

Optimierung der Saatgutmischungen für die Gleisbegrünung im Stadtgebiet Düsseldorf

HUILING WU

1. Einführung in das Thema Gleisbegrünung

Vor dem Hintergrund der hohen Bodenversiegelung in den Städten erfordert die zukünftige Entwicklung des Stadtgrüns nicht nur die Vermehrung der urbanen Grünflächen, sondern auch die Verbesserung des Wassermanagements, der Stadtnatur und der Stadtökologie. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Stadtentwicklung wird in der Diskussion über das Thema Nutzungspotenziale der urbanen Grünflächen häufiger die Frage betont, wie die Wiederherstellung und der Erhalt der Ökosystemdienstleistungen in der Stadt erreicht werden können.

Die schnelle Entwicklung der Bautechnik und des Baumaterials ermöglichen die Anpflanzungen an baulichen Extremstandorten mit langfristiger Wirkung, sodass die Vegetation mit der architektonischen Baukonstruktion kombiniert werden kann. Die Ausbreitung der Gebäudebegrünung weist eine neue Orientierungsrichtung in der Entwicklung der urbanen Grünflächen auf, was die naturnahe Bauwerksbegrünung vermutlich als zukünftigen Lösungsansatz verdeutlichen wird. In diesem Beitrag wird inhaltlich eine spezielle Bauwerksbegrünungsform „Gleisbegrünung“ anhand von Beispielen aus dem Raum Düsseldorf ausführlich beschrieben und über deren Vegetationsplanung und Vegetationstechnik debattiert, um zukünftige Förderungsmöglichkeiten und Nutzungspotenziale der Gleisbegrünung vollständig zu analysieren, damit sich daraus entsprechende Optimierungsvorschläge als Schlussfolgerung ergeben werden.

Schnelle Entwicklung der Gleisbegrünung in der Stadt

Im Rückblick auf die Geschichte der Bauwerksbegrünung im Allgemeinen fällt die Entstehung der Gleisbegrünung im Besonderen auf und kann in der Baugeschichte bis in die 1920er Jahre nach Berlin zurückverfolgt werden, wo zu der damaligen Zeit ein sehr innovativer technischer Durchbruch im Landschaftsbau erzielt wurde. Aufgrund der damaligen technischen Beschränkungen beim Korrosionsschutz wurde der Ausbau der Rasengleise Ende der 1930er Jahre unterbrochen und erst seit Mitte der 1980er Jahre wieder zunehmend in vielen Städten aufgenommen (vgl. AHRENS et al. 2014: 14f).

Trotz eines knapp hundertjährigen Entwicklungsverlaufs sind die meisten Gleise noch nicht mit grüner Vegetation eingedeckt. Nach einer statistischen Umfrage des Grün-
gleisnetzwerkes aus dem November 2017 waren in Deutschland über 600 km Straßen-
bahngleise begrünt, woraus ca. 90% der Begrünung aus einem Rasengleis und 10% aus
einem Sedumgleis bestanden. Die Ausbreitung der grünen Gleise zeigt in Deutschland
eine steigende Tendenz. Die Zahl der begrünter Kilometer lag in Deutschland 2009
noch bei ca. 360 km und ist seitdem mit einem durchschnittlich starken Zuwachs von
30 km pro Jahr gestiegen (siehe nachfolgende Abb. 1).

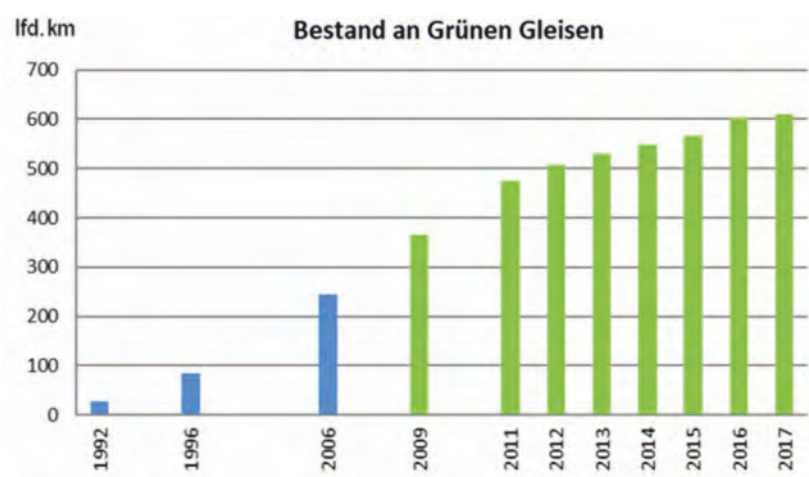


Abb. 1: Entwicklung des Bestandes an grünen Gleisen in Deutschland bis 2017 (Quelle: www.gruengleisnetzwerk.de, Geschichte der Gleisbegrünung & Trends, Umfrage 2017)

Grundlagen der Gleisbegrünung

Zur tiefergreifenden Auseinandersetzung mit dem Thema besteht die Notwendigkeit, einen Überblick über die umfassenden Grundlagen zur Gleisbegrünung zu erhalten. Die positive Beeinflussung der Stadtökologie und die daraus resultierende Umweltverbesserung werden als Hauptschwerpunkte mit umfangreichen Daten schematisch erläutert, sodass diese umweltfreundlichen Auswirkungen des Stadtgrüns besser nachvollzogen werden können.

Positive Wirkungen der Gleisbegrünung

Die ökologischen Wirkungen sind mitunter die wichtigsten Gründe für den Aufbau der Gleisbegrünung im Kontext des Stadtklimas und der Stadtökologie. Im Sinne der Nachhaltigkeitsstrategie der grünen Infrastruktur wird die Gleisbegrünung im Straßen- und Verkehrsraum eine erhebliche Rolle spielen, da die eingebrachten ökologischen Funktionen und der ökonomische Mehrwert unersetzbar sind.

Als ein populäres Diskussionsthema steht die Funktion der Regenwasserbewirtschaftung an erster Stelle, da die Rückhaltung und Wiedernutzung der Niederschläge immer eine zentrale Frage der umweltverträglichen Stadtentwicklung ist. Die nachfolgende Abb. 2 zeigt deutlich den Unterschied des Abflussverhaltens zwischen unversiegelten und versiegelten Flächen. Im Vergleich zur versiegelten Oberflächen verfügen unver-

siegelte Oberflächen erkennbar über mehr Wasserspeicherkapazitäten und eine bessere Wasserverdunstung, sodass der meiste Anteil versickern und in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt werden kann. Zur Minimierung der Abwasserbelastung sollen wasserdurchlässige Materialien bei Verkehrsplanungen mit größeren Flächen verwendet werden, z. B. Rasen, Schotterrasen und durchlässige Pflastermaterialien. Nach statistischen Laborversuchen und Einschätzungen sorgt ein Quadratmeter Vegetationsfläche im Gleis für durchschnittlich 400-500 l Regenwasserrückhaltung im Jahr, was 50-70 % einer durchschnittlichen, jährlichen Niederschlagsmenge entspricht (vgl. GRÜNGLEIS NETZWERK (Hg.) (2012): 5ff, zitiert nach HENZE et al. 2003 und SIEGL et al. 2010: 123-132).

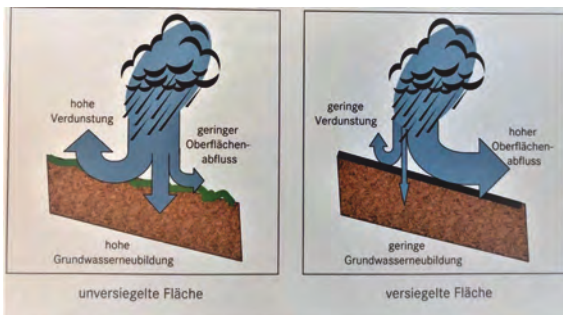


Abb. 2: Schema Abflussverhältnisse zwischen unversiegelter und versiegelter Fläche (Quelle: HAASS et al. 2010: 193)

Hinsichtlich der stadtklimatischen Wirkungen ist die Gleisbegrünung im Sommerhalbjahr zur Abkühlung des Stadtklimas hilfreich, da das Abflusswasser bei Starkregen durch die Vegetationsschichten durchgefiltert und ein schneller Ablauf eingedämmt wird. Im Vergleich zu begrünten Gleisen heizen sich das offene Schotterbett und die obere Luft im Tagesverlauf stärker auf. Dies hat zur Folge, dass die Oberflächentemperatur bei heftiger Sonneneinstrahlung bis über 50 °C erreichen kann, während die Temperatur bei begrünten Gleisen zwischen 25-30 °C liegt (vgl. GRÜNGLEIS NETZWERK (Hg.) (2012): 9ff, zitiert nach SIEGL et al. 2010: 123-132).

Die Reinigungsfunktion durch das Feinstaubbindungsvermögen von Pflanzen wird leider bei der ökologischen Bewertung für die Stadtentwicklung nicht ausreichend



Abb. 3: Reinigungseffekte von Sedumblättern (Quelle: GRÜNGLEIS NETZWERK (Hg.) (2012): 11)

berücksichtigt, obwohl die luftgetragenen Partikel der menschlichen Gesundheit langfristig schaden können. Anhand von wissenschaftlichen Forschungen zu diesem Thema wurde nachgewiesen, dass die Pflanzenblätter durch ihre Akkumulierung und Selbstreinigung als Partikelhaltung funktionieren (vgl. HERFORT & GORBACHEVSKAYA 2012: 8ff). Die nachfolgende Abb. 3 zeigt die gleichen Forschungsergebnisse vom ISAP, aus denen ersichtlich wird, dass die Feinstaubbelastung in urbanen Räumen durch Sedumblätter bzw. Sedum-

sprossen zur Schadstoffdisposition effektiv reduziert werden kann (vgl. GRÜNGLEIS NETZWERK (Hg.) (2012): 10ff). Trotz der Bequemlichkeit des Straßenbahnverkehrs bringt diese eine gewisse Lärmemission mit sich. Zur Lärminderung kann eine Gleisbegrünung auch einen positiven Beitrag leisten, da diese eine Schallminderung von etwa 5 bis 8 dB (A) im Vergleich zu einem Schottergleis bewirken kann (vgl. AHRENS et al. 2014: 22ff). Die nachfolgende Abb. 4 veranschaulicht die Minderungsleistung der Gleisbegrünung, die sich sowohl auf tiefliegende als auch auf hochliegende Gleise optimal bei der Lärmreduzierung auswirken kann.

