

Wirkung und Funktion Grüner Gleise



Veröffentlichung des GRÜNGLEISNETZWERKS

www.gruengleisnetzwerk.de

Das Grüngleisnetzwerk wird gefördert durch



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Netzwerkpartner

Unternehmen

edilon)(sedra

STRAIL[®]astic

RAIL.ONE 

SCHMID
ingenieure GmbH

Umwelt-Geräte-Technik
GmbH 

ECO
Rain

X
RASEN

Verkehrsunternehmen

BVG

rnv
GmbH



Rheinbahn

SWU



**Kasseler
Verkehrs-Gesellschaft
Aktiengesellschaft**



**ViP
Verkehrsbetrieb
Potsdam GmbH**

Forschungseinrichtungen

STUVA

LVG
ERFURT

RFH
RASEN-FACHSTELLE HOHENHEIM

Netzwerksmanagement

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte
an der Humboldt-Universität zu Berlin

Hendrikje Schreiter und Dr. Christel Kappis

Philippstr. 13, 10115 Berlin

iasp@agrار.hu-berlin.de

iasp

Träger des IASP:

Verein zur Förderung agrar- und stadtökologischer Projekte e. V. (A. S. P.)

Inhaltsverzeichnis

1	Stadtökologische Effekte Grüner Gleise	5
1.1	Auswirkungen von Vegetationssystemen im Gleis auf den urbanen Wasserhaushalt.....	5
1.1.1	Verbesserung der Regenwasserrückhaltung im Grünen Gleis	5
1.1.2	Verbesserung des Stadtklimas durch Verdunstung im Grünen Gleis.....	9
1.2	Reduzierung der Temperatur im Gleis.....	9
1.3	Schadstoffaufnahme und -rückhaltung durch Gleisbegrünungen	10
1.4	Lärminderungspotenzial Grüner Gleise.....	11
2	Stadtgestaltung und Erscheinungsbild der Gleise	12
3	Ökonomischer Nutzen.....	14
4	Fazit	15

Wirkung und Funktion Grüner Gleise

Die Begrünung von Straßenbahngleisen erfolgt aus verschiedenen Gründen und ist mit vielen ökologischen, stadtgestalterischen und ökonomischen Effekten verbunden. Diese wirken insbesondere in hochversiegelten Stadtinnenräumen. So kann durch die Begrünung von zwei Kilometern eines Doppelgleises (DG) mehr als ein Hektar Vegetationsfläche neu entstehen [1]. Zum Ende des Jahres 2011 wurden im Rahmen einer Umfrage in Deutschland 425 km begrünte Einzelgleise erfasst¹ [2]. Dadurch wurden bisher über 106 ha bzw. 1,06 Millionen m² begrünte Gleistrasse zuzüglich angrenzender Grünflächen geschaffen, die mit oben genannten Effekten verbunden sind. Die wichtigsten Effekte werden im Folgenden kurz dargestellt.

1 Stadtökologische Effekte Grüner Gleise

Die Versiegelung innerstädtischer Räume, das hohe Verkehrsaufkommen sowie andere Faktoren ziehen ungünstige ökologische Folgen nach sich, beispielsweise für das Stadtklima, die mit erheblichen Folgekosten verbunden sein können, z. B.:

- Negative Auswirkungen auf den natürlichen Wasserhaushalt durch
 - Erhöhung des oberflächlichen Niederschlagsabflusses, der bei Starkregen zur Überlastung der Kanalisation führen kann, wodurch ungereinigtes Wasser direkt in die Gewässer gelangt,
 - höhere Aufwendungen für die Wasserbetriebe bei der Wasserreinigung,
 - Verringerung der Wasserrückhaltung des Niederschlags im Boden bzw. der Grundwasserspende,
 - Verringerung der Verdunstungsleistung, Verringerung der Luftfeuchten, ausbleibende Verdunstungskühlung, Aufheizung und Bildung von Wärmeinseln (bspw. auch infolge von verstärkter Strahlungsabsorption und fehlender Frischluftschneisen).
- Die Lärmbelastung in Städten entsteht nicht nur aufgrund der zahlreichen Emissionsquellen sondern auch durch die vielen schallreflektierenden Oberflächen und die dichte Bebauung.
- Die Feinstaubbelastung der Luft ist insbesondere in den Stadtinnenräumen groß. Die wichtigsten Quellen sind meist Verkehr, Hausbrand und Industrie. Feinstaub wird auf versiegelten Oberflächen nicht dauerhaft fixiert und kann durch Aufwirbelung erneut in die Luft gelangen.

1.1 Auswirkungen von Vegetationssystemen im Gleis auf den urbanen Wasserhaushalt

1.1.1 Verbesserung der Regenwasserrückhaltung im Grünen Gleis

Im Vergleich zum nicht begrünten Gleis erfolgt die Wasserbilanz im Grünen Gleis naturnaher. Die Wasserbilanz setzt sich zusammen aus Wasserabfluss, -speicherung und Verdunstung.

¹ Da nicht alle Verkehrsunternehmen bei der Umfrage erfasst werden konnten, ist von mehr begrünten Gleisen auszugehen.

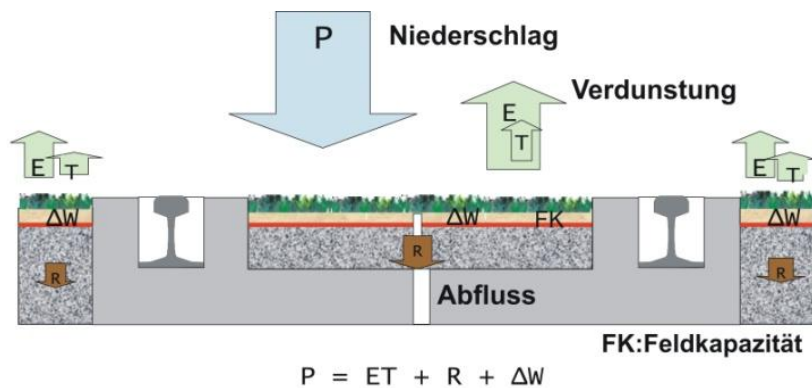


Abb. 1: Elemente des Wasserhaushalts im begrünten Straßenbahngleis [3]

P= Niederschlag; ET=Verdunstung; R=Abfluss; ΔW =Veränderung des Wasservorrates im Vegetationssystem in mm bzw. l/m² FK =Feldkapazität (die maximale Menge des Haftwassers im Begrünungssystem, angegeben als Feuchte in Vol. % oder als W in mm).

