den Grünflächentypen nach Herstellerangabe

Mittelwerte	Temperatur in °C	Relative Luftfeuchte in %	Windgeschwindigkeit in m/s	Absorbierte Strahlung in %
Stauden auf Mineralmulch	30,00625	29,3875	2,04708333	89,7006333
Schotter (dunkel)	30,215	27,8	1,8725	93,6881097
Stauden auf Erde	29,8266667	30,4950475	2,8475	91,414
Niedrige Wiese	29,91625	28,58125	1,49310417	94,5217308
Höhere Wiese	29,7789474	40,4447295	2,53026316	82,117
Schotter (hell)	29,7868421	30,7959824	1,99078947	65,474
Differenzen der Mittelwerte				

Stauden a. M. - Schotter dunkel	0,20875	1,5875	0,17458333	3,98747642
Stauden a. M. - Stauden a. Erde	0,17958333	1,1075475	0,80041667	1,713073
Stauden a. M. - niedrige Wiese	0,09	0,80625	0,55397917	4,8210975
Stauden a. M. - höhere Wiese	0,22730263	11,0572295	0,48317982	7,583969
Stauden a. M. - Schotter hell	0,21940789	1,40848237	0,05629386	24,226466
Schotter hell - Stauden a. Erde	0,03982456	0,30093487	0,85671053	25,939539
Schotter hell - niedrige Wiese	0,12940789	2,21473237	0,49768531	29,0475635
Schotter hell - höhere Wiese	0,00789474	9,64874711	0,53947368	16,642497
Schotter hell - Schotter dunkel	0,42815789	2,99598237	0,11828947	28,2139424
Schotter dunkel - Stauden auf Erde	0,38833333	2,6950475	0,975	2,27440342
Schotter dunkel - niedrige Wiese	0,29875	0,78125	0,37939583	0,83362108
Schotter dunkel - höhere Wiese	0,43605263	12,6447295	0,65776316	11,5714454
Stauden auf Erde - niedrige Wiese	0,08958333	1,9137975	1,35439583	3,1080245
Stauden auf Erde - höhere Wiese	0,0477193	9,94968197	0,31723684	9,297042
niedrige Wiese - höhere Wiese	0,13730263	11,8634795	1,03715899	12,4050665
Abweichung Anteilig				
Stauden a. M. - Schotter dunkel			0,08528394	
Stauden a. M. - Stauden a. Erde			0,28109453	
Stauden a. M. - niedrige Wiese			0,27061877	
Stauden a. M. - höhere Wiese			0,19096031	
Stauden a. M. - Schotter hell			0,02749954	
Schotter hell - Stauden a. Erde			0,3008641	
Schotter hell - niedrige Wiese			0,24999394	
Schotter hell - höhere Wiese			0,21320853	
Schotter hell - Schotter dunkel			0,05941837	
Schotter dunkel - Stauden auf Erde			0,34240562	
Schotter dunkel - niedrige Wiese			0,2026146	
Schotter dunkel - höhere Wiese			0,2599584	
Stauden auf Erde - niedrige Wiese			0,47564384	
Stauden auf Erde - höhere Wiese			0,1114089	
niedrige Wiese - höhere Wiese			0,40990163	
Herstellerangabe:	0,2	2,5		
Abweichung > Herstellerangabe?				
Stauden a. M. - Schotter dunkel	Ja	Nein	Nein	Nein
Stauden a. M. - Stauden a. Erde	Nein	Nein	Ja	Nein
Stauden a. M. - niedrige Wiese	Nein	Nein	Ja	Nein
Stauden a. M. - höhere Wiese	Ja	Ja	Ja	Nein
Stauden a. M. - Schotter hell	Ja	Nein	Nein	Ja
Schotter hell - Stauden a. Erde	Nein	Nein	Ja	Ja
Schotter hell - niedrige Wiese	Nein	Nein	Ja	Ja
Schotter hell - höhere Wiese	Nein	Ja	Ja	Ja
Schotter hell - Schotter dunkel	Ja	Ja	Nein	Ja
Schotter dunkel - Stauden auf Erde	Ja	Ja	Ja	Nein
Schotter dunkel - niedrige Wiese	Ja	Nein	Ja	Nein
Schotter dunkel - höhere Wiese	Ja	Ja	Ja	Ja
Stauden auf Erde - niedrige Wiese	Nein	Nein	Ja	Nein
Stauden auf Erde - höhere Wiese	Nein	Ja	Ja	Nein

niedrige Wiese - höhere Wiese	Nein	Ja	Ja	Ja
-------------------------------	------	----	----	----

Tabelle 22: Ergebnisse der T-Tests (beidseitig, unterschiedliche Varianz) der Mittelwerte nach Grünflächentypen von Lufttemperatur, Rel. Luftfeuchte und absorbiertes Strahlung

	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	absorbierte Strahlung in %
Stauden a. M. - Schotter dunkel	0,3195432	0,08540677	0,02382172
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Stauden a. M. - Stauden a. Erde	0,37095594	0,18344594	0,12928168
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Stauden a. M. - niedrige Wiese	0,69514187	0,22602091	0,00038146
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Stauden a. M. - höhere Wiese	0,20287453	3,1982E-08	0,01462997
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	FALSCH
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	WAHR	FALSCH
Stauden a. M. - Schotter hell	0,21866935	0,01333295	1,7875E-09
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Schotter hell - Stauden a. Erde	0,7341669	0,66447049	2,174E-10
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Schotter hell - niedrige Wiese	0,44794707	0,00215941	2,7886E-06
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Schotter hell - höhere Wiese	0,86480811	3,3E-171	0,00033972
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Schotter hell - Schotter dunkel	0,03122092	0,01799164	1,3667E-06
Wert<0,05 - signifikant	WAHR	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Schotter dunkel - Stauden auf Erde	0,04064477	0,01557018	0,13217604