Durch die Erschaffung von Lebensräumen für Flora und Fauna steigert die Gleisbegrünung die urbane Biodiversität, wodurch die Lebensbedingungen für kleine Lebewesen verbessert werden. Als grüner Streifen funktioniert die Gleisbegrünung nicht nur als Ausbreitungsweg für Tiere, sondern auch als deren Lebensstätte, da sie linienförmige Räume ohne Hindernisse zur sicheren Bewegung bilden. In diesen begrünten Bereichen können Schmetterlingsraupen, Blattkäfer, kleine Fliegen, Spinnen, etc. jagen und diese besiedeln (vgl. STOTTELE et al. 1992: 86)

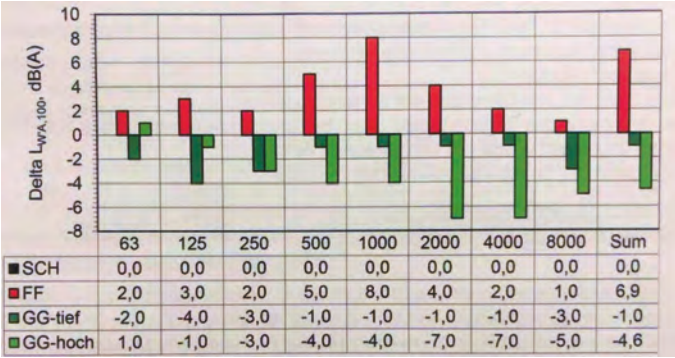


Abb. 4: Differenz der längenbezogenen Schallleistungspegel gemäß o.g. Verordnung, bezogen auf ein Schottergleis (Quelle: vgl. AHRENS et al. 2014: 23, zitiert nach KRÜGER, Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. STUVA)

Die Erweiterung der Gleisbegrünung im urbanen Raum kann das Image der Städte stark verbessern, da die Verkehrslinien mit einer Vegetationsbedeckung langfristig optisch aufgewertet werden. Aus städtebaulicher Sicht lässt sich die konventionelle Meinung über unbefahrene Bahnkörper durch grüne Gleise verändern, da diese Gleise



Abb. 5: Erscheinungsbild vor und nach dem Anbau der Gleisbegrünung in Düsseldorf (AHRENS et al. 2014: 17, Quelle: Rheinbahn AG)

zur räumlichen Integration beitragen und die städtebauliche Qualität verbessern (vgl. BESIER 2010: 109). Die nachfolgende Abb. 5 stellt die Differenzierung des Straßenraumes vor und nach dem Einbau der Gleisbegrünung in Düsseldorf dar.

Die optische Optimierung durch Erweiterung der urbanen Grünflächen wirkt sich auch auf das psychische Wohlbefinden der Bürger*innen aus und zwar dadurch, dass die begrünten Gleise, bzw. viel mehr der Grünton ein beruhigendes und entspannendes Gefühl auslösen (vgl. GRÜNGLEIS NETZWERK (Hg.) (2012): 13f). Durch die zusammengesetzten Wirkungen von Feinstaubbindung, Lärmreduzierung und der stadtgestaltlichen Aufwertung trägt die Gleisbegrünung auch zur Erhöhung an Lebensqualität und Gesundheit bei, da die Risiken von z.B. Lungenkrankheiten und Lärmbelästigung reduziert werden. (vgl. CLASSEN 2018: 299ff).

Technische Bauweisen der Gleisbegrünung

Um ein umfangreiches Gesamtbild der Gleisbegrünung und deren Wirkung feststellen zu können, sollen die Ausführungsform und die Aufbauschichten der Vegetationssysteme ausführlich dargestellt werden. Diese Erkenntnisse können in den nachfolgenden Abschnitten als wichtige Hinweise zu der vertieften Standortanalyse beitragen, z.B. mit Blick auf die Frage, inwiefern die Bauweise die aktuellen Vegetationszustände beeinflusst. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den drei folgenden Bauweisen: hochliegende Ausführungsform, tiefliegende Ausführungsform und gemischte Ausführungsform (AHRENS et al. 2014: 27).

Die nachfolgende Abb. 6 veranschaulicht die prinzipielle Ausführungsform der hochliegenden Gleisbegrünung mit dem Fahrbahnsystem ATD-G (Asphalt- Tragschicht mit direkt aufgelagertem Gleisrost für Grünes Gleis). Im Vergleich zu einer tiefliegenden Gleisbegrünung (siehe nachfolgende Abb. 7) verfügt eine hochliegende Gleisbegrünung über mehr Vegetationsschichtvolumen in der Aufbauhöhe, wodurch sich Vorteile für das Wachstum der Vegetation ergeben. Durch die hochliegende Gleisbegrünung ergibt sich für das Stadtimage ein optischer Vorteil, da die Vegetationsschicht bei der Integration in das Gleisbett besser harmonisiert. Die nachfolgende Abb. 7 stellt die prinzipielle Ausführungsform der tiefliegenden Gleisbegrünung dar, aus der ersichtlich ist, dass die Gleise die Vegetationsoberfläche überragen und die Schienen komplett sichtbar sind (vgl. AHRENS et al. 2014: 29). Neben diesen beiden wesentlichen Bauweisen gibt es auch eine gemischte Ausführungsform, die die Eigenschaften der beiden „Hauptformen“ beinhaltet. Die Vegetation im Gleis ist als tiefliegende Begrünungsform angelegt, während die Vegetation außerhalb der Gleise an den Schienen als hochliegende Form aufgebaut ist. Dies wird in der nachfolgenden Abb. 8 veranschaulicht.

Entsprechend der Vegetationstechnik werden die Vegetationssysteme grundsätzlich in ein Rasen- und ein Sedumgleis unterschieden. Beide Begrünungssysteme können sowohl auf Schwellengleisen als auch auf festen Fahrbahnsystemen verlegt werden, wenn sie durch eine entsprechend geeignete Gestaltung der Vegetationssysteme verbaut werden (vgl. AHRENS et al. 2014: 69). Für eine vernünftige Funktionalität der Wasserrückhaltung wird eine empfohlene Vegetationstragschichthöhe von mindestens 15 cm vorgegeben, um ein bestmöglichstes Rasenwachstum ohne extra Bewässerung zu gewährleisten.

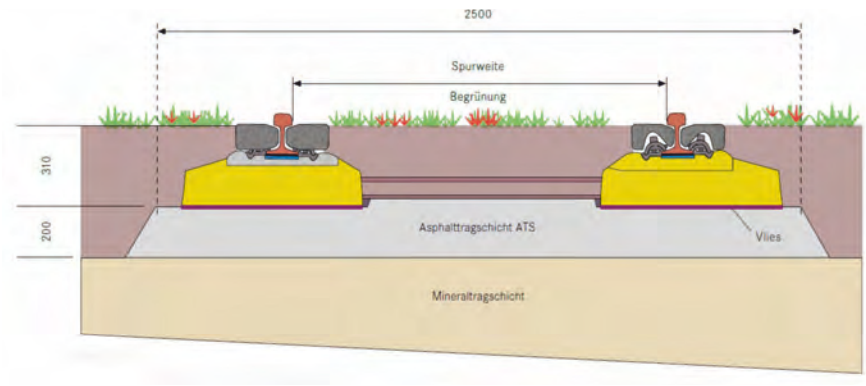


Abb. 6: Prinzipielle Ausführungsform der hochliegenden Gleisbegrünung (Quelle: RAIL.ONE GmbH (2014): 5, maßstablos)

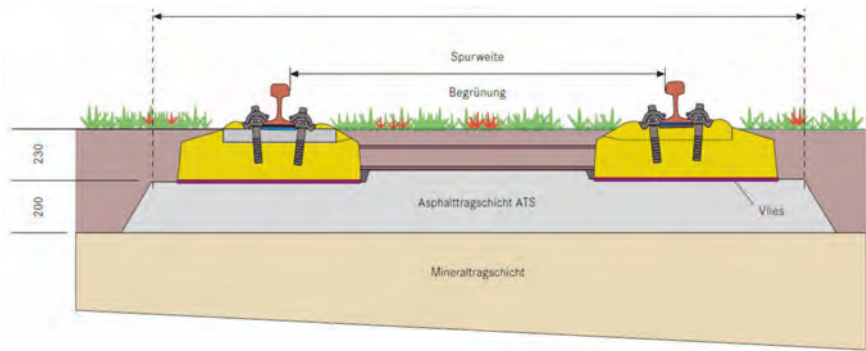


Abb. 7: Prinzipielle Ausführungsform der tiefliegenden Gleisbegrünung (Quelle: RAIL.ONE GmbH (2014): 5, maßstablos)

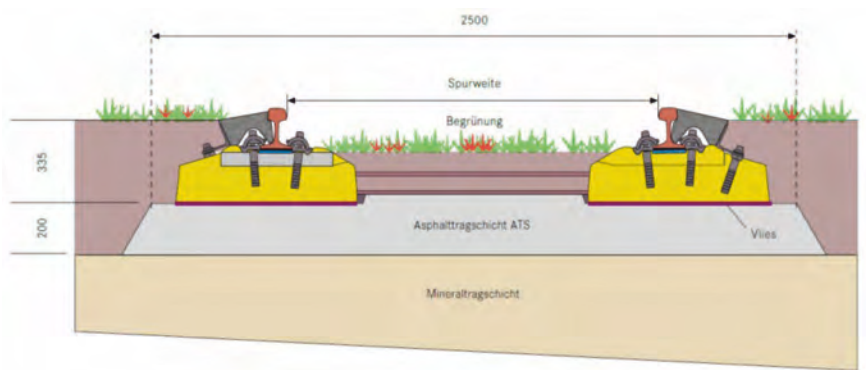


Abb. 8: Prinzipielle Ausführungsform der gemischten Gleisbegrünung (Quelle: RAIL.ONE GmbH (2014): 5, maßstablos)

Die Auswahl und Herstellung der Saatgutmischung des Rasens RSM (Regel-Saatgut-Mischung) erfolgt nach den Vorgaben der FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.), an der die praktische Anwendung als fachliche Anleitung orientiert ist. Zudem ergibt sich in der Realität ein Entwicklungspotential für einen Kräuterrasen bei extremen Standortbedingungen, wo die Pflanzen unter Wasserknappheit und mangelhafter Düngung leiden. Diese Kräuterrasen werden in den RSM Rasen 2.4 Kräuterrasen für Anwendungsbereiche im benutzbaren öffentlichen Grün sowie in den RSM Rasen 7.1.2 und 7.2.2 für Landschaftsrasen mit Kräutern empfohlen (vgl. FLL 2021: 11).

Standorte mit einer geringeren Wasserversorgung sind besonders für sukkulente Pflanzenarten auch bei der Gleisbegrünung geeignet, damit die Vegetation bei längerer Trockenperiode überleben kann (vgl. AHRENS et al. 2014: 79). Was die finanziellen Einsparungen betrifft, so ist ein Sedumgleis wirtschaftlich günstiger, da es in der Regel kaum zusätzliche Bewässerung und Pflegemaßnahmen benötigt. Aus Gründen der technischen Beschränkungen (besonders bei der tiefliegenden Vegetationsebene) ist die Vegetationstragschichthöhe des Sedumgleises auf 4-8 cm limitiert, wodurch das Wasserspeichervolumen sehr gering ausfällt. Die hohe Überlebensfähigkeit und Regenerationsfähigkeit der Sedumarten besitzt deshalb hier einen Vorteil, da sie die Spontanvegetation verdrängen können und sich während der Trockenperiode schnell vermehren und ausbreiten (vgl. AHRENS et al. 2014: 70f).

Trotz einer optimalen Planung und vernünftig durchgeführten Einbauarbeiten wird sich die Vegetationssukzession im Laufe der langfristigen Benutzung verändern, da das ursprüngliche Erscheinungsbild nicht kontinuierlich erhalten werden kann. Zur Präventionen dieser Probleme ist es notwendig sich mit den vegetationstechnischen und bautechnischen Bedingungen sowie der Nutzung durch den Bahnbetrieb ausführlich auseinanderzusetzen, um eine zukunftsweisende Planung zu veranlassen (vgl. AHRENS et al. 2014: 139). Bei der nachfolgenden, praxisorientierten Durchführung werden die grünen Gleise im Stadtgebiet Düsseldorf als Untersuchungsobjekte erforscht, fotografisch und durch eine Vegetationsaufnahme erfasst, um die wahren Vegetationszustände mit dem theoretischen Wissen vergleichen zu können.