In begrünten Gleisen speichert das Vegetationssystem zunächst das anfallende Niederschlagswasser bis zu seiner Sättigung. Das darüber hinaus abfließende Wasser gelangt in die Kanalisation bzw. ins Grundwasser. Bei Anschluss der Gleisentwässerung an das kommunale Abwassernetz wird dieses im Vergleich zum nicht begrünten Gleis nur mit einem geringen Abfluss belastet. Dieser erfolgt in der Regel erst bei Niederschlägen längerer Dauer oder größerer Intensität. Das aufgenommene und gespeicherte Niederschlagswasser wird überwiegend durch Verdunstung (Transpiration der Pflanzen und Evaporation aus der Vegetationstragschicht) wieder an die Luft abgegeben. Hierbei wird die Luftfeuchte erhöht und Verdunstungskühle erzeugt. Die Wasserspeicherkapazität der Begrünungssysteme ist abhängig vom Vegetationssystem.



Abb. 2: Sedumgleis (Foto Kappis, IASP)



Abb. 3: Rasengleis (Foto Schreiter, IASP)

Je nach eingesetzter Vegetation (Rasen oder Sedum) unterscheidet sich die Vegetationstragschicht in Schichtdicke und Zusammensetzung. Sedumgleise sind gekennzeichnet durch eine geringmächtige Vegetationstragschicht von 6 - 8 cm. Bei Rasengleisen sollte diese – standortabhängig – mindestens 15 cm betragen.

Grüne Gleise ermöglichen eine durchschnittliche Wasserrückhaltung der jährlichen Gesamtniederschlagsmenge, die auf ein Grünes Gleis treffen, in Höhe von

- 50 % bei Sedumgleisen und
- 70 % bei Rasengleisen [3], [4].

Das heißt, etwa 50 % bzw. 70 % der jährlichen Niederschlagsmenge je m² Gleisbegrünung werden gebunden und wieder verdunstet. Bei Zugrundelegen einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 790 l/m²/a [5] in Deutschland, hält ein Begrünungssystem im Gleis jährlich ca. 400 - 550 l Niederschlagswasser je m² zurück.

Demzufolge speichert 1 ha Gleisbegrünung jährlich

ca. 5.530 m³ Wasser im Rasengleis und

ca. 3.950 m³ Wasser im Sedumgleis.

Auf diese Weise werden insgesamt allein durch die in Deutschland durch die Umfrage erfassten 380 km Einzelgleis (EG) mit Rasen und 45 km EG mit Sedum [2] über 560.000 m³ Niederschlagswasser gespeichert, mit bedeutenden mikroklimatischen Effekten. Potentiell sind in Deutschland mindestens 1.150 km Straßenbahngleis begrünbar, was einer Fläche von ca. 287,5 ha entspricht [2]. Würde diese Fläche begrünt, könnte eine Wasserrückhaltung von 1,55 Mio m³ pro Jahr ermöglicht werden. Der besondere Wert dieser Rückhaltung ergibt sich aus der stadtklimatischen Wirkung, die vor allem in stärker versiegelten Innenstädten zum Tragen kommt.

Den wichtigsten Einfluss auf die Regulierung der Wasserbilanz haben Begrünungssysteme in den Sommermonaten. Obwohl in dieser Zeit die höchsten und intensivsten Niederschlagsmengen anfallen, halten die Grünen Gleise im Durchschnitt ca. 90 % der Niederschlagsmenge, die auf einen m² fällt, zurück. Nur etwa 10 % fließen ab [3].

Die Höhe des Niederschlagsabflusses ist dabei von vielen Faktoren abhängig, v. a.:

- von der konkreten Wassersättigung des Begrünungssystems,
- von der Niederschlagsintensität sowie
- von der absoluten Niederschlagsmenge.

Im Gegensatz zu den Wintermonaten führt die starke Verdunstung des Wassers durch Pflanzen und Vegetationsträger im Sommer immer wieder zur Verringerung des Sättigungsgrades und damit zu einem verbesserten Wasserspeichervermögen im Vegetationssystem. Die folgenden zwei Beispiele zeigen die Auswirkungen von Gleisbegrünungssystemen auf den Wasserhaushalt im Hochsommer.

Für das erste Beispiel zeigt Abb. 4 die Veränderung der Wasserhaushaltsgrößen in einem Sedumgleis bei einem Starkniederschlag in Berlin (13,5 l/m² mit einem Spitzenwert von 5,7 l/m² in 15 min) [3]. Vor dem Regen war das Vegetationssystem bereits zu 80 % gesättigt.

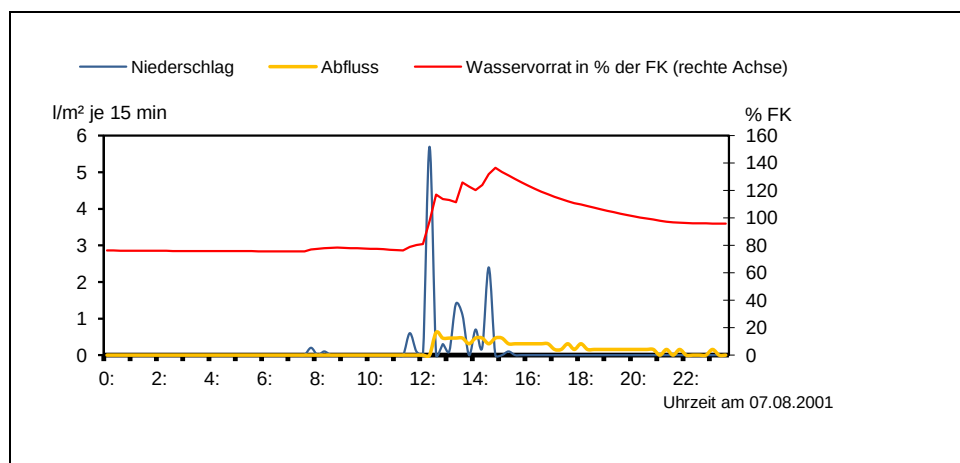


Abb. 4: Niederschlags- und Abflusswerte in l/m² und Wasservorratswerte in % des maximal gebundenen Wasseranteils im Boden (Feldkapazität, FK) des Gleisbegrünungssystems; Vorrätsättigungsgrad ca. 80 % der FK [3].

