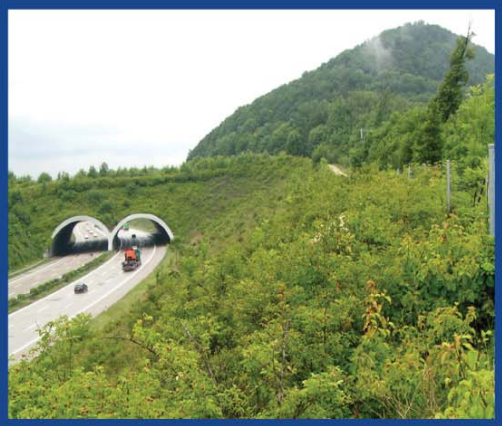
Umwelt und Raum Band 6



Anne Werpup

Biotoptypenbasierte Gehölzansaaten – Eine Begrünungsmethode zur ingenieurbiologischen Sicherung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen

Schriftenreihe Institut für Umweltplanung
Leibniz Universität Hannover

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Umwelt und Raum Band 6

Biotoptypenbasierte Gehölzansaaten – Eine Begrünungsmethode zur ingenieurbiologischen Sicherung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen

Anne Werpup

Schriftenreihe Institut für Umweltplanung
Leibniz Universität Hannover

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.
1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2013

Herausgeber
Institut für Umweltplanung
Leibniz Universität Hannover
Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover
www.umwelt.uni-hannover.de

Schriftleitung: Dr. Stefan Rüter

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei der Autorin.

Titelfotos: Anne Werpup

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2013
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2013
Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 978-3-95404-409-2
ISSN 2190-7161

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Biotoptypenbasierte Gehölz-ansaaten – Eine Begrünungs-methode zur ingenieurbiologischen Sicherung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen

Von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades einer

DOKTORIN DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation
von

Dipl.-Ing. Landschafts- und Freiraumplanung

Anne Werpup

geboren am 25.04.1980 in Bremen

2013

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Erste Gutachterin:	Prof. Dr. Eva Hacker, Leibniz Universität Hannover
Zweite Gutachterin:	Prof. Dr. Ellen Kausch, Hochschule Anhalt
Tag der Promotion:	31.01.2013

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Umwelt und Raum	Band 6	1-234	Institut für Umweltplanung, Hannover 2013

Biotoptypenbasierte Gehölzansaaten – Eine Begrünungsmethode zur ingenieurbiologischen Sicherung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen

A. Werpup

Inhalt

Kurzfassung **17**

Summary **19**

1 Hintergrund **21**

2 Zielsetzung **26**

3 Methodische Vorgehensweise **27**

3.1 Untersuchungsgrundlagen 27

3.2 Untersuchungsrahmen der Böschungsevaluationen 28

3.3 Untersuchungsrahmen der Gesamtauswertung 31

4 Stand der Forschung und Untersuchungsgrundlagen **32**

4.1 Standortbezogene Grenzen von Gehölzentwicklung 32

4.1.1 Klima 32

4.1.2 Boden 32

4.2 Verkehrswegeböschungen als Gehölzstandort 35

4.2.1 Mikroklima 35

4.2.2 Bodenentwicklung 37

4.2.3 Böschungsstabilität 39

4.2.4 Bodeneigenschaften 41

4.2.5 Nutzungsbedingte Einflüsse und Stoffeinträge 43

4.3 Gehölzbestandsentwicklungen an Böschungen 44

4.3.1 Sukzessionsfaktoren 44

4.3.2 Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation 47

4.4 Saatgutbeschaffenheit 53

4.4.1 Gehölzherkünfte 53

4.4.2 Keimungseigenschaften 60

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.5 Auswahl der am besten geeigneten Ansaattechnik ... 64
4.5.1 Trockensaat ... 64
4.5.2 Saat mit Lehmbrei ... 65
4.5.3 Nassansaat ... 65
4.6 Ermittlung der die Böschungsstabilität fördernden Faktoren ... 70
4.6.1 Wurzelentwicklung von Gehölzen auf unterschiedlichen Standorten ... 70
4.6.2 Erhöhung der Böschungsstabilität ... 87
4.7 Ökonomische Aspekte zur Unterhaltung von biotoptypenbasierten Gehölzansaaten ... 92

5 Synergieeffekte biotoptypenbasierter Zielvegetation ... 96

6 Böschungsevaluationen ... 100
6.1 Aichelbergaufstieg BAB 8 ... 100
6.2 AS Pforzheim Süd / Wurmberg BAB 8 ... 115
6.3 Bernser Landwehr BAB 2 ... 129
6.4 Heidkopftunnel Westportal BAB 38 ... 142
6.5 Langelsheim / Astfeld B 82 ... 154
6.6 Autobahnkreuz Leipzig Süd BAB 38 / B 2 ... 163

7 Gesamtauswertung ... 177
7.1 Erhalt der Böschungssicherheit ... 178
7.2 Erreichbarkeit der biotoptypengerechten Zielvegetation ... 181
7.2.1 Süden ... 181
7.2.2 Mitte ... 188
7.2.3 Osten ... 192
7.3 Standortbezogenes Verwendungsspektrum für biotoptypenbasierte Gehölzsansaaten ... 196