2. Untersuchung der Gleisbegrünung in der Stadt Düsseldorf

Als Landeshauptstadt Nordrhein-Westfalens (NRW) ist Düsseldorf nach Einwohnern die siebtgrößte Stadt in Deutschland. Als ein wichtigstes Wirtschaftszentrum im Rhein-Ruhr Gebiet und als eine internationale Großstadt ist die vertiefte Untersuchung zur Optimierung der urbanen Grünfläche sehr sinnvoll, da diese für das internationale Image der Stadt und die Lebensqualitätserhöhung der lokalen Bewohner*innen bedeutsam ist. Obwohl in amtlichen Publikationen die Überlegung zu grünen Gleisen noch nicht erwähnt worden ist, könnten die ökologischen Auswirkungen der grünen Gleise jedoch die meisten Kriterien entsprechend des Zielkataloges vom Umweltamt Düsseldorf erfüllen.

Beschreibung des Untersuchungsgebiets
Stadtklima und Stadtbahnverkehr

Als abiotische Faktoren beeinflussen die Klimabedingungen erheblich das Vegetationswachstum, da sich die atmosphärischen Eigenschaften wie z.B. Temperatur und Niederschläge je nach Saison stark verändern können. Nach einem amtlichen Bericht zum Klimaanpassungskonzept der Landeshauptstadt Düsseldorf ist die Stadt bei intensiven Hitzeperioden längeren Trockenphasen und häufigeren Extremwitterungen stark ausgesetzt (vgl. LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF (Hg.) 2017: 6). Nach einer thermischen Modellberechnung ergibt sich daraus die Prognose, dass die zentralen Bezirke mit großen Versiegelungsflächen in der Zukunft (2041-2070) unter schwererer Hitzebelastung leiden



Abb. 9: Vergleich der aktuellen und zukünftigen thermischen Situation (Quelle: LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF (Hg.) 2017: 14)



Abb. 10: Jährliche Summen der klimatischen Wasserbilanz an der Messstation Flughafen Düsseldorf 1981-2015 (Quelle: LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF (Hg.) 2017:20, zitiert von DWD 2017)

Abb. 11 Karte über aktuelle Gleise im Stadtgebiet Düsseldorf (selbst bearbeitet aus Google Maps, Karte zum Stadtbahnnetz in Düsseldorf)



werden (siehe nachfolgende Abb. 9). Infolgedessen ergibt sich die Notwendigkeit von durchführbaren Maßnahmen, um der Temperaturzunahme und deren mitgebrachten negativen Folgen entgegen wirken zu können bzw. diese eventuell zu reduzieren.

Durch den Einfluss der Klimaveränderung erfolgen auch häufige Starkniederschläge, die in der Zukunft verstärkt auftreten werden. Als daraus resultierende Konsequenzen erfolgten nicht nur Straßensperrungen und

Verkehrsstaus, sondern auch eine enorme Belastung für die Kanalisation. Die nachfolgende Abb. 10 zeigt die klimatische Wasserbilanz seit 1981, woraus eine jährliche absinkende Tendenz mit heftigen Schwankungen erkennbar ist. Dies weist auf eine jährliche, rückläufige Niederschlagsmenge hin (vgl. LANDESHAUPTSTADT DÜSSELDORF (Hg.) 2017: 20). Daher wird für das zukünftige Stadtklima im Sommer vermutet, dass Extremwitterungen mit Starkregen verbunden mit längeren Hitzetagen auftreten werden.

Spezielle Standortbedingungen der Bahnstrecke

Das komplexe Stadtbahnnetz im Stadtgebiet Düsseldorf spielt eine zentrale Rolle beim schienengebundenen ÖPNV, da es, außer der S-Bahn, eine schnell verfügbare Mobilität anbietet. Bei einer praxisbezogenen Exkursion wurden alle Gleisabschnitte mit begrünten Gleisen mit expliziten Positionen kartiert und in der nachfolgenden Abb. 11 dargestellt. In dieser Abb. ist die Verteilung der aktuell bereits begrünten Gleise dargestellt. Nach der Kartierung sind insgesamt ungefähr 23,5 km Gleisbegrünung im Stadtgebiet Düsseldorf vorhanden, die sich am häufigsten im Gebiet mit hoher Bebauungsdichte befinden.

Den Ergebnissen der Exkursion zufolge sind alle begrünten Untersuchungsstrecken in hochliegender Bauweise entweder für Rasengleise oder Sedumgleise angelegt worden. Neben Wasser und Temperatur sind die Lichtverhältnisse für ein gutes Vegetationswachstum besonders wichtig, da das Licht durch Photosynthese als Energiequelle der Vegetation dient. Neben der direkten Bestrahlung, sollten Reflexionen von massiven Glaswänden der modernen und hohen Bürogebäude in der Innenstadt beachtet werden, da diese extra starke Lichtabstrahlung das Vegetationswachstum belasten könnte. Dies wiederum könnte die Trockenheit und einen Vegetationsausfall während der Hitzetage im Sommer noch verstärken. Zudem mindert die Trittbelastung durch den Personenverkehr z.B. an Haltestellenbereichen die Vegetationsentwicklung. Hinzu kommt eine kaum detaillierte Pflegeplanung der Gleisbegrünung, was zur Konsequenz hat, dass die meiste Gleisvegetation nicht wie gewünscht das originale Aussehen kontinuierlich beibehalten kann. Unregelmäßiges Aussehen entsteht z.B. durch massive Trockenheit, starke Besiedlung durch Spontanvegetation etc.

Beschreibung der Gleisvegetation

Zum Zwecke der Überschaubarkeit der wahren Vegetationsbestände werden insgesamt 110 Vegetationsaufnahmen (durchschnittlich ein Aufnahmeort pro ungefähr 200 m) durchgeführt, dokumentiert und analysiert, um die genauen Vegetationsbestände zu untersuchen (siehe Tabellen 1 und 2). Mit der Interpretation der vegetationskundliche Analyseergebnisse lassen sich detailliert Probleme in Bezug auf die oben beschriebenen Standortbedingungen festhalten und daraus aussagekräftige Argumentationen für weitere Optimierungsvorschläge ableiten. Nach der zweiwöchigen Kartierung besteht die komplette Datensammlung der Vegetationsaufnahmen aus insgesamt 78 Aufnahmeorten für die Rasengleise und 32 Aufnahmeorten für die Sedumgleise.

Für ein Verständnis der bisherigen Entwicklung der Aufnahmeorte und die abgeleiteten Folgen sollten die Pflanzengesellschaften mit ihrer floristischen Artenverbindung und Struktur definiert und analysiert werden (vgl. WILMANN 1998: 14). Die aufgelisteten Pflanzengesellschaften geben wichtige Hinweise und Indikatoren darauf, inwiefern die anthropogene Nutzung, Beeinflussung und Pflege zukünftig die Vegetationsentwicklung weiter ausprägen kann (vgl. KIENAST 1978: 12).

Typ „Rasengleis“ (Tabelle 1)

Durchschnittlich beträgt die gesamte vegetationsfähige Deckung an jedem Aufnahmeort ca. 85,5 %, wovon eine Deckung von ca. 3,9 % auf Moose entfällt. Zudem sind die Substrate größtenteils künstlich verdichtete, sandige Böden und haben je nach Standort eine lehmige, frische oder trockene Variation.

Typische Ausbildung

Die typische Ausbildung besteht aus *Taraxacum officinale* (Gewöhnlicher Löwenzahn), *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras) und *Stellaria media* (Gewöhnliche Vogelmiere), welche in den Spalten I, II, V und VI konzentriert auftauchen, in den Spalten III, IV und VII-XI jedoch nur sporadisch verteilt vorkommen. Diese Ausbildung trittbeeinflusster Vegetation zeigt sich am häufigsten bei den Aufnahmeorten in den Spalten I, II und IV, wo sich Haltestellen und Überquerungsmöglichkeiten für Fußgänger befinden, wo von regelmäßiger menschlicher Trittbelastung auszugehen ist. Unter dieser dominierenden Belastung variiert diese Gesellschaft allein in Abhängigkeit von der Trittintensität.

Ausbildung von *Poa annua*, *Geranium molle* und *Matricaria discoidea*

Die Ausbildung von *Poa annua* (Einjähriges Rispengras), *Geranium molle* (Weicher Storchschnabel) und *Matricaria discoidea* (Strahlenlose Kamille) ist eine spezielle Ausnahme in dieser Gesellschaft. Diese Arten sind einjährige Pflanzen und nur in Spalte I intensiv verteilt. Diese Konzentration deutet auf deutlich gestörte Rasenflächen auf relativ trockenen Böden an sonnigen Stellen hin, was für die Ausbreitung der kurzlebigen Ruderalvegetation geeignet ist. Diese Ausbildung zeigt einen relativ stabilen annuellen Trittrasen, welcher durch eine kontinuierliche Trittbelastung und einen reduzierten Schnitt dauerhaft stabilisiert werden kann.

Ausbildung von *Festuca rubra* und *Cerastium semidecandrum*

Die Kombination von *Festuca rubra* (Gewöhnlicher Rot-Schwingel) und *Cerastium semidecandrum* (Sand-Hornkraut) ist in der kompletten Tabelle, ausgenommen in den Spalten I und II, vertreten. In den Spalten III, IV und VIII treten diese beiden

mehrfährigen Pflanzenarten zusammen am häufigsten auf. An diesen Aufnahmeorten erreichen sie ca. die Hälfte, an manchen Stellen sogar eine Dominanz bei der Deckung. *Festuca rubra* eignet sich gut in Halbschattenlagen mit geringer Trittbelastung und leichten nährstoffarmen Böden, wo sie sich etablieren kann (vgl. ALBRACHT et al. 2018: 40). Als Sandzeiger gedeiht *Cerastium fontanum* in den Spalten III, IV, VIII und XI sehr gut, was auf lückigen trockenen Rasen und warme Standorte hinweist. Die massive Trockenheit in der Spalte VIII (mit dem Symbol „°“ neben den Zahlen gekennzeichnet) von *Cerastium semidecandrum* ist auffällig, da die vertrockneten auslaufenden Stängel die untere grüne Vegetation überdecken. Die meisten Aufnahmeorte in der Spalte VIII befinden sich in der Nähe von Haltestellen, wo die Stadtbahnen am häufigsten stark bremsen und die Geschwindigkeit verlangsamen. Dies lässt die dortige Vegetation unter den entstehenden Wärme- und Sand-Staubemissionen sowie der mechanischen Beschädigung stark leiden.

Variante von Geranium pusillum und Medicago lupulina

In den Spalten IV und V tauchen diese beiden Artenverbindungen sehr häufig auf, während *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel) allein in der Spalte VI mit einer intensiven Deckung vorhanden ist. In NRW verbreitet sich *Geranium pusillum* sehr stark und besiedelt am häufigsten Wegränder, Ruderalflächen, Scherrasen und andere gestörte Rasenflächen (vgl. BOMBLE 2014: 208). An der Besiedelung von *Medicago lupulina* (Hopfenklee) lassen sich die warmen Standorte deutlich zu erkennen. Die vorherrschenden Deckungen von *Medicago lupulina* sind außerdem auf mäßig trockene und basenreiche Böden zurückzuführen. Das Vorkommen beider überwinternder kurzlebigen Pflanzen (*Geranium* und *Medicago*) kennzeichnet insgesamt die lückigen, trockenen und mageren Rasen.