Wert<0,05 - signifikant	WAHR	WAHR	FALSCH
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Schotter dunkel - niedrige Wiese	0,16194113	0,35958948	0,49672896
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Schotter dunkel - höhere Wiese	0,03059564	0,0002755	0,00183432
Wert<0,05 - signifikant	WAHR	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	WAHR	FALSCH
Stauden auf Erde - niedrige Wiese	0,64878668	0,03201888	0,00130461
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	FALSCH
Stauden auf Erde - höhere Wiese	0,6815932	1,3367E-08	0,00597719
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	WAHR	FALSCH
niedrige Wiese - höhere Wiese	0,42009732	3,773E-08	0,00289626
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	WAHR	FALSCH

Tabelle 23, Berechnung U-Tests, Windgeschwindigkeit Ingelheim

	Stauden a.M.	Schotter dunkel
Rangsumme	54	24
n	8	4
U	14	18
U_{min}	14	
μ	16	
σ	5,887840578	
α	0,05	
z	-0,33968311	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,734095182	

	Stauden a. Mineralmulch	Stauden auf Erde
Rangsumme	61,5	101
n	8	12
U	70,5	73
U_{min}	70,5	

μ	48
σ	12,9614814
α	0,05
z	1,735912687
z_{krit}	-1,644853627
p-value	0,082579274

	Stauden a. Mineralmulch	niedrige Wiese
Rangsumme	75	61
n	8	8
U	25	39
U_{min}	25	
μ	32	
σ	9,521904571	
α	0,05	
z	-0,735147044	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,462249946	

	Stauden a. Mineralmulch	Hohe Wiese
Rangsumme	211	3359
n	8	76
U	433	175
U_{min}	175	
μ	304	
σ	65,62519841	
α	0,05	
z	-1,965708343	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,049332311	

	Stauden a. Mineralmulch	Heller Schotter
Rangsumme	294	3276
n	8	76
U	350	258
U_{min}	258	
μ	304	
σ	65,62519841	
α	0,05	
z	-0,700950262	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,483334056	

	Heller Schotter	Stauden a. Erde
Rangsumme	407	782
n	76	12
U	3431	208
U_{min}	208	
μ	456	
σ	82,24354078	
α	0,05	
z	-3,015434375	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,002566115	

	Heller Schotter	niedrige Wiese
Rangsumme	3358	212
n	76	8
U	176	432
U_{min}	176	
μ	304	
σ	65,62519841	
α	0,05	
z	-1,950470293	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,051120091	

	Heller Schotter	Hohe Wiese
Rangsumme	4749	6879
n	76	76
U	3953	1823
U_{min}	1823	
μ	2888	
σ	271,3742803	
α	0,05	
z	-3,924469183	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	8,69212E-05	

	Heller Schotter	Schotter dunkel
Rangsumme	3120,5	119,5
n	76	4
U	109,5	194,5

U_{\min}	109,5
μ	152
σ	45,29900661
α	0,05
z	-0,93821042
z_{krit}	-1,644853627
p-value	0,348136285

	Schotter dunkel	Stauden a. Erde
Rangsumme	21	115
n	4	12
U	37	11
U_{\min}	11	
μ	24	
σ	8,246211251	
α	0,05	
z	-1,576481563	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,114914865	

	Schotter dunkel	niedrige Wiese
Rangsumme	30	48
n	4	8
U	12	20
U_{\min}	12	
μ	16	
σ	5,887840578	
α	0,05	
z	-0,67936622	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,496905848	

	Schotter dunkel	Hohe Wiese
Rangsumme	82,5	3157,5
n	4	76
U	231,5	72,5
U_{\min}	72,5	
μ	152	
σ	45,29900661	
α	0,05	
z	-1,755005373	
z_{krit}	-1,644853627	

p-value	0,079258389
----------------	-------------

	Stauden a. Erde	niedrige Wiese
Rangsumme	160	50
n	12	8
U	14	82
U_{min}	14	
μ	48	
σ	12,9614814	
α	0,05	
z	-2,623156949	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,008711913	

	Stauden a. Erde	Hohe Wiese
Rangsumme	649	3267
n	12	76
U	341	571
U_{min}	341	
μ	456	
σ	82,24354078	
α	0,05	
z	-1,398286101	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,16202717	

	Stauden a. Erde	Hohe Wiese
Rangsumme	142	3428
n	8	76
U	502	106
U_{min}	106	
μ	304	
σ	65,62519841	
α	0,05	
z	-3,017133735	
z_{krit}	-1,644853627	
p-value	0,002551772	

Tabelle 24, Für U-Tests der Windgeschwindigkeit verwendete Messwerte [m/s]

Stauden a. Mineralmulch	Heller Schotter	Schotter dunkel	Stauden a. Erde	niedrige Wiese	Hohe Wiese
------------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	-----------------------