8 Diskussion und Handlungsempfehlungen ... 200
8.1 Anforderungen an die Begrünungspraxis mit Gehölzansaaten ... 200
8.1.1 Böschungssicherheit und Erosionsschutz ... 200
8.1.2 Naturschutz ... 201
8.1.3 Ökonomie ... 202
8.1.4 Begrünungserfolg ... 203
8.1.5 Biotoptypenbasiertes Standortspektrum ... 207
8.2 Methodenkritik ... 210
8.3 Biotoptypenbasierte Gehölzansaatmischungen ... 211

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.3.1 Laubgebüsch trockenwarmer Standorte (BT) 215
8.3.2 Mesophiles Gebüsch (BM) 216
8.3.3 Bodensaures Laubgebüsch (BS) 217

9 Fazit und Ausblick 218

10 Literaturverzeichnis 221

Anhang

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abbildungen

Abb. 1: Methodische Vorgehensweise (eigene Darstellung). 27

Abb. 2: Höchster Sonneneinstrahlwinkelbereich auf südexponierten Böschungen in Abhängigkeit von Jahreszeit und Böschungsneigung (eigene Darstellung; vgl. HÄCKEL 1985; WALTER 1986). 36

Abb. 3: Ökogramm der Gebüschgesellschaften des mitteleuropäischen Tief- und Berglandes (eigene Darstellung; verändert nach ELLENBERG 1996; WEBER 2003). 48

Abb. 4: Verteilung der etwa 550 Gehölzarten, die an der Vegetation der mitteleuropäischen Gebüsche beteiligt sind, auf taxonomische Gruppen (WEBER 2003). 56

Abb. 5: Saat mit Lehmbrei (ZEH 2007). 65

Abb. 6: Gehölz-Hydrosaat (ZEH 2007). 66

Abb. 7: Standortbezogene Rezepturen bei Nassansaaten von Landschaftsrasen (BLOEMER 2003). 68

Abb. 8: Aufwandmengenzuschlag bei Landschaftsrasen- und Gehölzansaaten für besondere Standortverhältnisse (eigene Darstellung; verändert nach BLOEMER 2003). 69

Abb. 9: Wurzeltracht der Eiche im mineralreichen Lehm mit Bodenskelett im Untergrund (oben) und auf schwerem, lehmigem Boden mit größerem Skelettanteil (unten) (KÖSTLER et al. 1968) 73

Abb. 10: *Acer* pseudoplatanus, Mullrendzina über Kalksteinschutt (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). 76

Abb. 12: *Cornus sanguinea* mit intensivem Feinwurzelgeflecht an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012) 79

Abb. 13: *Amelanchier ovalis,* Braunlehm-Rendzina (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). 80

Abb. 14: *Lonicera xylosteum,* Ranker und Rendzina (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). 81

Abb. 15: *Sorbus aucuparia* auf Moder-Rendzina über Kalkschutt (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). 83

Abb. 16: *Sorbus torminalis* auf Mull-Pararendzina (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). 84

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 17: Einfache Formel zur Berechnung der Böschungsstabilität und Tragfähigkeit der Wurzeln (verändert nach SCHUPPENER 1994, 2001; FLORINETH 2004). .. 89

Abb. 18: Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Böschungsstabilität einer mit Gehölzen bewachsenen Böschung (Zeichnung verändert nach SUÁREZ 2011).89

Abb. 19: Das gemeinsame Vegetationsziel und die Zusammenhänge der verschiedenen Ansprüche an Funktion und Wirkung von Gehölzansaaten (eigene Darstellung). 96

Abb. 20: Lage der Ansaatflächen Aichelberg, veränderter Maßstab (Karte verändert nach GLAßER k. A.). 100

Abb. 21: Blick aus nord-nordwestlicher Richtung auf die Ansaatflächen (Bild GLAßER k. A.)..... 101

Abb. 23: Blick vom Schattenhang auf die Tunneleinfahrt und den Sonnenhang. Im Vordergrund befinden sich *Cornus sanguinea, Cotoneaster integerrimus*, *Betula pendula, Sorbus aucuparia*, sowie *Larix decidua* (eigenes Bild 2008). 107

Abb. 24: Lage der Ansaatflächen, ohne Maßstab (Karte LUBW 2011)..... 115

Abb. 25: Blick von der südwestexponierten Böschungsseite in nordwestliche Richtung (eigenes Bild 2009). 116

Abb. 26: Geologie der Ansaatflächen, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LUBW 2011). 117

Abb. 27: Mulchschichtreste und Sämlinge von *Rosa* sp. und *Sorbus torminalis* an der südwestexponierten Seite (eigenes Bild 2009)..... 121

Abb. 28: Sämlinge von *Cornus sanguinea* und *Tilia platyphyllos* an der nordostexponierten Seite (eigenes Bild 2009)..... 124

Abb. 29: Lage der Ansaatflächen mit Bodenlandschaften, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LBEG 2011). 129

Abb. 30: *Acer campestre* in der Fläche I a (links, eigenes Bild 2011)..... 132

Abb. 31: *Cytisus nigricans* in der Fläche I b (rechts, eigenes Bild 2011). 132

Abb. 32: *Acer pseudoplatanus*-Sämlinge in der Fläche II (eigenes Bild 2011). 133

Abb. 33: Blick aus westlicher Richtung auf die Ansaatflächen III. Im Vordergrund in der Mitte befindet sich die karge Fläche III b (eigenes Bild 2011). 135

Abb. 34: Blick aus östlicher Richtung auf die Ansaatfläche III a (eigenes Bild 2011). 136

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 35: Blick aus östlicher Richtung auf die Ansaatfläche IV b (eigenes Bild 2011). 138