Variante von Draba verna und Hordeum murinum

Draba verna (Frühlings-Hungerblümchen) ist eine lichtliebende Pflanze und bevorzugt sandige, magere und trockene Standorte, die sich zumeist an offenen, sonnigen Wegrändern, Steinbrüchen und an Äckern befinden. Die geringen Deckungen bei den Lfd. Nr. 27-29 zeigen bei dieser Pflanze eine unauffällige Tendenz der Standorte zur Trockenheit, während *Hordeum murinum* (Mäuse-Gerste) bei den Lfd. Nr. 30-32 und 34 auch mit kleineren Deckungen vorhanden ist und eher auf Stickstoffversorgung hinweist. Der Auftritt von beiden einjährigen winterannuellen Pflanzen deutet auf eine extensive Pflege, mäßige Trittbelastung und sekundäre Düngung (z.B. Hundeurin) in der Rasenfläche hin. Mit dem Auftauchen in Gesellschaft von *Festuca rubra* und *Geranium pusillum* in der Spalte VI kommt die Ruderalisierung der Rasen zum Ausdruck. Insgesamt zeigt die Artenzusammensetzung mit kurzen Lebenszyklen in Spalte VI typische stadtklimatische und nutzungsgeprägte Bedingungen.

Ausbildung von Festuca rubra und Cerastium semidecandrum (Fortsetzung)

In den Spalten VIII, IX und XII treten *Trifolium campestre* (Feld-Klee) und *Plantago lanceolata* (Spitzwegerich) zusammen sehr häufig auf, während *Trifolium campestre* in den Spalten VII, X und XI ganz allein die Vorherrschaft mit dominierenden Deckungen hat. *Plantago lanceolata* ist eine heimische Pflanze und kommt im Siedlungsgebiet häufig in Parkrasen und an Verkehrswegen vor. Das häufige Auftauchen dieser Pflanze in diesen drei Spalten zeigt sandige, nährstoffarme Trockenstandorte und magere Rasen mit mäßiger Trittbelastung an (vgl. JAGEL 2015: 229).

Tabelle 2: Vegetationsaufnahme für Sedumgleis

Vegetationsaufnahme für Masterarbeit im SS 2020/21 im Stadtgebiet Düsseldorf

Datum: 20.05.2021

Laufende Nummer	I						II						III			IV			V			VI			VII					Summe				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		30	31	32	
Nummerierung nach Abschnittsposition																																		
OT																																		
Substrate																																		
Deckung in % der vegetationstängigen Fläche																																		
Deckung Moose in %																																		
Sedum acre																																		
Plantago lanceolata																																		
Trifolium campestre																																		
Sedum saxifragale																																		
Festuca rubra																																		
Taraxacum officinale																																		
Geranium pusillum																																		
Sedum album																																		
Festuca ovina																																		
Erodium cicutarium																																		
Lolium perenne																																		
Poa annua																																		
Draba verna																																		
Cerastium glomeratum																																		
Sonchus oleraceus																																		
Cerastium glutinosum																																		
Hordeum murinum																																		
Stellaria media																																		
Pilosella officinarum																																		

Das Vorkommen von *Trifolium campestre* deutet neben Lückigkeit auf ein gutes Lichtangebot und einen stickstoffarmen Standort hin.

Die Variante der Ausbildung beinhaltet zwei kurzlebende Pflanzenarten, *Erodium cicutarium* (Gewöhnlicher Reiherschnabel) und *Vicia sativa* (Futterwicke) sowie zwei ausdauernde Pflanzenarten, *Bellis perennis* (Gänseblümchen) und *Festuca ovina* (Echter Schaf-Schwingel, die vermutlich aus originaler Saatgutmischung stammt. Als Sandanzeiger und Pionierpflanze wächst *Erodium cicutarium* auf warmen, mäßig trockenen Böden, wo die Oberfläche lückig ist, was durch die Trockenheit eher vor- kommt. Stauden wie *Festuca ovina* und *Bellis perennis* sind hier kaum allein in der Lage, geschlossen deckende Rasen zu bilden.

Anhand der Vegetation lässt sich folglich zeigen, dass die Substrate, die Lichtverhältnisse und die Nutzungseinflüsse variieren, wodurch verschiedene Lückenbesiedler in Form von kurzlebigen Pflanzen regelhaft die Chance bekommen, die ehemals angesäten Rasenmischungen mit zu prägen.

Auswertung über das Lebensformspektrum in den Rasengleisen

Im Hinblick auf die vegetativen Deckungsverteilungen sowie pflanzensoziologischen Strukturen werden die relative Artenzahl und die Pflanzenarten der Hauptteile aus der Tabelle 1 als Durchschnittswerte in Diagrammen veranschaulicht. Nach der Berechnung der durchschnittlichen Deckungen und der gesamten Artenanzahl der oben erfassten Vegetationseinheiten werden alle Pflanzen in Gräser, Therophyten, ausdauernde Kräuter und sonstige Pflanzen in den nachfolgenden Abbildungen 12 und 13 dargestellt. Die Deckungsanteile wurden hierbei mit einem Mittelwert der entsprechenden Prozentbereiche erfasst. (Mittelwert für Symbol „+“ mit 1 %; für Symbol „1“ mit 2,5 %; für Symbol „2“ mit 15 %; für Symbol „3“ mit 37,5 %; für Symbol „4“ mit 62,5 %; für Symbol „5“ mit 87,5 %).

Aus diesen zwei Kreisdiagrammen kann wie folgt geschlussfolgert werden: Im Durchschnitt ist die gesamte Deckung der angesäten Gräserarten (*Festuca rubra*, *Lolium perenne* und *Festuca ovina*) nach RSM nur mit insgesamt 20 % vertreten. Die überwiegende Deckung von Therophyten nimmt durchschnittlich fast die Hälfte der Gesamtbestandteile ein, während die ausdauernden Kräuter nur 16 % der Deckung bilden. Aus dem Diagramm der Artenverteilung (siehe Abb. 13) ist zu entnehmen, dass Therophyten eine große Rolle spielen, da deren gesamte Artenanzahl im Vergleich zu den Gräser-Aten ca. drei Mal so hoch ist. Im Vergleich zu den ausdauernden Kräutern zeigen Therophyten auch hier eine starke Präsenz, da die Artenanzahl der ausdauernden Kräuter nur 3/5 der Artenanzahl der Therophyten erreicht. Die jeweiligen Verteilungsbereiche und Deckungen von diesen Therophyten aus der Tabelle V-1 (hellgrün unterlegt) deuten auf entsprechende Indikatorwerte für eine Bodenstörung hin. Auf Basis dieser Dominanztendenz der Therophyten lässt sich aussagekräftig argumentieren, dass die vorhandenen RSM-Gräser nach FLL an die städtischen Bedingungen schlecht angepasst sind und sich wahrscheinlich zu einem ursprünglich nicht gewünschten Erscheinungsbild mit im Winterhalbjahr eingeschränkter Funktionalität entwickeln werden.

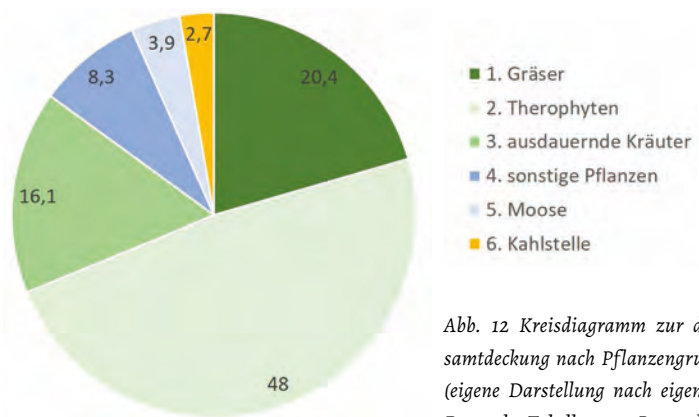


Abb. 12 Kreisdiagramm zur durchschnittlichen Gesamtdeckung nach Pflanzengruppen beim Rasengleis (eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen aus Daten der Tabelle 1 zum Rasengleis)

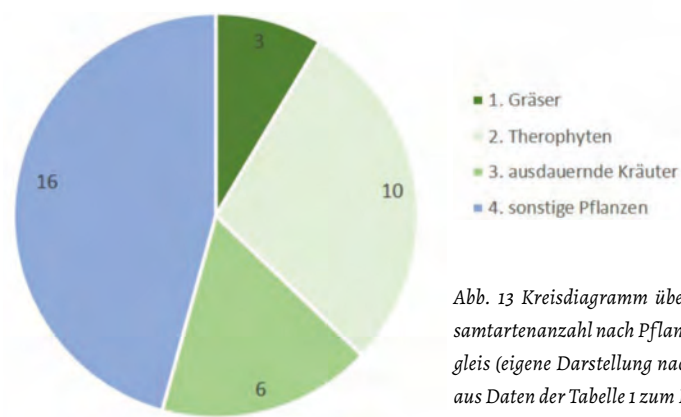


Abb. 13 Kreisdiagramm über die Verteilung der Gesamtartenzahl nach Pflanzengruppen beim Rasengleis (eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen aus Daten der Tabelle 1 zum Rasengleis)

Die aktuellen Vegetationsbestände weisen indirekt auf eine vernachlässigte Pflege und mangelhaftes oder nicht vorhandenes Mähen hin, da die Stabilität der typischen Trittgesellschaften allmählich geschwächt wird und diese sich in Richtung der Ruderalgesellschaften neigen. Im Hinblick auf die Sukzession wird sich diese wachsende Tendenz wegen der starken Verbreitungsfähigkeit und hoher Samenproduktion der Therophyten kurzfristig nicht verändern, sofern es keine zusätzlichen Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen gibt.

Typ „Sedumgleis“ (Tabelle 2)

Ein artenreiches Sedumgleis zeigt die Vielfalt bei den verschiedenen Pflanzenarten und Vegetationseinheiten. Obwohl es nach der Sortierung der Tabelle V-2 keine offensichtliche oder typische Ausbildung in jeder Spalte gibt, zeigt sich eine hohe Präsenz der Sedo-Scleranthetalia (als Mauerpfeffer-Gesellschaft) über die gesamte Tabelle. Besonders häufig und großflächig treten Sedum acre (Scharfer-Mauerpfeffer), Sedum sexangulare (Milder-Mauerpfeffer), Trifolium campestre (Feld-Klee) und Erodium cicutarium (Gewöhnlicher Reiherschnabel) auf. (vgl. EVERS 2006: 191). Unter einer totalen Sonnenbestrahlung und häufiger Trockenheit sind diese Extremstandorte an den Bahnstrecken und Sandbrachen für die Mauerpfeffer-Gesellschaft hervorragend geeignet (vgl. WILMANN 1998: 187f).

Ausbildung von Sedum acre und Plantago lanceolata

In den Spalten I und II ist das übermäßige Auftreten von *Sedum acre* (Scharfer-Mauerpfeffer) und *Plantago lanceolata* (Spitzweigerich) konzentriert, während Sie in der Spalte III kaum vorkommen. Bahn- und Industrieanlagen sind die idealen Standorte für das Wachstum von *Sedum acre*, wo Sie sehr häufig an Wegrändern, in Mauerfugen und an den Schottergleisen auftritt (vgl. BOMBLE 2012:278 & vgl. MORAWETZ 2008: 189).

Ausnahme von Trifolium campestre

Trifolium campestre (Feld-Klee) verbreitet sich nicht nur im Rasengleis, sondern auch im Sedumgleis. Ausgenommen von den Spalten I und III überdeckt die Art in allen anderen Spalten die Aufnahmeflächen mit mehr als 1/4. Mit der höchsten Stetigkeit (23 von 32) deutet *Trifolium campestre* auf die allmähliche Ausbildung einer Sandrasen- und Felsgrugesellschaft (*Sedo-Scleranthetea*) hin.