4,24666667	1,4	3,4	3,25	1,63666667	4,9
1,93	2,3	1,31	3,55	0,25	3,8
3,15	2,7	1,41	3,75	2,49666667	1,5
1,15	2,4	1,37	3,35	1,28	1,9
1,3	1,6		3,53	1,155	2,8
1,6	2,3		4,2	2	1,4
1,4	3,1		2,18	1,0525	3
1,6	2		1,85	2,074	1,8
	1,9		1,03		2,2
	2,2		2,43		1,6
	2,5		2,01		2,1
	1,8		3,04		3
	1,5				2,8
	1,8				3,2
	3,5				2,8
	2,6				2,8
	2,6				1,7
	2,8				3,2
	2,2				2
	2,1				1,1
	1,8				1,7
	1,3				2,1
	2,2				1,9
	2,2				2,8
	2,6				1,6
	2,7				2,5
	1,5				2
	1,3				2
	2,4				2,2
	1,4				2,3
	1,1				2,6
	1,2				1,9
	1,5				1,7
	1,3				2,3
	1,5				4,9
	1,7				3,6
	2,3				3,5
	3,4				2,5
	2				1,5
	1				1,8
	1,7				2,2
	1,9				2,9
	2,5				1,6
	1,1				2,7
	1,2				3,4
	1,5				3,1
	1,5				2

1,8	1,9
1,7	2,1
2,4	2,6
2,4	1,9
2,1	0,9
2,5	1,6
1,7	4,1
1,8	4,5
2,2	2
2,6	1,4
2	2,4
2,6	2,6
1,6	3,2
1,3	2,5
2,5	1,6
2,5	3,7
1,5	2
1,9	2,2
2,6	3,3
1,5	2,6
1,9	3,8
1,6	2,1
1,2	2,5
0,9	2,4
1,7	4,7
2	3,7
2,9	3,2
2,6	2,7
2,2	3,2

Tabelle 25: Ergebnisse Mann-Whitney-U-Test, Signifikanzniveau 5 %, beidseitig, P = Wahrscheinlichkeit dafür, dass Verteilungen sich nicht unterscheiden

Verglichene Grünflächentypen	P	Verteilungen signifikant (P<0,05) unterschiedlich?
Stauden a. M. - Schotter dunkel	0,73409518	FALSCH
Stauden a. M. - Stauden a. Erde	0,08257927	FALSCH
Stauden a. M. - niedrige Wiese	0,46224995	FALSCH
Stauden a. M. - höhere Wiese	0,04933231	WAHR
Stauden a. M. - Schotter hell	0,48333406	FALSCH
Schotter hell - Stauden a. Erde	0,00256611	WAHR

Schotter hell - niedrige Wiese	0,05112009	FALSCH
Schotter hell - höhere Wiese	8,6921E-05	WAHR
Schotter hell - Schotter dunkel	0,35	FALSCH
Schotter dunkel - Stauden auf Erde	0,11491486	FALSCH
Schotter dunkel - niedrige Wiese	0,50	FALSCH
Schotter dunkel - höhere Wiese	0,07925839	FALSCH
Stauden auf Erde - niedrige Wiese	0,00871191	WAHR
Stauden auf Erde - höhere Wiese	0,16202717	FALSCH
niedrige Wiese - höhere Wiese	0,00255177	WAHR

Tabelle 26: Standardabweichungen der Messwerte innerhalb eines Grünflächentypen

	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	absorbierte Stahlung in %
dunkler Schotter	0,20524376	1,10227038	0,88262039	1,98358746
niedrige Wiese	0,45088526	1,31295201	0,61432582	0,40025957
Stauden auf Erde	0,2863856	1,58656976	0,67769244	2,55859593
Stauden auf Mineralmulch	0,35213401	1,13613861	0,59955179	2,15706931
heller Schotter	0,30058807	0,28276319	0,56642406	1,69002744
hohe Wiese	0,26522869	0,17550183	0,86678774	3,85911846

7.2 Ergebnisse Klimamessungen Budesheim Adriana Rizos, Christopher Trumpp

Tabelle 27: Handmessungen, Rohdaten ohne Korrektur

Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Lux einfallend (ES)	Lux reflektiert (RS)	Zeit
Rathausplatz: Stauden auf Erde	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	
1.Messung	23,84	34,1	1,61	83.340	9.320	13:10
2.Messung	24,77	32,7	2,67	83.480	8.870	13:30
3.Messung	23,7	33,7	1,54	89.970	9.890	13:50
4.Messung	25,13	31,5	0,83	83.260	10.470	14:10
Rathausplatz: Schotter (hell)	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	
1.Messung	24,47	33	1,89	92.990	19.880	13:20
2.Messung	24,9	32,4	0,81	84.420	19.920	13:40
3.Messung	24,77	32,2	2,04	84.160	18.660	14:00
4.Messung	26,21	29,6	2,71	87.010	19.440	14:20
Am Schwimmbad: Wiese	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1.Messung	24,16	35,4	0,75	91.600	5.310	13:20
2.Messung	23,87	36,1	1,16	103.580	5.770	13:40
3.Messung	24,64	35,2	1,11	94.880	6.050	14:00
4.Messung	24,87	33,6	1,74	90.790	5.500	14:20
Am Schwimmbad: Schotter (hell)	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1.Messung	25,53	33	0,65	91.230	18.400	13:10
2.Messung	24,34	34,6	2,37	89.230	20.430	13:30
3.Messung	24,8	34,8	–	91.880	20.300	13:50
4.Messung	24,76	33,7	2,06	93.130	19.240	14:10
Spielplatz Zierrasen						
<i>Geräte Nr.</i>	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	
1. Messung	23,7	36,1	0,29	89220	6100	13:10
2. Messung	23,02	40,9	0,93	93520	6700	13:30
3. Messung	24,65	34,7	1,6	96370	5980	13:50
4. Messung	24,56	33,3	1,38	90280	5710	14:10
Spielplatz Schotter	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	