Abb. 36: Massenwuchs (links) neben für den Standort u. a. geeigneten Vegetationsentwicklungen (verändert nach MARZINI 2011)..... 141

Abb. 37: Lage der Ansaatflächen mit Bodenlandschaften, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LBEG 2011)..... 142

Abb. 38: Lage der kartierten Flächen, ohne Maßstab (Luftbild verändert nach GOOGLE MAPS 2012a). 144

Abb. 39: Blick in westliche Richtung auf den Übergangsbereich zwischen Kalksteinrenzina und Buntsandsteinbankett der Fläche I (eigenes Bild 2011). . 146

Abb. 40: Blick in Fläche II. Vorne befinden sich Rosen und *Pyrus communis* (eigenes Bild 2011). 148

Abb. 41: Rosendominanz an den Bermen in Fläche II (eigenes Bild 2011)..... 148

Abb. 42: Blick auf die obere Berme in Fläche II. Im Vordergrund befinden sich *Clematis vitalba, Pyrus communis* und Rosen (eigenes Bild 2011)..... 149

Abb. 43: Blick über das naturnahe Sukzessionsgebüsch der Fläche III auf die Tunneleinfahrt. Im Vordergrund befindet sich Junggehölzaufwuchs der die Verkehrssicherheit gefährdende *Populus tremula* (eigenes Bild 2011). 152

Abb. 44: Lage der Ansaatfläche mit Bodenlandschaften, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LBEG 2011). 154

Abb. 45: Lage der kartierten Fläche, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach GOOGLE MAPS 2012b). 155

Abb. 46: Blick auf die evaluierte Böschung in südöstliche Richtung (eigenes Bild 2011). 158

Abb. 47: Durch Diasporeneintrag eingetragene aufgekommene Pionierarten: *Salix caprea, Populus tremula, Picea abies* und *Betula pendula* (eigenes Bild 2011). 158

Abb. 48: A 38 Leipzig Süd – Lageplan des Autobahnkreuzes mit den Versuchsfeldern des Autobahnamtes Sachsen (verändert nach JOHANNSEN 2010)..... 163

Abb. 49: Blick auf die Versuchsfläche g 1.1 in südlicher Richtung. Vorne (links) auf der Berme befindet sich ein flächendeckender Bestand von *Ononis spinosa* (eigenes Bild 2011). 166

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 50: Wurzelverzahnung von *Cornus sanguinea* und *Rosa canina* an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung verändert nach SEILER 2012)..... 167

Abb. 51: Netzdiagramm der Wurzelverzahnung von *Cornus sanguinea* und *Rosa canina* in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht in Südostexposition (Zeichnung verändert nach SEILER 2012)..... 168

Abb. 52: Oberirdische Ansichten von zwei ähnlichen *Cornus sanguinea-Rosa canina*-Verzahnungen an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (eigene Bilder 2011)..... 168

Abb. 53: Ein ausgegrabener *Viburnum opulus* mit seitwärts umgebogener Polwurzel an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (eigenes Bild 2011)..... 169

Abb. 54: Wurzelnetzdiagramm des in Abb. 53 dargestellten *Viburnum opulus* in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht in Südostexposition (Zeichnung SEILER 2012)..... 170

Abb. 55: *Lonicera xylosteum* an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012)..... 170

Abb. 56: Wurzelnetzdiagramm der in Abb. 55 dargestellten *Lonicera xylosteum* in einer 30cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht in Südostexposition (Zeichnung SEILER 2012)..... 171

Abb. 57: Blick in südöstlicher Richtung auf die Versuchsfläche b 1.1, welche von einem flächendeckenden Bestand von *Ononis spinosa* dominiert wird (eigenes Bild 2011)..... 172

Abb. 58: Blick in nordwestlicher Richtung auf Studierende in der Versuchsfläche b 1.1. Vorne links befindet sich die untersuchte *Rosa canina* (eigenes Bild 2011)..... 173

Abb. 59: *Rosa canina* an einer nordostexponierten Böschung in einer 30 cm mächtigen Kalkmergel-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012)..... 174

Abb. 60: Wurzelnetzdiagramm der in Abb. 59 dargestellten *Rosa canina* in einer 30 cm mächtigen Kalkmergel-Deckschicht in Nordostexposition (Zeichnung verändert nach SEILER 2012)..... 174

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 61: *Lonicera xylosteum*-Jungpflanze mit Polwurzelbildung an einer nordost-exponierten Dammböschung in einer 30cm mächtigen Kalkmergel-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012). . 175

Abb. 62: Lage der deutschlandweit untersuchten Ansaatflächen (weiß - selbst-evaluiert; schwarz - Fremdaufnahmen) in den sechs Gehölzherkunfts-regionen (verändert nach BFN 2012 - Arbeitsgruppe „Gebietseigene Ge-hölze“ - in BMU 2012)..... 177

Abb. 63: Relative Stetigkeit der Gehölzarten im Steinbruch Vohenbronnen im Ver-gleich von 1992 und 2004 (RADEMACHER & TRÄNKLE 2007)..... 186

Abb. 64: Standortspektrum zur Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation von Gehölzansaaten in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Exposition (eigene Darstellung in Anlehnung an ELLENBERG 1996; WEBER 2003)..... 199

Abb. 65: Komplexität des ingenieurbiologischen Wirkungsgefüges Begrünungserfolg - Vegetationsziel unter Berücksichtigung der vielfachen Anforderungen an Funktion und Wirkung von Gehölzansaaten (eigene Darstellung)..... 204