Ausbildung von Sedum sexangulare und Festuca rubra

Im Hinblick auf die Standortvorkommen und die Morphologie ähnelt *Sedum sexangulare* (Milder Mauerpfeffer) sehr *Sedum acre* (Scharfer-Mauerpfeffer). Beide Sedumarten erreichen eine Wuchshöhe von maximal 15 cm und bevorzugen warme, trockene Ruderalstellen sowie Sandtrockenrasen oder Bahnanlagen. *Sedum sexangulare* und *Festuca rubra* treten mit überwiegendem Deckungsgrad in den Spalten III und V auf, wo hingegen in den Spalten II, IV, VI und VII Ihre Verteilung wiederum ersichtlich schwach ist. Aus diesem Grund bleibt diese trockenresistente Grasart schließlich übrig, die sich dann häufig mosaikartig zwischen den Sedumarten verbreitet (vgl. WILMANN 1998: 191).

Variante von Taraxacum officinale und Geranium pusillum

Mit einer sehr geringen Deckung ist diese Variante von *Taraxacum officinale* (Gewöhnlicher Löwenzahn) und *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel) in den Spalten II-VII sporadisch vorhanden. In NRW ist, wie oben erwähnt, *Geranium pusillum* sehr häufig an Wegrändern, in gestörten Rasen und Ruderalstellen zu finden (vgl. BOMBLE 2014: 208). Dies entspricht den Aufnahmeorten in der Spalte III, wo *Geranium pusillum* intensiv an Haltestellen wächst.

Facies von Sedum album und Festuca ovina

Die ursprünglichen Standorte von *Sedum album* (Weiße Fetthenne) sind in der Regel in exponierten Mittelgebirgslagen zu erwarten. Aus diesem Grund sind felsige Standorte wie Steinschüttungen, Industrie- und Bahnanlagen für seine Verbreitung hervorragend geeignet (vgl. BOMBLE 2012: 275). Diese Artenverbindung aus *Sedum* und *Festuca* ist ähnlich wie die oben beschriebene Ausbildung von *Sedum sexangulare* und *Festuca rubra*, was auch hier ein schönes mosaikartiges Erscheinungsbild aus Kolonien des Sedums und vereinzelt Schwingeln ergibt.

Facies von Erodium cicutarium und Draba verna

Außer *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras) sind auch die drei Pflanzenarten *Erodium cicutarium* (Gewöhnlicher Reiherschnabel), *Poa annua* (Einjähriges Rispengras) und *Draba verna* (Frühlings-Hungerblümchen) in dieser Facies kurzlebige Therophyten. Als schwache Charakterart der Sandrasen- und Felsgrugesellschaften (*Sedo-Scleranthetea*) steht die Deckung von *Erodium cicutarium* im Vergleich zu den anderen

Pflanzenarten an erster Stelle, da es bei 1/4 der Aufnahmeorte in der Spalte VII vorkommt. Dies deutet auf warme, trockene, relativ nährstoffreiche, aber lockere Sandböden hin. Hinzu kommt *Draba verna* als Begleiter, der Magerrasen, lückige Viehweiden und Straßenränder mit basenreichen Böden besiedeln kann (vgl. BOMBLE 2011: 40). Diese Artenkombination weist auf eine leichte Pionierflur hin, da diese Pflanzen humusarme und verdichtete Sandböden bevorzugen.

Auswertung über Lebensformspektrum der Sedumgleise

Nach der gleichen statistischen Methode wie beim Rasengleis werden die aktuellen Vegetationsbestände beim Sedumgleis ebenfalls anhand mathematischer Berechnung in den nachfolgenden Abbildungen 14-15 veranschaulicht, um die durchschnittlichen vegetativen Bestandteile vollständig zu erfassen. Im Gegensatz zu den gewünschten Gräsern im Rasengleis macht die durchschnittliche Deckung der Sedumarten die Hälfte der Gesamtfläche aus, was eine aussagekräftige Dominanz anzeigt. Der Anteil der Therophyten beträgt im Durchschnitt fast 1/3 der Gesamtdeckung, während die Gräserarten mit ca. 10 % der Deckung vorhanden sind. Im Vergleich zum Rasengleis spielen die Therophyten eine nebensächliche Rolle bei der aktuellen Vegetationsentwicklung, da die angepflanzten Sedum- und Gräser-Arten zusammen bei der Gesamtdeckung im Durchschnitt die dominierenden Arten sind. Die Beschreibungen verdeutlichen, dass der Großteil einer solchen Vegetation eine gute Anpassungsfähigkeit an Standorte in der Nähe von Bahnanlagen und an Wegrändern unter voller Besonnung mit trockenen und durchlässigen Sandböden hat. Aus diesem Grund sind die aktuellen Sedumgleise bei pflanzensoziologischer Betrachtung stabiler und konstanter als beim Rasengleis, da sich die geplanten Pflanzenbestandteile nicht so stark verändert haben.

Prognose der Vegetationsdynamik

Basierend auf obigen Beschreibungen zu den Vegetationsaufnahmen und der Strukturanalyse der Vegetationseinheiten können mögliche, zukünftige Entwicklungstendenzen interpretiert und diskutiert werden.

Die überwiegende Deckung der Therophyten spiegelt die ungeeigneten Standortbedingungen für eine traditionelle Rasensaatgutmischung wider. Die Therophyten selbst haben allerdings den Vorteil, dass sie unter solchen ungünstigen Bedingungen jahrelang in einem Ruhezustand verbringen und sich bei guten Klimabedingungen innerhalb einer kurzen Periode schnell auszubreiten können (vgl. WILMANN 1998: 98). Aufgrund des starken menschlichen Einflusses und der geringen Anpassungsfähigkeit der Gräserarten an die Nutzungsbedingungen entsteht beim Rasengleis ein noch stärkeres Lückenproblem. Hierdurch ergeben sich für die Therophyten konkurrenzfreie Keimplätze, in denen sie sich ausbreiten können und eine nachhaltende Dominanz in den nächsten Jahren verursachen, sofern die menschliche Trittbelastung kontinuierlich wiederkehrt (vgl. WILMANN 1998: 98). Infolgedessen behindert die schnelle Ausbreitung der Therophyten zusätzlich die erneute Ausbreitung ausdauernder Pflanzen. Die aktuelle Vegetationsdynamik zeigt ein enttäuschendes Bild für die Stadtplanung, da die Vegetation beim Rasengleis innerhalb der nächsten Jahre den gewünschten optischen Effekt „grüner Teppich“ verlieren wird. Dies deutet auch darauf hin, dass es ursprünglich Planungsfehler beim Rasengleis gegeben haben könnte, das heißt die damals eingesetzte Saatgutmischung nach den FLL Richtlinien wurde nicht an die realistische Nutzungsintensität sowie an die ungünstigen Standortbedingungen angepasst.

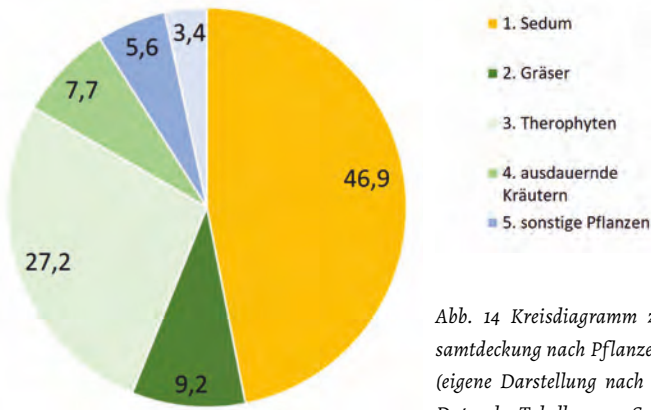


Abb. 14 Kreisdiagramm zur durchschnittlichen Gesamtdeckung nach Pflanzengruppen beim Sedumgleis (eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen aus Daten der Tabelle 2 zum Sedumgleis)

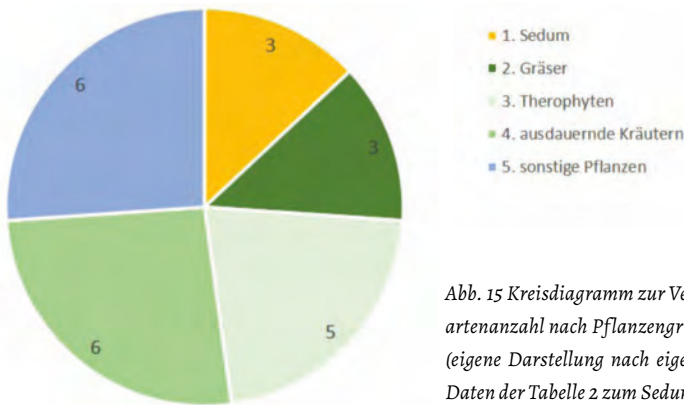


Abb. 15 Kreisdiagramm zur Verteilungen der Gesamtartenanzahl nach Pflanzengruppen beim Sedumgleis (eigene Darstellung nach eigenen Berechnungen aus Daten der Tabelle 2 zum Sedumgleis)

Nach obiger Bewertung deutet die jetzige Vegetationsdynamik beim Sedumgleis auf eine stabile Dauergesellschaft ohne Dominanzänderung hin, was momentan keinen akuten Optimierungsbedarf erfordert. Die Gründe dafür sind die vegetativen Eigenschaften der Sedumarten, die im Vergleich zum Rasengleis viel trockenresistenter sind und eine bedeutend geringere Wasser- und Nährstoffversorgung aufweisen sowie zudem weniger Pflegeaufwand benötigen. Infolgedessen verfügt das Sedumgleis über ausschlaggebende Anpassungsfähigkeiten an das Stadtklima und die Gleisanlagen, so dass diese Bepflanzungsplanungen befriedigende, optische Ergebnisse zeigen.

Feststellung der Optimierungsziele

Aufgrund der oben geführten Vegetationsuntersuchungen und der negativen Prognose sollte der Schwerpunkt auf Renovierungsmaßnahmen an den Rasengleisen gelegt werden. Die Optimierungsvorschläge sowie dringend erforderlichen Verbesserungsplanungen sollten umgesetzt werden. Zum Zweck der Erhöhung des Gebrauchswertes und der Gebrauchsfähigkeit, sollte auch über die Nachhaltigkeit der Saatgutmischung diskutiert werden und ob eine unkonventionelle Pflanzplanung als vegetative Lösung geeignet ist (vgl. HÜLBUSCH et al. 1988: 55). Daher werden folgenden Optimierungsziele in dieser Zusammenfassung festgesetzt:

- 1) Neue Saatgutmischungen vorrangig für die Rasengleise entwickeln.
- 2) Alle positiven Funktionen der Gleisbegrünung (siehe Teil 2.1) gewährleisten.
- 3) Investition mit weniger Pflegeaufwand ermöglichen.
- 4) Alternative Lösungen (räumliche, technische Optimierung) suchen.