1. Messung	22,81	39,4	2,69	93600	16220	13:20
2. Messung	23,29	38,7	0,89	95980	17000	13:40
3. Messung	24,38	36,4	0,93	94940	16840	14:00
4. Messung	24,59	34,4	1,3	46050	9100	14:20
Insektenwiese						
Hohes Gras	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1. Messung	24,06	35,3	0,68	82210	3550	13:10
2. Messung	24,00	36,8	1,19	81310	3490	13:30
3. Messung	24,49	35,2	1,04	84140	3450	13:50
4. Messung	24,34	35,6	2,21	77720	3260	14:10
Gemähtes Gras	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1. Messung	23,41	37,0	1,76	80850	5710	13:20
2. Messung	24,16	34,6	0,37	77750	6070	13:40
3. Messung	23,94	34,0	0,59	77000	6450	14:00
4. Messung	25,20	34,3	0,49	79750	6030	14:20

Tabelle 28: verwendete Rohdaten der Klimastationen (Daten von den Zeitpunkten, an denen die Handmessungen aufgenommen wurden)

Datum und Ort	Zeit	Windgeschwindigkeit [m/s]	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]
Unit		m/s	°C	%
Gelb - Rathausplatz				
Stauden auf Erde - hier stand die Klimastation				
14.05.2022	13:10:00	0,7	23,2	36,5
14.05.2022	13:30:00	0,9	23,7	35
14.05.2022	13:50:00	1,7	23,5	35,2
14.05.2022	14:10:00	1,3	24,3	33,2
Schotter (hell)				
14.05.2022	13:20:00	1	23,4	35,9
14.05.2022	13:40:00	2,7	24,3	33,4
14.05.2022	14:00:00	0,9	24,3	33,6
14.05.2022	14:20:00	1,5	24,6	32,8
Rot - Schwimmbad				
Schotter (hell) - hier stand die Klimastation				
14.05.2022	13:10:00	1,3	24	39,7

14.05.2022	13:30:00	1,1	23,8	38,2
14.05.2022	13:50:00	2,1	24,2	37,9
14.05.2022	14:10:00	1,2	24,3	37,5
Wiese				
14.05.2022	13:20:00	2,1	23,8	39,1
14.05.2022	13:40:00	1,2	23,7	37,9
14.05.2022	14:00:00	2,4	24,4	36,6
14.05.2022	14:20:00	1,3	24	37,2
Grün- Spielplatz				
Zierrasen - hier stand die Klimastation				
14.05.2022	13:10:00	1,2	22,7	40,9
14.05.2022	13:30:00	1,5	22,4	40,7
14.05.2022	13:50:00	1,1	23,8	38,5
14.05.2022	14:10:00	0,6	23,5	37,4
Schotter				
14.05.2022	13:20:00	2,7	22,5	40,2
14.05.2022	13:40:00	1,3	22,8	39,6
14.05.2022	14:00:00	0,7	23,2	39,6
14.05.2022	14:20:00	3	23,6	37,9
Blau - Insektenwiese				
Hohes Gras - hier stand die Klimastation				
14.05.2022	13:10:00	1,1	23,2	41,7
14.05.2022	13:30:00	1	23,2	40,6
14.05.2022	13:50:00	1,1	23,7	38
14.05.2022	14:10:00	0,4	23,8	38,8
Gemähtes Gras				
14.05.2022	13:20:00	1,4	23,1	39,4
14.05.2022	13:40:00	1,8	23,1	39,4
14.05.2022	14:00:00	1,5	23,6	37,2
14.05.2022	14:20:00	1	24,2	36,8

Tabelle 29: Aus korrigierten Daten der Handmessungen und Klimastationen gemittelte Standortbezogene Messwerte bzw. nur die korrigierten Werte der Handmessungen, da nicht an jedem Standort auch eine Klimastation stand

Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Lux einfallend (ES)	Lux reflektiert (RS)	Zeit
Rathausplatz: Stauden auf Erde						