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tabellen

Tab. 1: Untersuchungsrahmen der Böschungsevaluationen. 30

Tab. 2: Maximale Neigung einer stabilen Böschung aus nichtbindigem Material in Abhängigkeit von Bodengruppe (DIN 18196:2006-06) und Einschnittstiefe bzw. Höhe (verändert nach DACHROTH 2002; SCHMIDT & RUMPELT 2009). ... 40

Tab. 3: Maximale Neigung einer stabilen Böschung aus bindigem Material in Abhängigkeit von Bodengruppe (DIN 18196:2006-06) und Einschnittstiefe bzw. Höhe (verändert nach DACHROTH 2002; SCHMIDT & RUMPELT 2009). ... 40

Tab. 4: Bodenentwicklungen an Böschungen und ihre Eignung als Gehölzstandort (vgl. Kap. 4.1.2, 4.2.2; DUTHWEILER 1967; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; ELLENBERG 1996). 42

Tab. 5: An Verkehrswegeböschungen vorkommende Biotoptypen mit pflanzensoziologischer Zuordnung (vgl. OBERDORFER 1992b; PREISING et al. 2003; WEBER 2003; DRACHENFELS, v. 2011). 51

Tab. 6: Für Verkehrswegeböschungen im gesamten Bundesgebiet geeignete biotoptypenbasierte Zielvegetation (vgl. Tab. 5; DUTHWEILER 1967). 52

Tab. 7: Hauptwurzelstrategien im Gebüsch auf Hangstandorten - eine Auswahl (eigene Darstellung; vgl. SCHLÜTER 1990; SCHIECHTL & STERN 1992; OBERDORFER 1994; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002; STOKES 2002; WEBER 2003) 86

Tab. 8: Standort - Steckbrief (vgl. MEYNEN et al. 1961; OBERDORFER 1992b; DEUTSCHER WETTERDIENST 2009; LUBW 2011). 102

Tab. 9: Gehölzarten und Mengenanteile am Aichelberg „Ansaatmischung Brauner Jura“ (BRÜCKNER 2008). 103

Tab. 10: Gehölzbestand und -ausfall am Aichelbergaufstieg (eigene Darstellung). . 104

Tab. 11: Ansaatmischung und tatsächlicher Gehölzbestand der südwestexponierten Böschung (eigene Darstellung). 108

Tab. 12: Ansaatmischung und tatsächlicher Gehölzbestand der nordostexponierten Böschung (eigene Darstellung). 110

Tab. 13: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. OBERDORFER 1992b; BREUNING et al. 2002; AMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2009; DEUTSCHER WETTERDIENST 2009; LUBW 2011). 118

Tab. 14: Gehölzarten und Mengenanteile an der AS Pforzheim Süd Ansaatmischung (ARGE 2006). 119

Tab. 15: Aufkommende Gehölze an der AS Pforzheim Süd (eigene Darstellung). .. 119

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 16: Gehölzvorkommen an der südwestexponierten Böschung (eigene Darstellung). 125

Tab. 17: Gehölzvorkommen an der nordostexponierten Böschung (eigene Darstellung). 126

Tab. 18: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; LBEG 2011; LÜBKER 2011; NLWKN 2011). 130

Tab. 19: Ansaatmischung (ANONYMUS 2008b). 131

Tab. 20: Kartierte Gehölze auf den Flächen I a (nordexponiert) und I b (südexponiert) mit Oberbodenauftrag (Gräser- und Kräuterdominanz) (eigene Darstellung). 131

Tab. 21: Kartierte Gehölze auf der Fläche II (nordexponiert) ohne Oberbodenauftrag (eigene Darstellung). 132

Tab. 22: Kartierte Gehölze auf den Flächen III a und III b (beide nordexponiert) ohne Oberbodenauftrag (eigene Darstellung). 134

Tab. 23: Kartierte Gehölze auf den Flächen IV a (südexponiert) und IV b (nordexponiert) ohne Oberbodenauftrag (eigene Darstellung). 137

Tab. 24: Vergleich der Zuschlagstoffe der Begrünung Bernser Landwehr mit den Empfehlungen von BLOEMER für Gehölzansaaten (eigene Darstellung; vgl. BALDER 1998; BLOEMER 2003; ANONYMUS 2008a, b; vgl. Kap. 4.5). 139

Tab. 25: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; LBEG 2011; LÜBKER 2011; NLWKN 2011). 143

Tab. 26: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach Südosten exponierten Böschungsfläche I am Heidkopftunnel (eigene Darstellung). 145

Tab. 27: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach Nordwesten exponierten Böschungsfläche II am Heidkopftunnel (eigene Darstellung). 147

Tab. 28: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach südwestexponierten Böschungsfläche III über der Tunneleinfahrt am Heidkopftunnel (eigene Darstellung). 150

Tab. 29: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach nordwestexponierten Böschungsfläche IV im direkten Tunnelvorfeld des Heidkopftunnels (eigene Darstellung). 150

Tab. 30: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; LBEG 2011; LÜBKER 2011; NLWKN 2011). 156

Tab. 31: Vegetationsaufnahme vom 08.06.2011 der angesäten Böschung (eigene Darstellung). 157

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 32: Vergleich der Rezeptur-Komponenten der Begrünung Langelsheim mit den Empfehlungen von BLOEMER für Gehölzansaaten (eigene Darstellung; vgl. Kap. 4.5, BLOEMER 2003; NLStBV-GS 2004) 160