3. Optimierungsvorschläge in der Praxis

Diskussion über die Anwendungsmöglichkeit von „Unkraut“

„Wildwuchs“ und „Spontanvegetation“ werden seit Jahren in der Pflanzenverwendung mit „Unkraut“ assoziiert. In der Tat ist die Einschätzung von Vegetation als „Unkraut“ subjektiv und wird vornehmlich nach dem Verwendungszweck betrachtet, da das Verständnis darüber entsprechend der Pflanzziele und dem ästhetischen Geschmack unterschiedlich ausfällt (vgl. HÜLBUSCH et al. 1988: 53). Diese Definition ist von den persönlichen Standpunkten und Gebrauchsbedürfnisse abhängig, z.B. wird das Gänseblümchen bei einem Landschaftsrasen als Blüteaspekt akzeptiert, dagegen bei Zierrasen wiederum als Unkraut definiert und entfernt.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Unkräuter hängen auch mit deren ökologischen Auswirkungen zusammen und ob einige Pflanzenarten dieser „Unkräuter“ wie bei den Gräserarten beim Rasengleis einen gleichmäßigen positiven Effekt herbeiführen können. Viele ausdauernde Pflanzenarten, die immer bei der Unkrautbekämpfung entfernt werden, haben außergewöhnliche vegetative Eigenschaften, über die viele Gräserarten aus der FLL-Empfehlung nicht verfügen. Entsprechend der oberen Literaturrecherche ergeben sich die folgenden positiven fünf Auswirkungen, die bei den ökologischen Aspekten der Gleisbegrünung erfasst worden sind: ①-Wasserrückhaltung, ②-Verringerung der Aufheizung im Gleis, ③-Feinstaubbindung, ④-Lärmreduzierung und ⑤-Beitrag zur Biodiversität.

Aufgrund der Ähnlichkeit des Systemsaufbaus zwischen der Dachbegrünung und der Gleisbegrünung können die Forschungsergebnisse zur ①-Wasserrückhaltung bei der Dachbegrünung als Referenzwerte für die Gleisbegrünung, ob und inwiefern die Vegetation aus sogenannten „Unkräutern“ die Niederschläge funktionsfähig aufnimmt, herangezogen werden. Die umfangreichen Untersuchungen zur Regenwasserrückhaltung der Dachbegrünung stellen viele wertvolle Forschungsergebnisse zur Verfügung, sodass es ebenfalls sinnvoll ist, diese für die Gleisbegrünung heranzuziehen (vgl. KAPPIS et al. 2010: 11). ② Eine extensive Dachbegrünung mit einer Blumenwiese, bestehend aus verschiedenen Gräsern und Kräutern, kann ca. 30-70 % der jährlichen Niederschläge aufnehmen und verfügt über eine höhere Artenvielfalt und eine geringere Unterhaltungspflege als ein reiner Rasen. Anhand von Forschungsergebnissen aus 7 Jahren Forschung über die Bewertung von Sedumgleisen vom IASP wurden die exakten Leistungsvermögen zum Regenwasserhaushalt gemessen, um die jährliche Menge der Wasserspeicherung und Verdunstung zu vergleichen (vgl. KAPPIS et al. 2010: 11f). Hieraus ergab sich unter anderem, dass während der Sommerperiode ca. 90 % der Niederschlagsmenge an die Umgebungsluft abgegeben werden, sodass durch die mikroklimatische Temperaturveränderung die Straßenräume in der Nähe der Sedumgleise entscheidend gekühlt werden (vgl. KAPPIS et al. 2010: 13). ③ Nach der Wasserverdunstung erfolgt der Feinstaubeintrag in den Pflanzungen, da viele Schadstoffe wie Schwer-

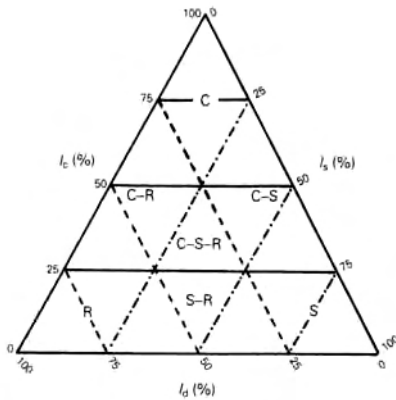


Abb. 16 Dreiecksmodell der ökologischen Primärstrategien: C=Konkurrenzstrategien, S=Stresstoleranzstrategien, R=Ruderalstrategien und Übergangstypen mit relativer Bedeutung von Konkurrenz (I_c), Stress (I_s) und Störung (I_d) (Quelle: übersetzt aus der englischen Publikation von GRIME et al. 2007)

metalle und Partikel den Pflanzen als Nährstoffquelle dienen können. Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat, die 20–60 % des Feinstaubes ausmachen, sind z.B. Stickstoffverbindungen die zum Pflanzenwachstum beitragen (vgl. KAPPIS et al. 2010: 33).

Das Prinzip der ④-Lärminderung hängt nicht nur von dem Begrünungssystem ab, sondern im Wesentlichen von der Aufbauform der Gleise (hoch-/tiefliegend) und einer schallabsorbierenden Oberfläche. Hierbei sind die Vegetationsbestände und Vegetationsarten nicht größenrelevant (vgl. KAPPIS et al. 2010: 26). Aus dieser ist ersichtlich, dass eine Gleisbegrünung die erzeugte Lärmemission im Vergleich zu einem Schottergleis um 1–7 dB(A) reduzieren kann.

⑤ Grundsätzlich verfügen Wildpflanzen über wichtige Gen-Reservoirs, deren Potenziale und zukünftige Nutzungsmöglichkeiten noch nicht vollständig angewendet wurden, bzw. noch nicht entdeckt worden sind (vgl. WILMANN 1998: 113). Diese artenreichen „Unkräuter“ bieten Aufwertungsmöglichkeiten bei der Flora und Fauna an, da viele Kräuterarten bessere Lebensräume und Nahrungsangebote für Tiere als Gräserarten zur Verfügung stellen können. Blütenbesuchende Insekten, besonders Bienen, Wespen und Schmetterlinge, hängen in erster Linie von diesem Nahrungsangebot des Straßenbegleitgrüns ab (vgl. ELLENBERG & STOTTELE 1984: 27, zitiert nach KRATOCHWIL 1983: Abschnitt 5.24). Aufgrund pluralistischer und vielfältiger Gestaltungsgeschmäcker bei der modernen Landschaftsplanung ist eine monokulturelle Gestaltung beim Pflanzendesign nicht mehr populär. Dies zeigt sich z.B. bei der zunehmenden Tendenz der Anwendung einer Blumenwiese anstatt einer herkömmlichen Rasensaart.

Um gezielt an eine realistische Umsetzung der standortangepassten Saatgutmischungen heranzugehen, kann zunächst auf die ökologische CRS-Strategie (siehe nachfolgende Abb. 16) als theoretische Unterstützung zurückgegriffen werden, um eine weitere Ausarbeitung der Pflanzenauswahl und entsprechende Mischungsverhältnisse wissenschaftlich zu begründen. Um diesen kurzlebigen Pflanzenarten entgegenzuwirken, muss die C-Strategie erheblich verbessert werden, sodass die Kontinuität der gesamten Vegetation erhöht werden kann. Obwohl die R-Strategie positiv auf Störungen reagiert, sind für die C-Strategie längere stabile Lebensräume notwendig, um das Konkurrenzgefüge nicht zu beseitigen (vgl. KÖOTZ & KÜHN 2002: 197). Aus



Abb. 17 Darstellung der idealen Planung und Perspektive (eigene Darstellung)

diesem Grund ist die Einführung von konkurrenzstarken Pflanzen unerlässlich, im Besonderen ausdauernde Kräuter sowie Stauden, um die vorhandene Besiedlung der Pionierstandorte zu verdrängen. Die ideale Vegetationsverteilung für die aktuellen stressigen Extremstandorte, die unter starken menschlichen Einflüssen stehen, wird entsprechend der CRS-Strategie mit ca. C - 50 %, R - 25 % und S - 25 % empfohlen, um zukünftige Vegetationsgemeinschaften und gestalterische Effekte zu verbessern.

Praxisorientierte Lösungen

Die Ergebnisse der Interpretation der Rasengleise deuten darauf hin, dass die Substrate im Laufe der Zeit allmählich abgemagert worden sind. Dies entspricht auch dem Vorkommen vieler Pflanzenarten aus einem Magerrasen, aus welchem die meisten Pflanzenarten unter ungünstigen Klimabedingungen wachsen können. Aus ökologischer Sicht weist ein extensiv genutzter Magerrasen eine höhere Artenvielfalt an nährstoffarmen- als an nährstoffreichen Standorten auf, sodass sich die Biodiversität in den nährstoffarmen Gleisbegrünungen erhöhen und die Pflegemaßnahmen durch regelmäßige Entnahme der Biomasse zum größten Teil reduzieren lässt (vgl. BRACK et al. 2019: 10f). Daher soll die optimierte Saatgutmischung an einen Magerrasen angenähert werden, um zukünftige Renovierungskosten und die Instandhaltungspflege möglichst gering zu halten.

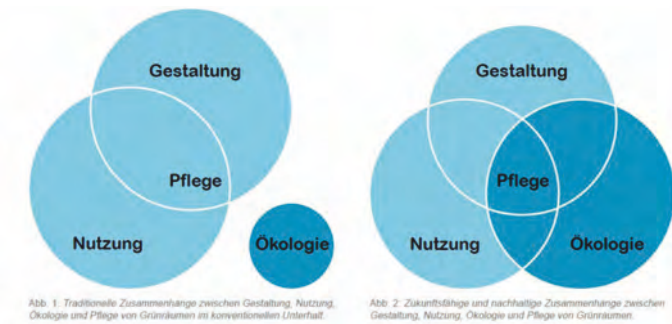


Abb. 18 Vergleich zwischen traditionellen und zukunftsfähigen Zusammenhängen der Beziehungen zwischen Gestaltung, Nutzung, Ökologie und Pflege von Grünräumen (Quelle: BRACK et al. 2019: 9)

Aufgrund der häufigen Trittbelastung wird die Planung zur Saatgutmischung an Haltestellen und normalen Streckenabschnitten mit unterschiedlichen Pflanzensamensetzungen erstellt, um die Trittbelastbarkeit der Vegetation an Haltestellen zu verstärken. Entsprechend den oben empfohlenen Verhältnissen bei der CRS-Strategie werden 25% Ruderalpflanzen (R), 25% stresstolerante Pflanzen (S) und 50% ausdauernde konkurrenzstarke Pflanzen (C) bei der neuen Saatgutmischung eingeplant. Bei der Pflanzenauswahl werden viele vorhandene Pflanzenarten beibehalten, damit diese sich an die ursprünglichen Böden schnell gewöhnen können. Hierzu werden die folgenden Pflanzenarten ausgewählt:

Pflanzenauswahl für Haltestellen (siehe Tabelle 3):

Ruderalpflanzen:

Trifolium dubium, *Draba verna*, *Erodium cicutarium*, *Medicago lupulina*, *Satureja hortensis*, *Trifolium campestre*, *Matricaria discoidea*, *Chaenorhinum minus*, *Anthemis tinctoria*, *Papaver dubium*

stresstolerante Pflanzen:

Rumex acetosella, *Echium vulgare*, *Festuca rubra commutata*, *Chamaemelum nobile*, *Leontodon hispidus*, *Plantago major*, *Plantago media*, *Myosotis sylvatica*, *Ajuga genevensis*, *Thymus serpyllum*

ausdauernde, konkurrenzstarke Pflanzen:

Campanula rotundifolia, *Centaurea jacea*, *Salvia pratensis*, *Achillea millefolium*, *Festuca ovina*, *Sanguisorba minor*, *Leucanthemum vulgare*, *Malva moschata*, *Plantago lanceolata*, *Galium verum*, *Pimpinella saxifraga*, *Campanula glomerata*, *Prunella vulgaris*, *Dianthus carthusianorum*, *Hieracium pilosella*, *Teucrium chamaedrys*, *Lotus corniculatus*, *Silene vulgaris*, *Petrorhagia saxifraga*