Trotz des intensiven Niederschlages und der hohen Vorsättigung begann der Wasserabfluss erst 15 min nach der Niederschlagsspitze von 5,7 l/m². Der größte Abfluss der je

Messintervall von 15 min gemessen wurde, betrug nur 0,6 l/m². Danach setzte ein gleichmäßiger und immer geringer werdender Abfluss ein.

Noch bessere Effekte erreichen Vegetationssysteme mit einer geringeren Vorsättigung. Im Beispiel zwei traf eine ähnlich große Niederschlagsmenge (11,5 l/m²) auf ein Vegetationssystem, das nur zu 40 % mit Wasser gesättigt war.

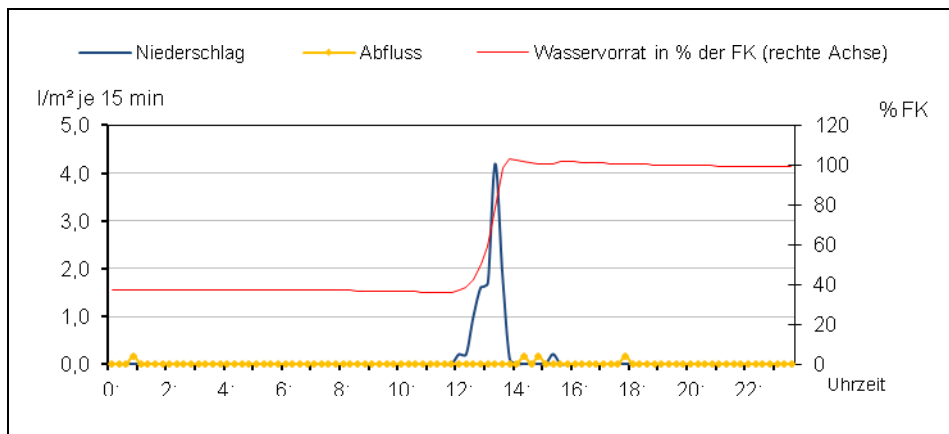


Abb. 5: Niederschlags- und Abflusswerte in l/m² und Wasservorratswerte in % des maximal gebundenen Wasseranteils im Boden (Feldkapazität, FK) des Gleisbegrünungssystems; Vorsättigungsgrad ca. 40 % der FK [3].

Bei diesem Niederschlag flossen insgesamt nur 0,6 l/m² ab. 11 l Niederschlagswasser wurden im Vegetationssystem gespeichert (95 % des Regens). Der Abfluss des nicht gebundenen Wassers begann erst 2 h nach dem Niederschlagsereignis und betrug weniger als 0,2 l/m² in 15 min.

Trotz unterschiedlicher Bedingungen in beiden Beispielen wird der große Einfluss von Begrünungssystemen im Gleis deutlich. Bei versiegelten Flächen fließt das Regenwasser oberflächlich ab und belastet bei Anschluss an die Kanalisation diese sofort in ihrem gesamten Ausmaß. Gleichzeitig ist das Abflusswasser oft stark verschmutzt. Sind begrünte Gleise an das kommunale Abwassernetz angeschlossen, müssen diese deutlich später nach einer Regenwasserspitze, wesentlich geringere Mengen und durch die Filterwirkung der Begrünungssysteme weniger verschmutztes Abflusswasser aufnehmen.

Großflächig begrünte Gleise können im Vergleich zu nicht begrünten Gleisen spürbare Entlastungen der Kanalisation in der unmittelbaren Umgebung bewirken. Insbesondere Starkniederschläge im Sommerhalbjahr, die bei hoher Versiegelung des Bodens schnell zu Straßenflutungen führen, können durch Begrünungssysteme in ihrer Wirkung gemildert werden.

Die größte Bedeutung haben die Vegetationssysteme im Sommerhalbjahr hinsichtlich ihrer stadtklimatischen Effekte.

Unter den klimatischen Bedingungen in Berlin² halten Gleisbegrünungssysteme in den Sommermonaten je m² über 220 l Wasser zurück. Das sind bei zwei Kilometer begrünten Doppelgleis bzw. einem Hektar Grünfläche im Sommer 2.210 m³ Wasser. Bei rund 45 km begrünten Gleisen³ in Berlin verbleiben im Sommer etwa 24.750 m³ Wasser im Vegetationssystem der Gleise und können stadtklimatisch wirksam werden.

² 580 l/m² Niederschlag * Jahr bzw. 245 l/m² in 4 Sommermonaten

³ Stand 2009

1.1.2 Verbesserung des Stadtklimas durch Verdunstung im Grünen Gleis

Als Folge der Versiegelung innerstädtischer Bereiche sowie der Häufung extremer Witterung kommt es in Städten verstärkt zum Hitze- und Trockenstress. Oft entstehen Wärmeinseln aufgrund der hohen Wärmeabsorption der Bauwerke am Tag, ihrer langsamen Wärmeabstrahlung in der Nacht sowie durch die zu geringe Verdunstungsrate bzw. -kühlung. Hier können Vegetationssysteme entlastend wirken:

- Pflanzen absorbieren Energie für die Photosynthese.
- Pflanzen und Boden verdunsten Wasser, wobei Verdunstungskälte frei wird.
- Pflanzen schirmen den Boden vor direkter Sonneneinstrahlung ab.
- Aufgrund ihrer geringeren Wärmespeicherkapazität im Vergleich zu Beton und Asphalt heizen sich begrünte Flächen tagsüber nicht so stark auf und kühlen nachts stärker aus [6].