Tab. 33: Standort- Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2006). 164

Tab. 34: Kartierung der Versuchsfläche 1.1 g in (Süd-)Ost Exposition (eigene Darstellung). 165

Tab. 35: Kartierung der Versuchsfläche 1.1 b in Nord-Ost Exposition (eigene Darstellung). 171

Tab. 36: Expositionsbedingte Ausprägung der Vegetation über flachgründigen Kalkstein-Rendzinen auf der schwäbischen Alb an Böschungen mit Neigungswinkel 1 : 2 bis 1 : 1,5 (eigene Darstellung; vgl. Kap. 6.1, 6.2). ... 182

Tab. 37: Die 2001 auf der Böschung bei Geisingen kartierten Arten im Abgleich mit den Arten der Ansaat von 1972 (eigene Darstellung; vgl. NEEF 1970; HACKER & WREDE 2005) 184

Tab. 38: Expositions- und neigungswinkelbedingte Ausprägung der Vegetation über Kalksteinrendzinen und Tonmergel in Baden-Württemberg auf der schwäbischen Alb (eigene Darstellung; vgl. BOLLENHAGEN 2003; HACKER & WREDE 2005). 187

Tab. 39: Die Abhängigkeit der Gebüschausprägung in Sachsen von der Exposition an Böschungen mit nahezu für die Sonneneinstrahlung zur Wärmeentwicklung optimalem Neigungswinkel 1 : 1,5 bis 1: 3 (eigene Darstellung; vgl. NITSCHKE 2008; Kap. 6.6). 194

Tab. 40: Für Gehölzansaaten an Böschungen mit Neigungswinkel 1 : 2 bis 1 : 1,5 geeignete Bodensubstrate (eigene Darstellung; vgl. Kap. 4.1; BLOEMER 2003; DIN 18196:2006-06; DIN 18915:2002-08). 197

Tab. 41: Artenliste zur Zusammenstellung einer BT-Ansaatmischung (vgl. OBERDORFER 1992b; PREISING et al. 2003; WEBER 2003; LUBW 2009; DRACHENFELS, v. 2011). 215

Tab. 42: Artenliste zur Zusammenstellung einer BM-Ansaatmischung (vgl. ebd.). .. 216

Tab. 43: Artenliste zur Zusammenstellung einer BS-Ansaatmischung (vgl. ebd.). ... 217

Tab. 44: Umrechnungstabelle von Böschungsneigungen (eigene Darstellung). 235

Tab. 45: Liste der Ansaatflächen, die in der Gesamtauswertung untersucht worden sind (eigene Darstellung) 236

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 46: Artspezifische Empfehlungen zur Optimierung der Keimfähigkeit von Gehölzsamen an Böschungen (vgl. RAS-LG 3 1983; ROHDE 1985; SCHLÜTER 1996; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000; BMVBS 2005; BÄRTELS 2008). 244

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abkürzungsverzeichnis

agg.	Aggregate, Sammelart - eine Gruppe schwer zu unterscheidender Arten
A-Horizont	mineralischer Oberboden
Ai-Horizont	nur geringmächtige Akkumulation organischer Substanz (Initial)
ARGE	Auftraggeber für das Begrünungsprojekt AS Wurmberg BAB 8
AS	Autobahnausfahrt
B	Zusammenwirken von Kohäsion und Reibung
BAB	Bundesautobahn
BC-Horizont	Übergang zwischen mineralischem Untergrund und Unterboden
BFN	Bundesamt für Naturschutz
BGH	Bundesgerichtshof
BM	mesophiles Gebüsch
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMH	mesophiles Haselgebüsch
BMR	mesophiles Rosengebüsch
BMS	mesophiles Weißdorn-/ Schlehengebüsch
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
Brel-Horizont	relikter B-Horizont
BRS	sonstiges naturnahes Sukzessionsgebüsch
BS	bodensaures Gebüsch
BSF	Faulbaumgebüsch
BSG	Ginstergebüsch
BT	Gebüsch trockenwarmer Standorte
BTK	Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte
BTS	Laubgebüsch trockenwarmer Sand- und Silikatstandorte
BWB	Baden-Württemberg

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

C-Horizont	mineralischer Untergrund
DEGES	Verkehrsprojekte Deutsche Einheit
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
Ed	Bemessungswert
ErMiV	Erhaltungsmischungsverordnung
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftentwicklung Landschaftsbau e.V.
FoVG	Forstvermehrungsgutgesetz
GE	enggestufte Kiese
getrockn.	getrocknet
GI	intermittierend gestufte Kies-Sand-Gemische
GT	Kies-Ton
GU	Kies-Schluff
GW	weitgestufte Kies-Sand-Gemische
h	humoser Oberboden
HG	Herkunftsgebiete
IC-Horizont	C-Horizont aus Lockergestein
Ind.	Individuum, Individuen
K	Kalium
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LFU	Landesamt für Umweltschutz
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Mg	Magnesium
N	Stickstoff
NAGBNatSchG	Niedersächsisches Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutz-gesetz
NatSchG	Naturschutzgesetz