Pflanzenauswahl für normale Streckenabschnitte (siehe Tabelle 4):

Ruderalpflanzen:

Medicago lupulina, *Draba verna*, *Erodium cicutarium*, *Acinos arvensis*, *Satureja hortensis*, *Papaver dubium*, *Matricaria discoidea*, *Trifolium campestre*, *Chaenorhinum minus*, *Anthemis arvensis*

stresstolerante Pflanzen:

Rumex acetosella, *Echium vulgare*, *Festuca rubra commutata*, *Ajuga genevensis*, *Leontodon hispidus*, *Brachypodium pinnatum*, *Plantago media*, *Myosotis sylvatica*, *Anthyllis vulneraria*, *Thymus serpyllum*

ausdauernde, konkurrenzstarke Pflanzen:

Campanula rapunculoides, *Centaurea jacea*, *Salvia pratensis*, *Achillea millefolium*, *Festuca ovina*, *Sanguisorba minor*, *Leucanthemum vulgare*, *Malva moschata*, *Plantago lanceolata*, *Galium verum*, *Lotus corniculatus*, *Pimpinella major*, *Campanula glomerata*, *Prunella vulgaris*, *Dianthus carthusianorum*, *Hieracium pilosella*, *Teucrium chamaedrys*, *Pimpinella saxifraga*, *Silene vulgaris*, *Petrorhagia saxifraga*

Die entsprechenden Pflanzenkalender und Preisberechnungen beider Saatgutmischungen werden in den Tabellen 3 & 4 dargestellt, während eine digitale Visualisierung einer idealen Bepflanzungsperspektive in der Abb. 17 veranschaulicht wird. Die Preise für beide Mischungen liegen bei rund 4,00 €/m², was im Vergleich zu einer traditionellen Rasenmischung nach FLL kostengünstig ist.

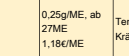
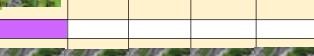
① Darstellung der Saatgutmischung und Preisberechnung für Haltestellen												
4000 Körner/m2		Fläche : 1820 m2				25% Ruderalpflanzen, 25% stressolerante Pflanzen, 50% konkurrenzstarke Pflanzen, davon 50% sichere Arten und unsichere Arten (hellgelb markiert)						
wissenschaftliche Namen	deutsche Namen	Höhe	Blütezeit	Standort	Gramm pro Korn	KG (Körner/Gramm)	TKG	Körner Anteil /qm	Gramm/qm	Körnerprozent in %	Gesamtgewicht in Gramm	
Ruderalpflanzen (1000 Körner/m2)	Trifolium dubium	Fadenklee	bis 40 cm	Mai - Oktober	Fr/St1-2,so	0,00055	1818	0,55	20	0,011	0,5	108
	Draba verna	Frühlings-Hungerblümlchen	bis 10cm	Juni - Oktober	Fr. 1-2,so	0,0001	10000	0,1	50	0,005	1,25	45
	Erodium cicutarium	Gewöhnlicher Reiherschnabel	bis 50cm	April - September	Fr/GR1-2,so-hs	0,00154	649	1,54	10	0,0154	0,25	152,1
	Medicago lupulina	Hopfenklee	bis 50cm	Mai bis Oktober	Fr. 1-2,so	0,00165	606	1,65	50	0,0825	1,25	812
	Satureja hortensis	Bohnenkraut	bis 50cm	Juli - September	Fr1, so	0,0005	2000	0,5	155	0,0775	3,875	765
	Trifolium campestre	Feld-Klee	bis 30cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,0005	2000	0,5	50	0,025	1,25	2
	Matricaria discoidea	Strahlenlose Kamille	bis 40cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,00015	6667	0,15	200	0,03	5	296
	Chaenorhinum minus	Kleines Leinkraut	bis 25cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,00007	14286	0,07	5	0,00035	0,125	3,4
	Anthemis trictoria	Färberkamille	bis 70cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,0004	2500	0,4	260	0,104	6,5	1027
	Papaver dubium	Saat-Mohn	20- 60cm	Mai-Juli	Fr1-2,so-hs	0,0001	10000	0,1	200	0,02	5	197
stressolerante Pflanzen	Rumex acetosa var. hortensis	Wiesen-Sauerampfer	bis 50 cm	Mai-Juli	Fr2-3b,so-hs	0,001	1000	1	20	0,02	0,5	197
	Echium vulgare	Gemeiner Natternkopf	bis 80 cm	Mai - September	Fr1-2,so	0,0029	345	2,9	80	0,232	2	2292
	Festuca rubra commutata	Horst-Rotschwingel	bis 70cm	Juni	Fr1-2,so-hs	0,0008	1250	0,8	250	0,2	6,25	19
	Chamaemelum nobile	Römische Kamille	bis 20 cm	Juni - September	Fr/St/MK/M1-2,so-hs	0,00015	6667	0,15	350	0,0525	8,75	516
	Leontodon hispidus	Stiefhaariger Löwenzahn	bis 60 cm	Juni - Oktober	Fr1-2,so	0,0012	833	1,2	10	0,012	0,25	118

Tabelle 3: Saatgutmischung für Haltestelle

chere Arten und		Insgesamt 3,90 Euro/m2															
Gesamtgewicht In Gramm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Preis/g	Bezugsquellen	Gesamtpreis pro Pflanzenart		
108,68													0,3g/ME, ab 80ME 0,82€/ME	Templiner Kräutergarten	297,06		
49,4													0,1g/ME, ab 80ME 0,8€/ME	Templiner Kräutergarten	395,20		
152,152													0,25g/ME, ab 27ME 1,18€/ME	Templiner Kräutergarten	718,16		
815,1													2g/ME, ab 80ME= 0,72€/ME	Templiner Kräutergarten	293,44		
765,7													0,5g/ME, ab 80ME 0,78€/ME	Templiner Kräutergarten	1.194,49		
247													0,3g/ME, ab 27ME 1,16€/ME	Templiner Kräutergarten	955,07		
296,4													0,2g/ME, ab 80ME 0,72€/ME	Templiner Kräutergarten	1.067,04		
3,458													200Korn=2,4€	Belisama shop	592,80		
1027,52													ab 250g, 0,2€/g	Saatgut Vielfalt	205,50		
197,6													0,2g/ME, ab 80ME 0,76€/ME	Templiner Kräutergarten	691,60		
197,6													0,3g/ME, ab 27ME 3,21€/g	Templiner Kräutergarten	634,30		
2292,16													1g/ME, ab 80ME 0,76€ _g	Templiner Kräutergarten	1.742,04		
1976													4g/ME, ab 27ME 0,34€/g	Templiner Kräutergarten	671,84		
518,7													0,2g/ME, ab 80ME 1,70€/g	Templiner Kräutergarten	881,79		
118,56													0,2g/ME, ab 27ME 7,17€/g	Templiner Kräutergarten	850,08		

② Darstellung der Saatgutmischung und Preiskalkulation für normale Streckenabschnitte												
4000 Körner/m2		Fläche : 9880 m2				25% Ruderalpflanzen, 25% stressintolerante Pflanzen, 50% konkurrenzstarke Pflanzen, davon 50% sichere Arten und unsichere Arten (hellgelb markiert)						
wissenschaftliche Namen	deutsche Namen	Höhe	Blütezeit	Standort	Gramm pro Korn	KG (Körner/gramm)	TKG	Körner Anteil /qm	Gramm/qm	Körnerprozent in %	Gesamtgewicht in Gramm	
Ruderalpflanzen (1000 Körner/m2)	Medicago lupulina	Hopfenklee	bis 50cm	Mai bis Oktober	Fr. 1-2,so	0,00165	606	1,65	30	0,0495	0,75	489,
	Draba verna	Frühlings-Hungerblümchen	bis 10cm	Juni - Oktober	Fr. 1-2,so	0,0001	10000	0,1	50	0,005	1,25	46
	Erodium cicutarium	Gewöhnlicher Reiher Schnabel	bis 50cm	April - September	Fr/GR1-2,so-hs	0,00154	649	1,54	10	0,0154	0,25	152,1
	Acinos arvensis	Steinquendel	bis 30cm	Juni - September	Fr/GR1-2,so	0,00025	4000	0,25	10	0,0025	0,25	24
	Satureja hortensis	Bohnenkraut	bis 50cm	Juli - September	Fr1, so	0,0005	2000	0,5	100	0,05	2,5	4
	Papaver dubium	Saat-Mohn	20- 60cm	Mai-Juli	Fr1-2,so-hs	0,0001	10000	0,1	240	0,024	6	237,
	Matricaria discoidea	Strahlenlose Kamille	bis 40cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,00015	6667	0,15	155	0,02325	3,875	229,
	Trifolium campestre	Feld-Klee	bis 30cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,0005	2000	0,5	50	0,025	1,25	2
	Anthemis tinctoria	Färberkamille	bis 70cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,0004	2500	0,4	350	0,14	8,75	138,
	Chaenorhinum minus	Kleines Leinkraut	bis 25cm	Juni - September	Fr. 1-2,so	0,00007	14286	0,07	5	0,00035	0,125	3,4
stressintolerante Pflanzen	Rumex acetosa var. hortensis	Wiesen-Sauerampfer	bis 50 cm	Mai-Juli	Fr2-3b,so-hs	0,001	1000	1	50	0,05	1,25	4
	Echium vulgare	Gemeiner Natternkopf	bis 80 cm	Mai - September	Fr1-2,so	0,0029	345	2,9	30	0,087	0,75	859,
	Festuca rubra commutata	Horst-Rotschwingel	bis 70cm	Juni	Fr1-2,so-hs	0,0008	1250	0,8	550	0,44	13,75	4347
	Ajuga genevensis	Genfer Günsel	bis 30cm	April-Mai	GR/Fr1-2	0,00139	719	1,39	20	0,0278	0,5	274,6
	Leontodon hispidus	Stiefhaariger Löwenzahn	bis 60 cm	Juni - Oktober	Fr1-2,so	0,0012	833	1,2	10	0,012	0,25	118,

Tabelle 4: Saatgutmischung für normal befahrende Stelle

chere Arten und		insgesamt 3,94Euro/m2															
Gesamtgewicht in Gramm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Preis/g	Bezugsquellen	Gesamtpreis pro Pflanzenart		
489,06													2g/ME, ab 80 ME= 0,72€/ME	Templiner Kräutergarten	176,06		
49,4													0,1g/ME, ab 80ME 7,80€/g,	Templiner Kräutergarten	385,32		
152,152													0,25g/ME, ab 27ME 1,18€/ME	Templiner Kräutergarten	718,16		
24,7													0,05g/ME, ab 27ME 21,00€/g,	Templiner Kräutergarten	518,70		
494													0,5g/ME, ab 80ME 1,44€/g	Templiner Kräutergarten	711,36		
237,12													0,2g/ME, ab 80ME 0,76€/ME	Templiner Kräutergarten	829,92		
229,71													0,2g/ME, ab 80ME 0,72€/ME	Templiner Kräutergarten	826,96		
247													0,3g/ME, ab 27ME 1,16€/ME	Templiner Kräutergarten	955,07		
1383,2													ab 250g, 0,26€/g	Saatgut Vielfalt	276,64		
3,458													200Korn=2,4€	Belisama shop	592,80		
494													0,3g/ME, ab 27ME 3,21€/g	Templiner Kräutergarten	1585,74		
859,56													1g/ME, ab 80ME 0,76€/g	Templiner Kräutergarten	653,27		
4347,2													4g/ME, ab 27ME 0,34€/g	Templiner Kräutergarten	1478,05		
274,664													4€/g	Jelitto	1098,66		
118,56													0,2g/ME, ab 27ME 7,17€/g	Templiner Kräutergarten	850,08		

Eine nachhaltige Pflege reicht beim Magerrasen 2-3 Mal pro Jahr aus. Aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht sollte die abgeschnittene Streu vom Mähen für die Viehhaltung verkauft bzw. verwendet werden, was auch einer traditionellen Bewirtschaftung von Magerrasens entspräche. In jedem Fall sollte die Biomasse entfernt werden, schon um die geringe Produktivität zu erhalten. (vgl. DIERSCHKE & BRIEMLE 2002: 163).