Die Kühlleistung von Rasengleisen kann berechnet werden [4]: Die Verdunstung von Wasser erfordert Energie, die der Umgebung entzogen wird. Bei der Verdunstung von 1 l Wasser können 200 m³ Luft um 10 K (Senkung von 30 °C auf 20 °C) gekühlt werden.

Da im Sommer der Wärmeinseleffekt besonders belastend ist und Verdunstungsprozesse verstärkt ablaufen, ist hier die Bedeutung der Kühlleistung von Vegetationsflächen auch am größten. Analog dem Dresdener Berechnungsmodell [4] ergibt sich folgende theoretische Kühlleistung der begrünten Berliner Gleise in den Sommermonaten:

90 % der sommerlichen Niederschläge auf ein Grünes Gleis werden darin gebunden [3]. Das sind ca. 220 l je m² Vegetationssystem im Grünen Gleis. Theoretisch kann damit jeder Quadratmeter begrüntes Gleis im Sommer durch Verdunstung des gespeicherten Wassers zu einer Abkühlung von 44.000 m³ Luft um 10 K beitragen. Hochgerechnet auf die begrünten Berliner Gleise (45 km EG) bedeutet das, dass ca. 24.750 m³ gespeichertes Wasser im Sommer zu einer Kühlung von 4,95 Mrd. m³ (rund 5 km³) Luft um 10 K führen.

Durch die positive Beeinflussung des Kleinklimas in der Umgebung der Grünen Gleise leisten sie einen wertvollen Beitrag für die Verbesserung der Lebensbedingungen und damit für die Gesundheit der Bevölkerung.

1.2 Reduzierung der Temperatur im Gleis

In verschiedenen Versuchen wurde eine tendenziell ausgleichende Wirkung von Vegetationssystemen auf die Umgebungstemperatur und auf das Gleis festgestellt, die auf eine erhöhte Evapotranspiration (Verdunstung aus Pflanze und Boden) mit ihrem Kühlungseffekt als auch auf die Verringerung des Temperaturgradienten im Gleis zurückzuführen ist [3], [4], [7].

Dieser Effekt ist speziell im Sommer von großer Bedeutung, wenn sich Flächen ohne Vegetation, wie beispielsweise Schottergleise, insbesondere bei Wetterlagen mit hoher Sonneneinstrahlung auf Grund ihrer guten Wärmeabsorption (Farbe, Oberfläche) stark erhitzen. Im Vergleich zur Lufttemperatur heizt sich das offene Schotterbett im Tagesverlauf wesentlich stärker auf. Bei Versuchen in Dresden [4] erreichte der Schotter bei direkter Sonneneinstrahlung Oberflächentemperaturen bis über 50 °C. Bis auf vereinzelte Ausnahmen lag die Schottertemperatur im Sommer immer über der Lufttemperatur [7]. Damit haben auch Schotterbetten ihren Anteil an der geringen nächtlichen Abkühlung in Stadtinnenräumen. Trotz intensiver Sonneneinstrahlung erwärmten sich die Vegetationsflächen sowohl im Rasen- als auch im Sedumgleis nur auf 25-30 °C während die nicht begrünten Bereiche wie Kammerfüllkörper bzw. der freiliegende Schotter Temperaturen

von über 50 °C erreichten [3], [4], [7]. Vegetationsflächen heizen sich nicht nur weniger stark auf, sie decken auch darunterliegende Schichten (z. B. Substrate) ab und können somit die Aufheizung des Gleisbettes sowie der Schienen verringern. Während Schienen im Schottergleis bzw. bei tiefliegenden Vegetationssystemen Temperaturen von > 50 - 60 °C erreichen können [4], [8], liegen ihre Temperaturen im hochliegenden Rasengleis bei etwa 25 - 30 °C [4].

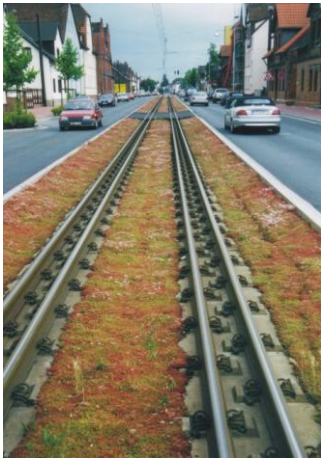


Abb. 6: tiefliegende Begrünung
(Foto Henze, IASP)



Abb. 7: hochliegende Begrünung
(Foto Kappis, IASP)

Die Pflanzenbestände sind in der Lage, an heißen Sommertagen die Lufttemperatur-extreme erheblich zu mindern. Der Effekt hängt vom Vegetationssystem ab und ist bei Rasengleisen größer als bei dünn-schichtigen Sedumgleisen.

1.3 Schadstoffaufnahme und -rückhaltung durch Gleisbegrünungen

Ein akutes Problem der urbanen Räume stellt die erhöhte Luftbelastung mit Feinpartikeln und anhaftenden Stoffen dar. Je kleiner die Partikel sind, desto höher ist ihre Risikowirkung auf die menschliche Gesundheit, da kleine Partikel tief in den Atemtrakt eindringen bzw. ab einer Größe von 0,1 µm auch in den Blutkreislauf übergehen können [9], [10]. Neben der Partikelgröße des Feinstaubes sind auch dessen chemischen und physikalischen Eigenschaften für das Ausmaß der gesundheitsschädigenden Wirkung relevant.

Vegetationssysteme können je nach Standortsituation und System die Entlastung der Stadtluft von Feinstaub unterstützen: Auf der vergrößerten und vergleichsweise rauen Oberfläche des Pflanzenbestandes werden Feinstäube abgeschieden. Dort sind sie teilweise an die Oberfläche gebunden. Einige von ihnen werden verstoffwechselt bzw. akkumuliert, wie z. B. Kohlenmonoxid oder Kohlenwasserstoffe [11]. Teile von ihnen gelangen über Wind, Vibration und Niederschlag in die Umgebung, wie Boden, Luft, andere Pflanzen oder Tiere. Pflanzenverfügbare gelöste Stoffe im Boden können durch die Wurzeln aufgenommen werden.