1.Messung	23,48678	36,8444	1,155	103164,94	10973,03	13:10:00
2.Messung	24,18073	35,47585	1,785	103339,31	10412,555	13:30:00
3.Messung	23,55415	36,06499	1,62	111422,605	11682,965	13:50:00
4.Messung	24,63547	34,07359	1,065	103065,3	12405,355	14:10:00
Rathausplatz: Schotter (hell)	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	
1.Messung	24,47	33	1,89	115184,015	24125,51	13:20:00
2.Messung	24,9	32,4	0,81	104510,08	24175,33	13:40:00
3.Messung	24,77	32,2	2,04	104186,25	22606	14:00:00
4.Messung	26,21	29,6	2,71	107735,925	23577,49	14:20:00
Am Schwimmbad: Wiese	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1.Messung	24,08	37,760645	1,025	91600	5310	13:20:00
2.Messung	23,835	37,40512	1,13	103580	5770	13:40:00
3.Messung	24,42	36,814015	1,605	94880	6050	14:00:00
4.Messung	24,585	35,825875	1,47	90790	5500	14:20:00
Am Schwimmbad: Schotter (hell)	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	
1.Messung	25,53	33	0,65	91230	18400	13:10:00
2.Messung	24,34	34,6	2,37	89230	20430	13:30:00
3.Messung	24,8	34,8		91880	20300	13:50:00
4.Messung	24,76	33,7	2,06	93130	19240	14:10:00
Spielplatz: Zierrasen						
Geräte Nr.	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	
1. Messung	23,18783	41,951765	0,745	89220	6100	13:10:00
2. Messung	22,71046	44,285595	1,215	93520	6700	13:30:00
3. Messung	24,16652	40,457725	1,35	96370	5980	13:50:00
4. Messung	23,98415	39,39379	0,99	90280	5710	14:10:00
Spielplatz: Schotter (hell)	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 3	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	Geräte-Nr: 4	
1. Messung	22,81	39,4	2,69	93600	16220	13:20:00
2. Messung	23,29	38,7	0,89	95980	17000	13:40:00
3. Messung	24,38	36,4	0,93	94940	16840	14:00:00
4. Messung	24,59	34,4	1,3	46050	9100	14:20:00
Insektenwiese						
Insektenwiese: Hohes Gras	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1. Messung	23,63	38,5	0,89	82210	3550	13:10:00
2. Messung	23,6	38,7	1,095	81310	3490	13:30:00
3. Messung	24,095	36,6	1,07	84140	3450	13:50:00
4. Messung	24,07	37,2	1,305	77720	3260	14:10:00
Insektenwiese: Gemähtes Gras	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 2	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	Geräte-Nr: 1	
1. Messung	23,41	37	1,76	80850	5710	13:20:00
2. Messung	24,16	34,6	0,37	77750	6070	13:40:00
3. Messung	23,94	34	0,59	77000	6450	14:00:00
4. Messung	25,2	34,3	0,49	79750	6030	14:20:00

Tabelle 30: absorbierte Strahlung

absorbierte Strahlung in %				
	Rathausplatz: Stauden auf Erde	Rathausplatz: Schotter (hell)	Am Schwimmbad: Wiese	Am Schwimmbad: Schotter (hell)
1.Messung	89,3636055	79,0548107	94,2030568	79,8311959
2.Messung	89,9239167	76,8679442	94,4294265	77,104113
3.Messung	89,5147264	78,3023192	93,6235245	77,9059643
4.Messung	87,9635969	78,11548	93,9420641	79,3407065
absorbierte Strahlung in %				
	Spielplatz: Zierrasen	Spielplatz: Schotter (hell)	Insektenwiese: Hohes Gras	Insektenwiese: Gemähtes Gras
1.Messung	93,1629679	82,6709402	95,6817905	92,9375387
2.Messung	92,8357571	82,2879767	95,707785	92,192926
3.Messung	93,7947494	82,2624816	95,899691	91,6233766
4.Messung	93,6752326	80,2388708	95,8054555	92,4388715

Tabelle 31: Mittelwerte der Grünflächentyp-Gruppen

Mittelwerte	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwin- digkeit [m/s]	Lux einfallend (ES)	Lux reflektiert (RS)	absorbierte Strahlung in %
Niedrige Vegetation	23,8846742	37,3706421	1,09458333	92144,3463	7851,99208	91,6189388
Höhere Vegetation	24,039375	37,3507069	1,19875	88278,75	4547,5	94,9115992
Schotterflächen	24,5708333	34,35	1,66727273	93971,3558	19334,5275	79,4985669

Tabelle 32: Daten der Thermalkamera Budesheim mit Mittelwerten

Thermalkamera		
Spielplatz		
Nr.	Grünflächentyp	Temperatur [°C]
5149	Zierrasen	39
5152	Sand	46,9
5153	Schotter	38,5
5154	hohe Wiese	27,6
5155	Rindenmulch	46,6
5157	Lückige Wiese	43,5
Insektenwiese		
5153	hohes Gras ca. 50 in Baumnähe	38,5

5159	gemähtes Gras ca. 8cm mit Gänseblümchen	24,9
5160	Erde in gemähter Wiese	43,7
5162	hohes Gras ca. 50 ohne Baumnähe	22,1
5163	grauer Stein	37,3
Rathaus		
5170	Erde in Staudenfläche	65
5173	zwischen hochgewachsenem Salbei	26,1
5174	Übergang zu lückiger Vegetation	28,9
Am Schwimmbad		
5164		41,3
5165		41,6
5166	Steine	28
5167	Wiese mit höherem Bewuchs	28,8
5168	Wiese mit niedrigem Bewuchs	35,7
Mittelwerte nach Flächentypen		
	Niedrigere Vegetation	33,2
	Höhere Vegetation	29,25
	Schotter	37,675
	Lückige Vegetation	41,44