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

NATURA 2000	EU-weites Netz von Schutzgebieten zum Erhalt der in der EU gefährdeten Lebensräume und Arten
nFK	nutzbare Feldkapazität
NLStBV	Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NNatG	Niedersächsisches Naturschutzgesetz
Ɒ	Böschungssicherheit
organ.	organisch
P	Phosphor
RAS-LG	Richtlinien für die Anlage von Straßen - Landschaftsgestaltung
RAS-LP	RAS - Landschaftspflegerische Ausführung
RLBP	Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau
RSM	Regelsaatgutmischung
SE	enggestufte Sande
SI	intermittierend gestufte Sand-Kies-Gemische
sp.	Spezies, Arten
ST	Sand-Ton
strat.	stratifiziert, Stratifikation
SU	Sand-Schluff
subsp.	Subspezies, Unterart
SW	weitgestufte Sand-Kies-Gemische
T	hangabwärts treibende Kraft mit Auflast
TA	ausgeprägt plastische Tone
TL	leicht plastische Tone
TM	mittelplastische Tone
UL	leicht plastische Schluffe
UM	mittelplastische Schluffe
unstrat.	unstratifiziert
Wd	Widerstände

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Wo	Wochen
WV	Vorwald(stadien), Pionierwälder
Z	Wurzeltragfähigkeit
ZTV La-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Landschaftsbauarbeiten im Straßenbau
ZTVE-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Kurzfassung

Bei der Begrünung von Verkehrswegeböschungen finden Gehölzansaaten bislang nur wenig Verwendung. Als Ursache hierfür lassen sich vor allem das durch fachliche Mängel bei der Planung und Umsetzung hervorgerufene Ausbleiben des Begrünungserfolges anführen.

Übergeordnete Zielsetzung dieser Forschungsarbeit ist die Überprüfung des Begrünungserfolges von Gehölzansaaten. Die Evaluation von mit Gehölzansaaten begrünten Straßenböschungen bildet die Datengrundlage, die in Hinblick der Anforderungen an Wirkung und Funktion von Verkehrswegebegrünungen - mit dem Forschungsschwerpunkt auf sicherungstechnischen und ökologischen Aspekten - näher untersucht wird.

Sicherungstechnische Anforderungen erfüllen angesäte Gehölze insofern gut, da sie sich von Entwicklungsbeginn an auf die speziellen Standortbedingungen einer Böschung einstellen und diese durch die Entwicklung verschiedener Wurzelsysteme innerhalb des Bestands tiefgründig verzahnen. Den ersten Schutz der Böschung vor Oberflächenerosion übernehmen nach der Ansaat die Begrünungshilfsstoffe (Mulch, Kleber) und bis zur Gehölzentwicklung eine Zwischenbegrünung. Eine mittels Gehölzansaat begrünte Böschung ist demnach langfristig von Beginn an vor Erosion geschützt.

Als ökologische Wirkungen eines naturnahen Gehölzbestands auf einer Verkehrswegeböschung lassen sich Bodenverbesserung, Klimaverbesserung, Windschutz, Immissionsschutz, Lärmschutz, Lebensraum für Tiere und Biotopverbund nennen. Letztere Aspekte gehören zu den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftsplanung, ebenso wie der Erhalt und Schutz der Biodiversität. Diesem Anliegen kann bei der Gehölzansaat durch die Etablierung eines artenreichen naturnahen Gehölzbestands mittels der Verwendung von gebietsheimischem oder zumindest regionalem Saatgut nachgekommen werden.

Gestalterisch gesehen bieten Gehölzansaaten die Möglichkeit, vielfältige naturnahe Gehölzbestände an Verkehrswegeböschungen zu etablieren, die das Landschaftsbild durch die Schaffung neuer Strukturen und Formen bereichern und dabei den Verkehrsweg in die Landschaft mit eingliedern.

Ausführungs- wie auch langfristige Pflegekosten von angesäten Gehölzbeständen auf Böschungen mit extremen Standortbedingungen sind deutlich geringer als beispielsweise bei einer Pflanzung. Eine Ansaat mit dem Entwicklungsziel eines naturnahen Gebüsches stellt die langfristig kostengünstigste Begrünungsvariante einer Verkehrswegeböschung dar.

Ein naturnaher Gehölzbestand aus standortgerechten gebietsheimischen Arten erfüllt am besten alle diese Ansprüche und ist daher als langfristiges Vegetationsziel anzuse-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

hen. Die Definition der Zielvegetation orientiert sich an Gebüsch-Biotoptypen, um in naturschutzfachliche Biotopwertverfahren mit einbezogen werden zu können.

Bei der Auswertung der Evaluationen zeigt sich, dass bei nicht fachgerechter Planung und Ausführung von Gehölzansaaten viele Faktoren zum Ausfall des Begrünungserfolges führen können. Als Hauptfehlerquellen werden für Gehölzansaaten ungeeignete Standortbedingungen, die Wahl von nicht standortgerechten und gebietsheimischen Arten in der Ansaatmischung sowie die Art und Mengen der verwendeten Hilfsstoffe ermittelt. An Verkehrswegeböschungen ist aufgrund der Zugänglichkeit und der Flächengröße die Nassansaat die am besten geeignete Methode zur Initiierung von Gehölzbeständen. Aus Gründen der Böschungssicherheit und der schwachen Konkurrenzkraft von Gehölzkeimlingen sind Böschungsstandorte mit humosem Oberboden, Tone und spaltenfreier Fels für eine Begrünung mittels Gehölzansaat ungeeignet. Bedingt geeignet sind bindige Böden wie Lehme und Schluffe. Nichtbindige Böden wie Sande, Kiese, Gruse, Schotter und klüftiger Fels eigenen sich gut für eine Gehölz-ansaat. Bei fachlich richtiger standortbezogener Artenmischung und Rezeptur stellt sich auf möglichen Gehölzstandorten nach einigen Jahren eine naturnahe Zielvegetation bzw. der Begrünungserfolg ein.