Durch die Aufnahme eines Teils des Feinstaubes im Gleisbegrünungssystem kann die lokale Feinstaubkonzentration der Luft verringert werden. Dieser Effekt tritt vermutlich insbesondere bei einem hohen Deckungsgrad der Vegetation mit hoher Depositionsoberfläche und ungleichmäßigen Bestandshöhen auf. Der Wiedereintritt des Staubes in die Luft über den Vegetationssystemen wird durch die verminderte Thermik im Vergleich zur versiegelten Flächen reduziert. Zudem ist anzunehmen, dass die Wiederaufwirbelung des Staubes durch Windeinwirkung oder verkehrsinduzierte Turbulenzen wie z. B. Straßenbahnüberfahrten aufgrund der Bindung des Staubes an die Pflanzen und den Boden reduziert wird.

Abb. 8 verdeutlicht die Akkumulation des Staubes auf Sedumblättern bzw. -sprossen aus einer Gleisbegrünung in Berlin-Mitte. Die beiden linken Abbildungen zeigen stark mit Staub bedeckte Pflanzenoberflächen. In den beiden rechten Abbildungen sind gereinigte Pflanzenoberflächen zu sehen. Die beiden oberen Aufnahmen sind jeweils Großaufnahmen eines Sedumblattes.

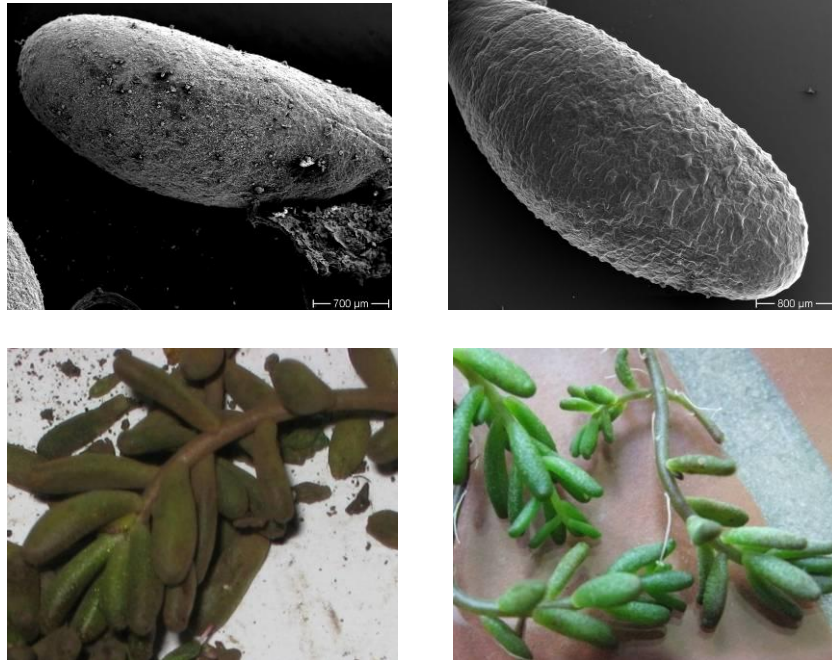


Abb. 8: Vergleich ungereinigter (links) und gereinigter (rechts) Blätter von *Sedum album*. Oben: REM-Aufnahmen, 700 µm und 800 µm (Aufnahmen Schreiter, IASP)

Auf den Blattoberflächen von *Sedum spurium* und *Sedum album* aus dem Straßenbahngleis wurden Partikel nachgewiesen, die vermutlich aus Abriebsprozessen des Rad-Schiene-Kontakts (Fe) und Brems sand (Si) stammen [12]. Weiterhin wurden verstärkt Schwermetalle wie Mangan und Kupfer sowie polyzyklisch aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Chrom nachgewiesen. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen, dass die deponierten Partikel den gesundheitsrelevanten Größenfraktionen PM₁₀ und PM_{2.5} zugehörig sind.

Das begrünte Gleis befindet sich häufig unmittelbar an einer der Hauptemissionsquellen des Feinstaubes, dem Verkehr, und bietet deshalb – auch wegen seiner großen Fläche – ein Potenzial zur Deposition und Bindung von Feinstaub und Schadstoffen und somit zur Reduktion der Feinstaubbelastung der Luft im urbanen Raum.

1.4 Lärminderungspotenzial Grüner Gleise

Lärm gehört zu den bedeutendsten Umweltbeeinträchtigungen im urbanen Raum. Im Straßenbahngleis wird die Höhe der Schallemissionen vorrangig durch den Wartungszustand von Schiene und Rad, konstruktionstechnische Aspekte und die Geschwindigkeit der Bahn sowie das Absorptionsvermögen der Umgebung bestimmt. Neben der Bekämpfung von Lärm an der Schallquelle sind auch Maßnahmen zur Minderung der Schallimmission von Bedeutung, die der ungehinderten Ausbreitung von Schall entgegen wirken. Hier können Grüne Gleise einen positiven Beitrag leisten.

Im Rahmen der Berechnung von Schallimmissionen, die nach der 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bzw. der „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Schall 03“ erfolgt, wird dem „Rasengleis“

pauschal ein Minderungsbonus zugestanden. Danach erhalten „Rasenbahnkörper“ unabhängig von ihrer Bauweise einen Abschlag von 2 dB(A). Dieser Bonus wird seit längerem kontrovers diskutiert, da er die schallabsorbierenden Eigenschaften der Begrünungssysteme nicht abhängig von ihrer Anordnung im Gleis berücksichtigt.