Tabelle 33: Wärmemessungen nachts Budesheim mit Mittelwerten

Klimamessungen nachts				
Wärmebildkamera				
Fläche: Am Schwimmbad				
Grünflächentyp	Datum	Uhrzeit	Bildnummer	Temperatur [°C]
Beet	15.05.2022	3:18 Uhr	5185-5186	
Messung 1			5185	9,3
Messung 2			5186	11,7
höherwüchsige Wiese	15.05.2022	3:16 Uhr	5180 + 5182	
Messung 1			5180	5,1
Messung 2			5182	7,4
Schotterfläche	15.05.2022	3:14 Uhr	5183-5184	
Messung 1			5183	11,3
Messung 2			5184	12
Fläche: Rathausplatz				

Grünflächentyp	Datum	Uhrzeit	Bildnummer	Temperatur [°C]
Beet	15.05.2022	3:10 Uhr	5178-5179	
Messung 1			5178	12,9
Messung 2			5179	8,1
Schotterfläche	15.05.2022	3:08 Uhr	5176-5177	
Messung 1			5176	11,9
Messung 2			5177	12,6
Fläche: Insektenwiese				
Grünflächentyp	Datum	Uhrzeit	Bildnummer	Temperatur [°C]
höherwüchsige Wiese	15.05.2022	3:25 Uhr	5190-5191	
Messung 1				7,4
Messung 2				7,7
Zierrasen	15.05.2022	3:23 Uhr	5187 + 5189	
Messung 1			5187	9,4
Messung 3			5189	6,6
Fläche: Spielplatz am Bubenstück				
Grünflächentyp	Datum	Uhrzeit	Bildnummer	Temperatur [°C]
Schotterfläche	15.05.2022	3:30 Uhr	5193-5194	
Messung 1			5193	12,3
Messung 2			5194	12,1
Zierrasen	15.05.2022	3:33 Uhr	5195-5196	
Messung 1			5195	5,3
Messung 2			5196	6,4
Rindenmulch	15.05.2022	3:36 Uhr		
Messung 1			5198	7,4
Sandfläche	15.05.2022	3:35 Uhr		
Messung 1			5197	8,7
Mittelwerte nach Grünflächentyp:				
Schotter	12,033333			
niedrigere Vegetation	8,7125			
höhere Vegetation	6,9			
Sand (nur eine Messung!)	8,7			
Rindenmulch (nur eine Messung!)	7,4			

Tabelle 34: Prüfung der Abweichungen zwischen den Grünflächentypen nach Herstellerangaben

Mittelwerte	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	absorbierte Strahlung in %
Niedrige Vegetation	23,8846742	37,3706421	1,09458333	91,6189388
Höhere Vegetation	24,039375	37,3507069	1,19875	94,9115992

Schotterflächen	24,5708333	34,35	1,66727273	79,4985669
Abweichung Mittelwerte				
Niedrige - höhere Vegetation	0,15470083	0,01993521	0,10416667	3,29266047
Niedrige Vegetation - Schotter	0,68615917	3,02064208	0,57268939	12,1203719
Höhere Vegetation - Schotter	0,53145833	3,00070688	0,46852273	15,4130323
Anteile				
Niedrige - höhere Vegetation			0,08689607	
Niedrige Vegetation - Schotter			0,34348873	
Höhere Vegetation - Schotter			0,28101145	
Herstellerangabe:	0,2	2,5	5% + eine Stelle oder 0,3 m/s	10
Größer als Herstellerangabe?				
Niedrige - höhere Vegetation	Nein	Nein	Nein	Nein
Niedrige Vegetation - Schotter	Ja	Ja	Ja	Ja
Höhere Vegetation - Schotter	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabelle 35: Ergebnisse der T-Tests (beidseitig, unterschiedliche Varianz) der Mittelwerte nach Grünflächentypen von Lufttemperatur, Rel. Luftfeuchte und absorbierter Strahlung

Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	absorbierte Strahlung in %
T-Test, Mittelwertvergleich			
Niedrige und hohe Vegetation	0,5079538	0,98498979	0,00010145
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Hohe Vegetation und Schotter	0,08100207	0,00361862	5,1474E-14
Wert<0,05 - signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	WAHR	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Schotter und niedrige Vegetation	0,04474751	0,02643272	5,0772E-13
Wert<0,05 - signifikant	WAHR	WAHR	WAHR
Wert<0,01 - sehr signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR
Wert<0,001 - hoch signifikant	FALSCH	FALSCH	WAHR

Tabelle 36: Standardabweichungen der Messwerte innerhalb eines Grünflächentypen

Grünflächentyp	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	absorbierte Strahlung in %
niedrige Vegetation	0,63945781	3,25925376	1,85554367
Höhere Vegetation	0,32608892	0,90221259	0,88994864

Schotterflächen	0,85071008	2,64496377	1,9343048
-----------------	------------	------------	-----------

Tabelle 37, Berechnung U-Tests, Windgeschwindigkeit Budesheim

	Niedrige Vegetation	Höhere Vegetation	
Rangsumme	121	89	
n	12	8	
U	53	43	
U_{min}	43		
μ	48		
σ	12,9614814		
α	0,05		
z	-0,385758375		
z_{krit}	-1,644853627		
p-value	0,699675626		

	Niedrige Vegetation	Schotter	
Rangsumme	95	95	
n	12	7	
U	67	17	
U_{min}	17		
μ	42		
σ	11,83215957		
α	0,05		
z	-2,112885637		
z_{krit}	-1,644853627		
p-value	0,034610558		

	Höhere Vegetation	Schotter	
Rangsumme	52	68	
n	8	7	
U	40	16	
U_{min}	16		
μ	28		
σ	8,640987598		
α	0,05		
z	-1,38873015		
z_{krit}	-1,644853627		
p-value	0,164914823		