Insgesamt wurden in ganz Deutschland Evaluationsergebnisse von 38 mittels Gehölzansaaten begrünten Böschungsflächen im Rahmen der Dissertation ausgewertet. Davon sind 15 Böschungsflächen an Bundesautobahnen und Bundesfernstraßen in sechs verschiedenen Gebieten selbst evaluiert worden. Die hierbei durchgeführten Standortanalysen und Gehölzaufnahmen erfolgten flächendeckend nach Biotoptypen; Wurzelausgrabungen wurden z. T. vereinzelt durchgeführt. Die restlichen 23 mit in die Gesamtauswertung einbezogenen Böschungsevaluationen stammen aus zuvor recherchierter Fachliteratur. Die Bewertung der Böschungsevaluationen erfolgte verbal-argumentativ.

Anhand der Evaluationsergebnisse lässt sich ableiten, dass die Bodenchemie (pH-Wert), Exposition und Neigung sowie die Wasserdurchlässigkeit bzw. Speicherkapazität des Bodens (Bindigkeit) die Vegetationsentwicklung an Verkehrswegeböschungen maßgeblich beeinflussende Faktoren sind. Basierend auf diesen Erkenntnissen ist als ein Ergebnis dieser Arbeit ein standortbezogenes Verwendungsspektrum erstellt worden, welches als eine Art fachlicher Hilfestellung zur Verwendung von Gehölzansaaten in der Begrünungspraxis angesehen werden kann. Hiermit ist es möglich, anhand der Standortbedingungen die biotoptypenbasierte Zielvegetation zu ermitteln.

Das im Rahmen der vorliegenden Dissertation entwickelte standortbezogene Verwendungsspektrum zur Definition der Zielvegetation dient, ebenso wie die entwickelten biotoptypenbasierten Gehölzansaatmischungen zur Erreichung der Zielvegetation sowie die in der Tendenz positiven Begrünungsergebnisse der in dieser Dissertation evaluier-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ten Böschungen, als Lösungsansatz zur Förderung der erfolgreichen Verwendung von Gehölzansaaten.

Zum Erhalt des langfristigen Begrünungserfolgs durch Gehölzansaaten sollten in Zukunft Weiterbildungsseminare und Leitfäden zur fachlich richtigen Verwendung von Gehölzansaaten angeboten werden. Zudem sind eine Überarbeitung der Normen und Richtlinien sowie eine Änderung der Ausschreibe- und Vergabebedingungen bei Gehölzansaaten unumgänglich.

Schlagwörter: Ingenieurbiologie, Nassansaat, Gehölzansaat

Summary

Seeding woody plants based on biotope types - a bioengineering re-vegetation measure for highway embankments without humus layer

When highway embankments are re-vegetated, woody plants are rarely seeded. Seeding re-vegetation measures for woody plants have often failed, mainly due to technical deficiencies in the planning and implementation of seeding.

The main objective of this thesis is to investigate the vegetation development on embankments where woody plants were seeded and to create tools that will aide practitioners in choosing the right seed material. The vegetation development was examined in regard to effect and function of embankment vegetation based on slope evaluations. We mainly examined highway embankments, but these findings of this study can also be applied to railway and similar forms of embankments.

Seeding woody plants fulfills stability criteria and technical function well because they adapt from the start to the site specific conditions of an embankment. Additionally, their roots will grow intertwined with the existing deep root systems. An embankment is protected against surface erosion after seeding woody plants using (a.) supplementary materials (mulch, glue) and (b.) a fast-growing ground cover which stabilizes the surface until the woody plants have developed. From the beginning on an embankment seeded with woody plants is protected from erosion.

Ecological advantages of using native woody plants to re-vegetate highway embankments are soil improvement, climate improvement, windbreak establishment, air pollution reduction, and noise prevention. The seeding of shrubs along highways will also create habitats for animals, improve habitat corridors, and preserve and protect biodiversity, all objectives of nature conservation and landscaping. The establishment of a diverse stands of woody plants using local or, at least, regional seeds will likely result in the aforementioned ecological improvements. Additionally, these shrubs enrich the landscape diversity by creating new structures and forms. At the same time shrubs improve the integration of highways in the landscape.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Re-vegetation costs as well as long-term maintains costs of seeded shrubs on embankments with extreme site conditions are clearly lower than planting woody plants. Seeding with semi-natural shrub species is the least expensive long-term re-vegetation measure for embankments. A semi-natural shrub community composed of site-specific and local species fulfills ecological and financial criteria and should be the long-term vegetation target. The target vegetation was selected based on shrub biotope types to ensure a connection to nature conservation-technical aspects. Through evaluation analysis, we found that poor planning and installation practices lead to the failure of re-vegetation measures. The main reason for re-vegetation failure when seeding woody plants was poor choice of unsuited non-adapted to the site and non-native species in the seed mixture, and improper type and quantities of auxiliary materials used. On highway embankments is hydroseeding the most appropriate method for seeding shrubs on account of accessibility and surface size.

For stability and ecological reasons embankment sites with humus, clay and massive rocks are unsuitable for seeding of woody plants. Cohesive soils like silts and loams are marginally suitable. Non-cohesive soils, such as sands, gravels and fissured rock, are suitable for seeding woody plants. Professional installations with suitable species and auxiliary material composition will result in the establishment of target vegetation within a few years.