Bei tiefliegenden Vegetationssystemen reicht die Vegetationsebene nur bis zu den Schienenbefestigungsmitteln. Die Schallabstrahlung erfolgt damit über die gesamte Schiene. Weitere schallharte Flächen im Gleis, z. B. offen liegende Schwellenköpfe oder Längsbalken, reflektieren den Schall zusätzlich. Für Grüne Gleise mit tief liegender Vegetationsebene ergibt sich fast keine Minderung gegenüber dem Schottergleis (knapp 1 dB(A)), sodass der Bonus zumindest für die Bauweise „tiefliegender Rasen“ zu hoch angesetzt und überarbeitungsbedürftig ist.

Bei hochliegenden Vegetationssystemen reicht die Vegetation im Gleis i. d. R. bis zur Schienenkopfunterkante. Damit ist die Schiene weitgehend eingebettet und kann daher Schall nur im Bereich des Schienenkopfes abstrahlen.

Wird von der Annahme ausgegangen, dass Rad und Schiene etwa zu gleichen Teilen zur Schallemission beitragen, dann kann durch eine vollständige Einhausung der Schiene eine Schallminderung von maximal 3 dB(A) gegenüber dem als schalltechnisch optimal wirkenden Schottergleis auftreten. In dieser Größenordnung liegt die messtechnisch nachgewiesene Schallminderung Grüner Gleise mit hoch liegender Vegetationsebene im Vergleich zum Schottergleis mit offen liegenden Schienen. [13]

Bei vielen Messungen im Gleis konnten nur geringe Schallminderungen durch Grüne Gleise nachgewiesen werden. Nicht zu unterschätzen ist aber das psychologische Moment Grüner Gleise auf die subjektive Wahrnehmung der Schallimmissionen. Sie werden von Anwohnern Grüner Gleise weniger störend empfunden [3], [14].

Nicht nur die Ausführungsform im Gleis (hoch/tief) sondern auch der Zustand der Vegetation selbst (Deckungsgrad, Bestandsdichte, Wuchshöhe, Porosität des Vegetationsträgers, Wassergehalt) hat unmittelbaren Einfluss auf das Schallabsorptionsvermögen des Begrünungssystems [3].

Neben Schallemissionen verursacht der Straßenbahnverkehr auch Erschütterungsemissionen. Ein Einfluss von Vegetationssystemen auf deren Minderung ist hierbei von untergeordneter Bedeutung.

2 Stadtgestaltung und Erscheinungsbild der Gleise

Die ständig präsenten Gleisanlagen von Straßenbahnen nehmen Einfluss auf den Raumeindruck und erlangen somit eine hohe Bedeutung im Städtebau. Ein wesentlicher Vorteil begrünter Gleise besteht in der deutlichen Verbesserung der ästhetischen Wirkung gegenüber Gleisanlagen mit Schotter beziehungsweise fester Eindeckung. Dies ist gerade für urbane Räume mit wenig Grün sehr bedeutend. Insbesondere in hochversiegelten Stadtinnenräumen können durch Gleisbegrünungen neue Vegetationsflächen entstehen, für die kaum ein alternatives Angebot von solchem Flächenpotenzial in den städtischen Innenräumen besteht.



Abb. 9: Gleise vor und nach einer Begrünung in Berlin (oben; Fotos Dreger, BVG und Schreiter, IASP) und Düsseldorf (unten; Fotos Ahrens, Rheinbahn AG)

Die Qualität der städtischen Freiräume ist ein wichtiger Standortfaktor vor allem im Hinblick auf die Gewinnung von sich ansiedelnden Unternehmen. So lassen Studien erkennen, dass 12 % der Kunden bereit sind, in begrünten Geschäftsbereichen höhere Preise für Güter zu bezahlen [15], [16]. Es kann daher vermutet werden, dass die Begrünung von Gleisanlagen in solchen Einkaufsstraßen indirekt zu einer Erhöhung des Konsums führt. Die optische Aufwertung städtischer Freiräume hat auch Einfluss auf das soziale und psychische Wohlbefinden der Menschen.

Aus der Sicht der Stadtgestaltung eignen sich für die Gleisbegrünung breite Straßen mit offener Bebauung und durchfließenden Grünstrukturen. Durch das „grüne Band“ ist eine optische und ökologische Kompensation der Verkehrsbelastung möglich. Die begrünten Gleise bieten eine neue Gelegenheit zur städtischen Individualität. So erhalten Grüne Gleise z. B. in Verbindung mit Alleen einen eigenen Charakter, der dem Image der Stadt und des Verkehrsbetriebs dient [17]. Zunehmend werden Grüne Gleise auch zum Marketingfaktor für stadtverträglichen und modernen Nahverkehr.

Von städtischen Grünflächen geht eine positive Wirkung auf die Gesundheit der Bevölkerung aus. So lässt sich eine enge Beziehung zwischen dem Grünflächenanteil einer Wohnanlage und verschiedenen Erkrankungen der Atemwege und Herzbeschwerden erkennen [18].

Eine beruhigende Wirkung der Gleisbegrünung wurde z. B. von Straßenbahnfahrern aus Kassel festgestellt. Ihrer Erfahrung nach ist ein Fahren auf begrünten Gleisen weniger ermüdend und für die Augen anstrengend als auf unbegrünten Abschnitten.

3 Ökonomischer Nutzen

Direkte Effekte für die Verkehrsunternehmen [19]

In Städten mit gespaltener Abwassersatzung kann die Verringerung der Regenwassereinleitung in die Kanalisation finanziell honoriert werden. Die Regelung erfolgt jeweils auf Länderebene.