4. Fazit und Ausblick

Die Standortanpassungsfähigkeit der Vegetation ist ein zentrales Kernproblem bei der aktuellen Pflanzengestaltung und Pflanzenauswahl, da viele Freiraum- und Stadtplaner*innen zuerst die ästhetische Entwurfsform sowie Gestaltungseffekte bedenken, anstatt eine ausführliche Analyse der Umgebungsfaktoren durchzuführen und diese zu beachten. Die Vegetationsprobleme bei der Gleisbegrünung im Stadtgebiet Düsseldorf sind keine Einzelfälle. Leider ist die verwendete Vegetation im öffentlichen Stadtgrün an vielen Stellen selten ihren Umgebungen entsprechend angepasst.

In der Zukunft, zusätzlich begünstigt durch den Klimawandel, werden kostengünstige Grünflächen in Städten und Gemeinden immer mehr an Bedeutung gewinnen. Daher wurde seit 2019 gesetzlich verankert, dass die Kalkulation über die Lebenszykluskosten von den Landes- bzw. Bundesausschüssen überprüft und festgestellt werden sollen und ob eventuell Pflegemaßnahmen durchzusetzen sind (vgl. KAPPIS 2010:92). Dies setzt höhere Anforderungen an das Stadtgrün als früher und daran, wie die Freiraum- und Stadtplaner*innen die begrenzte Grünfläche ausnutzen und planen, um ökologische, ökonomische und gestalterische Funktionen gleichermaßen zu erfüllen. Dafür wird eine Bilanz zwischen Gestaltung, Nutzung, Ökologie und Pflege von Grünräumen als Grundlage vorausgesetzt, die alle Aspekte gleichzeitig mit hoher Aufmerksamkeit betrachtet (siehe folgende Abb. 18).

Die Zukunft der Entwicklung des Stadtgrüns erfordert sowohl ausreichende vegetationskundliche als auch bautechnische Kenntnisse, um die existierenden Probleme wissenschaftlich, wirtschaftlich und auch gestalterisch zu lösen und die vorhandene Vegetationsausstattung zu optimieren.

5. Literaturverzeichnis

- Ahrens; Dreger; Giglmaier; Grätz; Grütze; Haub; Heimings; Hötzl; Kappis; Kröger; Mittelstädt; Reichenbacher; Reidenbach; Schade; Schmitz; Scholz; Schreiter; Schwartz; Stolpmann; Stutz; Utermöhlen; Wetzl (2014) (Hg. Grüngleisnetz): Handbuch Gleisbegrünung Planung • Ausführung • Pflege. DVV Media Group GmbH. Hamburg
- Albracht, R; Bocks, M; Kiehl, K; Licht, B; Lord, F; Lung, G; Molder, F; Müller-Beck, K; Nonn, H; Prämassig, W; Schneider, H; Schnotz, G; Sienholz, K; Thieme-Hack, M; Wöster, S (2018) (Hg. Martin Thieme-Hack): Handbuch Rasen. Eugen Ulmer. Stuttgart
- Besier, Stephan (2010): Grüne Gleise im Stadtverkehr, Beachtung aus stadtgestalterischer Sicht aus: KAPPIS, C.; Gorbachevskaya, O; Schreiter, H.; Endlicher, W. (Hg. Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin) (2010): Das grüne Gleis, vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung, Seite 109-121. Berlin

- Bomble, W. F. (Hg. Bochumer Botanischer Verein e.V.) (2011): *Draba subgen. Erophila* in Deutschland, Auf dem Weg zu einer natürlichen Taxonomie aus : Online- Veröffentlichung Bochumer Botanischer Verein 3. Beitrag (4), Seite 33-43 (https://www.botanik-bochum.de/publ/OVBBV3_4_Bomble_Erophila.pdf) [aufgerufen 25.05.2021]
- Bomble, W.F. (Hg. Bochumer Botanischer Verein e.V.) (2012): *Sedum s.l.- Fetthenne, Mauerpfeffer (Crassulaceae)* in Nordrhein-Westfalen einheimische und verwilderte Arten aus: Jahresbericht 2012, Seite 269-208 (https://www.botanik-bochum.de/jahrbuch/Jahrbuch_2012_Inhalt.pdf) [aufgerufen 25.05.2021]
- Bomble, W.F. (Hg. Bochumer Botanischer Verein e.V.) (2014): Kleinblütige Arten der Gattung *Geranium* (Storchschnabel) in Nordrhein-Westfalen aus: Jahresbericht 2014, Seite 197-215 (https://www.botanik-bochum.de/jahrbuch/Pflanzenportraet_Geranium_kleinbluetig.pdf) [aufgerufen 25.05.2021]
- Brack, F.; Hagenbuch, R.; Wildhaber, T.; Henle, C.; Sadlo, F. (2019) (Auftraggeberin: Grün Stadt Zürich GSZ, Fachbereich Naturförderung): Mehr als Grün, Profilkatalog naturnahe Pflege (<https://www.zhaw.ch/storage/lfsf/institute-zentren/iunr/gruenraumentwicklung/mehr-als-gruen-profilkatalog-naturnahe-pflege.pdf>) [aufgerufen 15.06.2021]
- Classen, Thomas (2018): Urbane Grün- und Freiräume – Ressourcen einer gesundheitsförderlichen Stadtentwicklung aus: Baumgart, Sabine; Köckler, Heike; Ritzinger, Anne; Rüdiger, Andrea (Hg.): Planung für gesundheitsfördernde Städte (2018), Seite 297-313. Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Hannover.
- Dierschke, Hartmut & Briemle, Gottfried (2002) (Hg. Richard Pott): Kulturgrasland, Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. Eugen Ulmer. Stuttgart
- Ellenberg, Heinz & Stottele, Tillmann (Hg. Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn- Bad Godesberg) (1984): Möglichkeiten und Grenzen der Sukzessionslenkung im Rahmen straßenbegleitender Vegetationsflächen aus: Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Heft 459. Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss. Bremerhaven
- Evers, Christiane (2006): Ephemerengfluren (Sedo-Sclerantetalia) im nördlichen Harzvorland aus: (Hg. Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft e.V.) Tuexenia Band 26 (2006), Seite 191-201 (https://www.tuexenia.de/publications/tuexenia/Tuexenia_2006_NS_026_0191-0201.pdf) [aufgerufen 21.06.2021]
- FLL-RSM (Regel-Saatgut-Mischung) Rasen (Ausgabe 2021-02) (Hg. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) Bonn
- Grüngleisnetzwerk (Hg.) (2012): Wirkung und Funktion Grüner Gleise (<http://www.gruengleisnetzwerk.de/images/downloads/wirkung.pdf>) [aufgerufen 05.05.2021]
- Herfort, Susanne und Gorbachevskaya, Olga (2012) (Hg. ISAP): Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerkbegrünung typische Pflanzen. Berlin.
- Hülbusch, K.H.; Knittel, J.; Wegmann, A. (1988): Pflege und Unterhaltung vegetationsfähiger Straßenfreiräume aus: Bäuerle, H.; Mang, W.; Stapel, B.; Troll, H.; Schürmeyer, B.; Hülbusch, K.H.; Koch, J.; Kreikenbaum, H. (1995) (Hg. Arbeitsgemeinschaft Freiraum und Vegetation): Notizbuch 34 Pflegefälle, Seite 33- 146. Kassel
- Jagel, Armin (Hg. Bochumer Botanischer Verein e.V.) (2015): *Plantago lanceolata*-Spitz-Wegerich (Plantaginaceae), Arzneipflanze des Jahres 2014 aus: Jahresbericht 2015, Seite 229-233 (https://www.botanik-bochum.de/jahrbuch/Jahrbuch_2015_Inhalt.pdf) [aufgerufen 20.06.2021]

- Kappis, Christel. (2010): wirtschaftliche Aspekte Grüner Gleise aus: Kappis, C.; Gorbachevskaya, O; Schreiter, H.; Endlicher, W. (Hg. Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin) (2010): Das grüne Gleis, vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung, Seite 91-108. Berlin
- Kappis, Christel; Henze, H.J.; Gorbachevskaya, O.; Schreiter, H. (2010): Stadtökologische Effekte von Gleisbettbegrünung aus: Kappis, C.; Gorbachevskaya, O; Schreiter, H.; Endlicher, W. (Hg. Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin) (2010): Das grüne Gleis, vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung, Seite 9-40. Berlin
- Kienast, Dieter (1978) (Hg. Gesamthochschul- Bibliothek): Die spontane Vegetation der Stadt Kassel in Abhängigkeit von bau- und stadtstrukturellen Quartierstypen. Kassel
- Klotz, S. & Kühn, I. (2002) (Hg. Bundesamt für Naturschutz, Bonn): Ökologische Strategietypen aus: Schriftenreihe für Vegetationskunde, Heft 38, Seite 197-201 (https://www.ufz.de/biolflor/info/oekologische_strategie.pdf) [aufgerufen 05.07.2021]
- Kratochwil, A. (1983) (Hg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Ökologie und Naturschutz): Zur Phänologie von Pflanzen und blütenbesuchenden Insekten (Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera) eines versaumten Halbtrockenrasens im Kaiserstuhl aus ein Beitrag zur Erhaltung brachliegender Wiesen als Lizenz-Biotope gefährdeter Tierarten.- Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 34: 57-108. Karlsruhe
- Landeshauptstadt Düsseldorf (Hg.) (2017): Klimaanpassungskonzept für die Landeshauptstadt Düsseldorf (<https://www.duesseldorf.de/umweltamt/umwelt-und-verbraucherthemen-von-a-z/klimaschutz/klimaschutz-komplett/stadtklima.html>) [aufgerufen 27.04.2021]
- Morawetz, Verena (Hg. Verein zur Erforschung der Flora Österreichs) (2008): Ökomorphologie heimischer Sedee (Crassulaceae) Ein Beitrag zur Lebensgeschichte aus: Neilreichia 5 (Zeitschrift für Pflanzensystematik und Floristik Österreichs) (2008), Seite 191-198 (https://www.zobodat.at/pdf/NEIL_5_0181-0198.pdf) [aufgerufen 10.07.2021]
- Siegl, A., Kirchner, L., Böhme, D. (2010): Wasserverfügbarkeit, Wasserbedarf und klimatische Auswirkungen von Rasengleisen aus Kappis, C.; Gorbachevskaya, O; Schreiter, H.; Endlicher, W. (Hg. Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin) (2010): Das grüne Gleis, vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung, S. 123-132. Berlin
- Wilmanns, Otti (1998): Ökologische Pflanzensoziologie, 6.Auflage. Quelle & Meyer. Wiesbad