Tabelle 38, Für U-Tests der Windgeschwindigkeit verwendete Messwerte [m/s]

Niedrige Vegetation	Höhere Vegetation	Schotter
1,155	1,025	1,89
1,785	1,13	0,81
1,62	1,605	2,04
1,065	1,47	2,71
0,745	0,89	0,65
1,215	1,095	2,37
1,35	1,07	2,06
0,99	1,305	
1,76		
0,37		
0,59		
0,49		

Tabelle 39, Ergebnisse Mann-Whitney-U-Test, Signifikanzniveau 5 %, beidseitig, P = Wahrscheinlichkeit dafür, dass Verteilungen sich nicht unterscheiden

Verglichene Grünflächentypen	P	Verteilungen signifikant (P<0,05) verschieden?
Niedrige Vegetation- Höhere Vegetation	0,69967563	FALSCH
Niedrige Vegetation- Schotter	0,03461056	WAHR
Höhere Vegetation - Schotter	0,16491482	FALSCH

7.3 Ergebnisse Biodiversität Ingelheim Alissa Gehrig und Mari Külheim

Tabelle 40: Biodiversität Stauden auf Erde 1

Messort	Stauden auf Erde 1				
Grünflächentyp	Stauden auf Erde				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen	3	2		3	8
Hummeln				1	1
Wespen					0
Schmetterling					0
Ameisen		4	2		6
Libellen				1	1
Fliegen	4	3	3	4	14
Käfer	1			1	2
Sonstige Insekten					0
Spinnen	1				1
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	9	9	6	9	33
Diversität Artengruppen	4	3	3	4	7

Tabelle 41: Biodiversität Stauden auf Erde 2

Messort	Stauden auf Erde 2				
Grünflächentyp	Stauden auf Erde				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen					0
Hummeln					0
Wespen			1	1	2
Schmetterling					0
Ameisen	2	6		1	9
Libellen					0
Fliegen	6	10	11		27
Käfer		3		1	4
Sonstige Insekten	6	1			7
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	14	20	12	3	49
Diversität Artengruppen	3	4	2	3	5

Tabelle 42: Biodiversität Wiese 1

Messort	Wiese 1				
Grünflächentyp	Wiese (kurz)				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen					0
Hummeln					0
Wespen					0
Schmetterling					0
Ameisen	1	1		3	5
Libellen					0
Fliegen	3	3	2	1	9
Käfer		1			1
Sonstige Insekten	8	2	1	1	12
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel				1	1
Individuen total	12	7	3	6	28
Diversität Artengruppen	3	4	2	4	5

Tabelle 43: Biodiversität Wiese 2

Messort	Wiese 2				
Grünflächentyp	Wiese (kurz)				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen	1				1
Hummeln					0
Wespen					0
Schmetterling					0
Ameisen	2	3	2	3	10
Libellen					0
Fliegen	2	3	3	2	10
Käfer					0
Sonstige Insekten	2	2		2	6
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	7	8	5	7	27
Diversität Artengruppen	4	3	2	3	4

Tabelle 44: Biodiversität Wiese 3

Messort	Wiese 3				
Grünflächentyp	Wiese (lang)				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen		5	1	1	7
Hummeln		1		1	2
Wespen	1	1	1		3
Schmetterling					0
Ameisen			1		1
Libellen					0
Fliegen	2	1	1	2	6
Käfer			2	1	3
Sonstige Insekten		2	2	2	6
Spinnen		1	1		2
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken		21			21
Vögel		1		1	2
Motten	1				1
Eidechsen					0
Individuen total	4	33	9	8	54
Diversität Artengruppen	3	8	7	6	9

Tabelle 45: Biodiversität Wiese 3 zusätzliche Messung

Messort	Wiese 3.1				
Grünflächentyp	Wiese (lang)				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen	1	3	5	2	11
Hummeln		2		1	3
Wespen	5	1			6
Schmetterling					0
Ameisen		1			1
Libellen					0
Fliegen					0
Käfer	6	3	1		10
Sonstige Insekten			2	1	3
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken	7	2			9
Vögel			2	1	3
Motten	1				1
Eidechsen				1	1
Individuen total	20	12	10	6	48
Diversität Artengruppen	5	6	4	5	8

Tabelle 46: Biodiversität Mineralmulch 2

Messort	Mineralmulch 2				
Grünflächentyp	Mineralmulch 2				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen		1	1	3	5
Hummeln				2	2
Wespen				1	1
Schmetterling					0
Ameisen		2			2
Libellen					0
Fliegen	16	13	10	14	53
Käfer					0
Sonstige Insekten		1			1
Spinnen		1			1
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	16	18	11	20	65
Diversität Artengruppen	1	5	2	4	7

Tabelle 47: Biodiversität Mineralmulch 3

Messort	Mineralmulch 3				
Grünflächentyp	Mineralmulch				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen	4	2	1	4	11
Hummeln					0
Wespen				1	1
Schmetterling					0
Ameisen	1				1
Libellen					0
Fliegen	8	6	8	5	27
Käfer	1			2	3
Sonstige Insekten	6	6	3	12	27
Spinnen		1			1
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	20	15	12	24	71
Diversität Artengruppen	5	4	3	5	7