- In Berlin ist seit 2009 je m² versiegelter Fläche ein Niederschlagswasserentgelt von 1,897 €/m² zu entrichten. Werden diese Gebühren auch für die Gleise erhoben, könnte die BVG in Berlin jährlich je km begrüntem Doppelgleis (DG) ca. 5.300 € Regenwassereinleitungsgebühr gegenüber einem eingedeckten Gleis sparen.
- Nach dem Bundesnaturschutzgesetz von 2009 sind Eingriffe in Natur und Landschaft funktional auszugleichen. Die Ländergesetze regeln im Einzelnen, welche Vorhaben als Eingriffe gelten oder grundsätzlich nicht als Eingriffe anzusehen sind. Bei Eingriffen setzen die Bundesländer verschiedene Maßnahmen zur Kompensation des Naturraumverlustes durch, der durch Versiegelungsmaßnahmen verursacht wird. So werden z. B. in Berlin und Brandenburg Biotopflächenfaktoren (BFF) als ökologischer Planungswert in den Landschaftsplänen festgelegt. In Sachsen, Sachsen-Anhalt, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein werden z. B. Ökopunkte vergeben.
- Diese Parameter werden bei der Auflage mit Ersatzmaßnahmen berücksichtigt und können den Umfang der Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen mindern. So legt die Kommune in Berlin [20] z. B. einen zu erreichenden BFF für verschiedene Baumaßnahmen fest. Beispielrechnungen haben gezeigt, dass der geforderte BFF für technische Infrastruktur in Höhe von 0,3 durch die Gleisbegrünung gewährleistet wird.
- Durch die Einhausung der Schienen im Grünen Gleis wird ihre Aufheizung reduziert. Unfallrisiken durch Schienenbrüche/Schienenverwerfungen können gemindert werden und damit verbundene Instandhaltungsmaßnahmen ebenfalls.
- Der Einbau eines Begrünungssystems in ein Schotterbett schützt den Schotter vor Eintrag von Feinteilchen, die die Stabilität des Schotterbettes verringern. Das hat Auswirkungen auf die Verringerung der Stopffrequenz des Schotterbettes und der Instandhaltungskosten. Verschiedene Verkehrsunternehmen stellten fest, dass der Schotter bei Rasengleisen auch nach 20 Jahren noch nicht verunreinigt und ein Stopfen des Schotters damit noch nicht erforderlich war.
- Begrünte Gleise – vor allem hochliegende – werden meist weniger mit Müll beschmutzt, wodurch zusätzliche Reinigungsgänge eingespart werden können [2], [19]. Wahrscheinlich erhöht die positive Außenwirkung gepflegter Grüner Gleise psychologisch die Hemmschwelle für Nachlässigkeit bzw. Vandalismus.

Indirekte Effekte für die Verkehrsunternehmen

- Aufwertung des Images der Verkehrsbetriebe hinsichtlich ihres Beitrages zur Verbesserung der Lebensbedingungen sowie zur ökologischen Außendarstellung

Direkte Effekte für die Kommunen bzw. die Bevölkerung

- Die verzögerten bzw. verringerten Abflussmengen des Regenwassers im Vergleich zu eingedeckten Gleisen können in der Summe der Begrünungen für die Dimensionierung bzw. Entlastung der Kanalisation und der Wasseraufbereitungsanlagen der Stadt relevant sein.
- Aufgrund der Verdunstung und der gesteigerten Oberflächenalbedo von Vegetation wird die Umgebungstemperatur verringert. Dies führt in der Summe der urbanen Begrünungen zu einer Minderung der Ausbildung urbaner Wärmeinseln, wodurch lokale Energiekosten für Klimaanlage in Hitzeperioden verringert werden können [21]. Die

Produktivität der arbeitenden Bevölkerung wird weniger gemindert sowie hitzebedingte Gesundheitsschäden werden reduziert [vgl. 22].

- Die Verringerung von Lärmemissionen durch Grüne Gleise kann bereits bei der Planung berücksichtigt werden und zu Kosteneinsparungen bei sonst geforderten zusätzlichen Lärmschutzmaßnahmen führen.
- Wertsteigerung der Umgebung durch repräsentatives Straßenbild
- Durch die Begrünung von einem Kilometer Doppelgleis in einer dicht bebauten Innenstadtstraße können die Wohn- und Lebensbedingungen von 2.000 bis 3.000 Anwohnern verbessert werden [3].

4 Fazit

Die Begrünung von Straßenbahngleisen kann mit einer Vielzahl positiver Effekten verbunden sein, die meist in unmittelbarem Zusammenhang stehen und sich in ihrer Wirkung potenzieren können. Zusammenfassend sind folgende Wirkungen festzustellen:

Ökologische Effekte

Wasserrückhaltung im Gleis

- im Jahresdurchschnitt: 50 – 70 % der Niederschlagsmenge
- im Sommer bis zu 90 %
- das entspricht je m² Vegetationsfläche im Gleis pro Jahr: 400 -550 l
- in Abhängigkeit vom Vegetationssystem halten 2 km Doppelgleis jährlich 4.000 -5.500 m³ Wasser und im Sommer über 2.200 m³ Wasser zurück

Verdunstung von Regenwasser

- Bei der Verdunstung von 1 l Wasser können 200 m³ Luft um 10 K gekühlt werden
- je m² begrüntem Gleis können damit in den Sommermonaten ca. 44.000 m³ Luft um 10 K gekühlt werden

Verringerung der Aufheizung im Gleis

- Beitrag durch Verdunstungskühlung
- Schutz des Bodens bzw. des Oberbaus vor direkter Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen Wärmeaufnahme
- Vegetationssysteme haben eine geringere Wärmespeicherkapazität als Beton und Asphalt und kühlen nachts zudem stärker aus
- isolierende Wirkung hochliegender Vegetationssysteme auf Schienenaufheizung:
ohne Einbettung in Vegetation: Schientemperatur bis 50 - 60 °C
im hochliegenden Grünen Gleis: Schientemperaturen bis 25 -30 °C
- Beitrag zur Verringerung der lokalen Aufheizung von Innenstadtbereichen (Wärmeinseleffekt)

Schadstoffaufnahme und -rückhaltung

- potenzielle Verringerung der lokalen Feinstaub-/ Schadstoffkonzentration der Luft durch Deposition auf der Vegetationsoberfläche
- teilweise Bindung und Verstoffwechselung von Schadstoffen durch Pflanzen
- Verminderung der Wiederaufwirbelung von Stäuben im Gleis

Lärminderung

- Schallabstrahlung vor allem bei hochliegenden Vegetationssystemen
- Schallminderung kann bis 3 dB (A) gegenüber schalltechnisch optimal wirkendem Schottergleis betragen
- Grüne Gleise werden subjektiv leiser wahrgenommen

Beitrag zur Biodiversität

Auswirkungen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden

- positive Wirkung der o.g. ökologischen Effekte auf die Gesundheit (Lärmreduzierung, Feinstaubbindung, Verminderung der Wärmebelastung)
- enge Beziehung zwischen Grünflächenanteil und Erkrankungen der Atemwege und Herzbeschwerden verweist auf Bedeutung von Grünflächen
- Einfluss von Grün auf das soziale und psychische Wohlbefinden
- durch die Begrünung von 1 km Doppelgleis können die Wohn- und Arbeitsbedingungen von ca. 2.000 – 3.000 Anwohnern verbessert werden

Stadtgestalterische Effekte

- Optische Aufwertung der Gleisanlagen
- Stärkere Akzeptanz der Verkehrsunternehmen bei der Bevölkerung
- Erhöhung des Images der Städte und ihrer Verkehrsunternehmen
- Städtische Freiräume sind wichtiger Standortfaktor (Gewinnung von sich ansiedelnden Unternehmen, Steigerung der Immobilienwerte)

Wirtschaftliche Effekte

- Grüne Gleise können als Ausgleichs- bzw. Ersatzmaßnahme anerkannt werden bzw. bei der Einrichtung Grüner Gleise verzichten viele Kommunen auf Ausgleichsmaßnahmen
 - spürbare Entlastung des Niederschlagswasserabflusses (Kanalisation, Vorfluter) durch Grüne Gleise im Vergleich zu unbegrüntem Gleisen
 - Verringerung des Instandhaltungsaufwandes des Schottergleises bzw. der Schienen möglich
 - Verringerung von Verschmutzungen der Gleise, verringerter Reinigungsaufwand
-

Quellenverzeichnis

- [1] Henze, H. J., Siemsen, M. (2003): Die stadtökologische Bedeutung des Grünen Gleises. Green Track and the Ecology of Cities.- Hrsg. Überwachungsgemeinsch. Gleisbau e. V., Interdisziplin. Forschungsverbund Bahntechnik e. V.: 4-13,
- [2] Umfragen des IASP 2009 und 2011
- [3] Henze; H.J., Kappis, C., Model, N., Siemsen, M., Tapia, O., Treffkorn, A., Tschuikowa, S.: (2003): Grundlagenforschung und Entwicklung von Schienenfahrwegen für den regionalen Personenverkehr - Prognosemodelle ANIRAIL zur Emissionsminderung von schienengebundenen Fahrwegen unter Nutzung von Gleisbett-Naturierungen (LERM).- Abschlussbericht Forschungsvorhaben
- [4] Siegl, A., Kirchner, L., Böhme, D. (2010): Wasserverfügbarkeit, Wasserbedarf und klimatische Auswirkungen von Rasengleisen. Berliner . Geographische Arbeiten 116, Das Grüne Gleis - Vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung. Berlin 2010, S. 123-132
- [5] www.hydrologie.uni-oldenburg.de/ein-bit/11990.html
- [6] Miller, T. (1999): Urban Climatology and Air Quality. Heat Island
URL: http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html
- [7] Gemeinsame Forschungsergebnisse des Sächsischen Textilforschungsinstituts e.V. (stfi) an der TU Chemnitz und des IASP mit Rahmen eines Kooperationsprojektes
- [8] persönliche Auskunft der BVG
- [9] WHO (2003): Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report of a WHO Working Group. WHO (2004): Health Aspects of Air Pollution – Results from the WHO Project “Systematic Review of health aspects of air Pollution in Europe”.
- [10] Ibald-Mulli, A., Wichmann, H.-E., Kreyling, W. und Peters, A. (2002) Epidemiological evidence on health effects of ultrafine particles. J Aerosol Med 15:189 – 201
- [11] Fismes, J. et al. (2002): Soil-to-Root Transfer and Translocation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Vegetables Grown on Industrial Contaminated Soils. Journal of Environmental Quality 31,1649–1656
- [12] Schreiter, H. (2010): Naturation of Building Surfaces in Metropolitan Areas – Ecological Potential of Tram Track Greening. World Green Roof Congress, Mexico City, 7-9 Oktober 2012
- [13] Krüger, F., Martini, K. (2010): Schallminderungspotential Grüner Gleise. Berliner Geographische Arbeiten 116, Das Grüne Gleis - Vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung. Berlin 2010, S. 133-142
- [14] Feldmann, J., Maschke, C. Köhler, A., Koch, I., Reichart, U., Seibt, R., Herzog, S. (1999): Untersuchung des Einflusses der Gleisbettnaturierung auf die Schallemissionen von Schienenfahrzeugen sowie auf die Lebensqualität der Anwohner. Studentische Projektarbeit am Institut für Technische Akustik der TU Berlin
- [15] Wolf, K. L. (2003): Public response to the urban forest in inner-city business districts. Journal of Agriculture 29 (3),
- [16] Laverne, R.J., Winson-Geideman, K. (2003): The influence of trees and landscaping on rental rates at office buildings. Journal of Agriculture 29(5), 2003
- [17] Schreiter, H., Richter, M. (2009): Neue Ansätze der Begrünung innerstädtischen Gleissysteme. Der Nahverkehr 7-8., S. 58-60.
- [18] Körner, S. u.a.: Qualität und Vielfalt. Folgerungen und Ergebnisse aus einer Literaturstudie zum Zusammenhang von Grün und Gesundheit. Stadt + Grün 7/2009, S.32 ff.
- [19] Kappis, C. (2010): Wirtschaftliche Aspekte Grüner Gleise. Berliner Geographische Arbeiten 116, Das Grüne Gleis - Vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung. Berlin 2010, S. 91 - 108
- [20] www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/de/bff_berechnung.shtml
- [21] Hall, D. C. (1998): Albedo and vegetation demand-side management options for warm climates. Ecological Economics 24, 31–45
- [22] Kemfert, C. (2007): Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden. DIW Berlin Wochenbericht