Tabelle 48: Biodiversität Schotter 1

Messort	Schotter 1				
Grünflächentyp	Schotter dunkel				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen					0
Hummeln					0
Wespen					0
Schmetterling					0
Ameisen					0
Libellen					0
Fliegen	1				1
Käfer					0
Sonstige Inse	1				1
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	2	0	0	0	2
Diversität Ar	2	0	0	0	2

Tabelle 49: Biodiversität Schotter 2

Messort	Schotter 2				
Grünflächentyp	Schotter hell				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen					0
Hummeln					0
Wespen					0
Schmetterling					0
Ameisen			1	2	3
Libellen					0
Fliegen	1	3		1	5
Käfer					0
Sonstige Insekten					0
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen total	1	4	2	1	8
Diversität Artengruppen	1	2	1	1	2

Tabelle 50: Biodiversität Schotter 3

Messort	Schotter 3				
Grünflächentyp					
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Summe
Bienen					0
Hummeln					0
Wespen					0
Schmetterling					0
Ameisen					0
Libellen					0
Fliegen				1	1
Käfer					0
Sonstige Inse	1				1
Spinnen					0
Asseln/Mehrfüßler					0
Regenwürmer					0
Schnecken					0
Vögel					0
Individuen tot	1	0	0	1	2
Diversität Ar	1	0	0	1	2

7.4 Ergebnisse Biodiversität Budesheim
Simon Walter und Laura Wörner

Tabelle 51: Biodiversität aller Untersuchungsflächen Budesheim

Tiergruppen	Summe der gezählten Individuen je Tiergruppe				
	Hohe Vegetation	Schotter	Stauden	Niedrige Vegetation	Rindenmulch
Bienen	29	0	2	7	0
Hummeln	22	0	1	1	0
Wespen	6	2	0	4	0
Schmetterling	14	0	0	3	0
Ameisen	37	18	0	29	3
Libellen	0	0	0	1	0
Fliegen	116	55	13	70	5
Käfer	24	4	0	17	1
Sonstige Insekten	36	1	200	8	0
Spinnen	3	2	1	3	0
Asseln/Mehrfüßler	0	0	0	0	0
Regenwürmer	0	0	0	0	0
Schnecken	1	0	0	0	0
Vögel	1	0	0	3	0

7.5 Vergleichende Bewertung Deltaberechnungen Markus Arnold, Sven Gasiorek

Tabelle 52: Deltaberechnungen

Büdesheim		Biodiversität						Deltaberechnung		
Grünflächentyp	Temp. mittel	Delta Temp	Oberfl.temp. Tag	Delta Ob.t. Tag	Oberfl.temp. Nacht	Delta Ob.t. Nacht	Individuenzahl	Artengruppen	Individuenzahl	Artengruppen
hohe Vegetation	24,039375	Referenzfläche	29,25	Referenzfläche	6,9	Referenzfläche	58,5	11,00	Referenzfläche	Referenzfläche
niedrige Vegetation	23,88467417	-0,154700833	33,2	3,95	8,7125	1,8125	90,75	11,00	32,25	0,00
Schotter	24,57083333	0,531458333	37,675	8,425	12,0333	5,133333333	27,33333333	6,00	-31,16666667	-5,00
lückige Vegetation	-	-	41,44	12,19	-	-	-	-	-	-
Sand	-	-	-	-	8,7	1,8	-	-	-	-
Rindenmulch	-	-	-	-	7,4	0,5	9	3	-49,5	-8
Ingelheim		Biodiversität						Deltaberechnung		
hohe Vegetation	29,77894737	Referenzfläche	30,6	Referenzfläche	-	-	51	10	Referenzfläche	Referenzfläche
niedrige Vegetation	29,91625	-0,137	28,6	-2	-	-	27,5	6	-23,5	-4
Stauden auf Erde	29,82666667	0,048	37,71111111	7,111111111	-	-	41	9	-10	-1
Schotter hell	29,78684211	0,008	37,1	6,5	-	-	8	2	-43	-8
Schotter dunkel	30,215	0,436	40,63333333	10,03333333	-	-	2	2	-49	-8
Stauden auf Mineralmulch	30,00625	0,227	39,4	8,8	-	-	68	8	-17	-2
Mittelwerte	Temp	Delta	Oberfl. Temp. Tag	Delta	Oberfl. Temp. Nacht	Delta	Individuenzahl	Delta	Artengruppen	Delta
hohe Vegetation	26,909	Referenzfläche	29,925	Referenzfläche	6,9	Referenzfläche	54,75	Referenzfläche	10,50	Referenzfläche
niedrige Vegetation	26,900	-0,146	30,900	0,975	8,713	1,813	59,125	4,375	8,50	-2,00
Schotter hell	27,179	0,270	37,388	7,463	12,033	5,133	17,667	-37,083	4,00	-6,50
Schotter dunkel	30,215	0,436	40,633	10,708	-	-	2	-52,75	2	-8,50
Stauden auf Mineralmulch	30,006	0,227	39,400	9,475	-	-	68	13,25	8	-2,50
Stauden auf Erde	29,827	0,048	37,711	7,786	-	-	41	-13,75	9	-1,50
lückige Vegetation	-	-	41,440	11,515	-	-	-	-	-	-
Sand	-	-	-	-	8,7	1,8	-	-	-	-
Rindenmulch	-	-	-	-	7,4	0,5	9	-49,5	3	-8