Altogether 38 embankment-areas were analyzed by a verbal-argumentative approach. From these 38 areas, I surveyed 15 areas in six different locations. The site- and vegetation surveys were carried out on the entire area (biotope type-wide) of the 15 and root-excavations were taken where possible. Information on the vegetation and environmental variables of the other 23 sites were found in literature sources.

This study showed that the soil chemistry (pH), exposition, inclination, water permeability, and water storage capacity of the soil are major factors which influence the vegetation development on highway embankments. Based on this knowledge, a site-specific application spectrum which is a technical assistance for the use of seeding shrubs was created. This spectrum makes it possible to identify on the basis of the site terms which biotope type-based aim vegetation will appear. The site-specific application spectrum which would definite target vegetation would aid the use of seeding woody plants for re-vegetation schemes for embankments. In order to implement aim vegetation seed-mixtures based on biotope types were created in this thesis.

To achieve a long-term good shrub development by seeding, training courses and a manual guide of best practice should be created in the future. In addition, it is necessary to revise the German rules and standards as well as to change the official contracting terms for seeding woody plants.

Keywords: soil-bioengineering, hydroseeding, seeding woody plants

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

1 Hintergrund

Offene oberbodenlose Hangbereiche und Böschungen können durch Naturkatastrophen bedingte Erosion oder auch bei Erdbauarbeiten im Verkehrswegebau entstehen. Um die Standsicherheit fertiggestellter oberbodenloser Verkehrswegeböschungen nachhaltig zu erhalten und einen Materialabtrag durch Erosion zu vermeiden, muss eine schnellstmögliche Begrünung erfolgen. In der Praxis geschieht dies häufig völlig unzureichend, was an vielen frisch angelegten Straßenböschungen zu beobachten ist. Als Hauptursachen lassen sich die Auswahl falscher Begrünungstechniken oder die fehlerhafte Ausführung von Böschungsbegrünungen nennen, die Oberbodenrutschungen oder andere Erosionserscheinungen sowie das Ausbleiben der Vegetation auslösen können. Als ein weiterer Auslöser für Rutschungs- und Erosionserscheinungen kann zudem eine unzureichende Entwässerung benannt werden (vgl. SPUNDFLASCH 2000; STALLJANN 2000).

In den 50er und 60er Jahren wurde das Begrünungsverfahren der Gehölzansaat in der Praxis zur Begrünung von Verkehrswegeböschungen häufiger angewendet als heute. Bei den damals ausgeführten Gehölzansaaten ging es hauptsächlich um den Aspekt der Böschungssicherung. Heutzutage sind die Ansprüche an eine Verkehrswegebegrünung differenzierter und komplexer geworden, so kann beispielsweise mittels Gehölzansaat die Möglichkeit wahrgenommen werden, technische Sicherung, Naturschutz, Landschaftsästhetik und Ökonomie in Einklang zu bringen (vgl. ZEH 2007; HACKER et al. 2010).

Eine naturnahe Vegetation besitzt in der Regel die größte Stabilität und die Fähigkeit, sich weitgehend ohne menschliche Eingriffe durch Selbstregulierung im Verlauf der sukzessiven Entwicklung der Fläche zu halten und sich ggf. weiterzuentwickeln (vgl. SCHLÜTER 1996). An der Verkehrswegeböschung erscheint die gebietstypische Vegetation zugleich auch am besten und nachhaltig dafür geeignet, die ingenieurbiologische Sicherungsfunktion bei einem möglichst geringen Unterhaltungsaufwand zu erfüllen (vgl. SCHIECHTL & STERN 1992; HILLER & HACKER 2001).

Heutzutage kommen in der Begrünungspraxis verschiedene Methoden zur Vegetationsetablierung zum Einsatz, welche bei fachlich richtiger Ausführung die spezifische Beschaffenheit der Böschung berücksichtigen. Zu den hauptsächlich in der Praxis verwendeten Böschungsbegrünungen zählen: Oberbodenandeckung und die Ansaat von Gräsern und Kräutern und/ oder Gehölzpflanzungen. Alternative Begrünungsmethoden wie Heudrusch, Heumulch, Grünschnittandeckung oder die Aufbringung von Grünlandboden und Vegetationsschichten werden bei der Verkehrswegebegrünung eher selten verwendet (vgl. HACKER & JOHANNSEN 2012).

Die Ansaat von Gräsern und Kräutern eignet sich auf humosen Böschungen mit oberflächlicher Erosionsgefährdung, die schnell begrünt werden müssen, um den Oberflä-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

chenabtrag des Bodens durch Wind- und Regenwassererosion zu vermeiden. Bei ausreichendem Erosionsschutz lassen sich auch auf Rohbodenstandorten artenreiche Kräuter- und Gräseransaaten mit geeigneter Ansaattechnik gut etablieren (vgl. STALLJANN 2000).

Böschungen, die als tiefenerosionsgefährdet gelten, werden größtenteils durch Gehölzanpflanzungen, ggf. in Kombination mit weiteren ingenieurbiologischen Maßnahmen, gesichert. Die langfristige Standortsicherheit erfolgt hierbei durch die vegetative Bedeckung der Oberfläche und die Wurzelverzahnung innerhalb der gepflanzten Gehölzbestände (HILLER 1985). Allerdings birgt die Gehölzpflanzung mit Oberbodenandeckung die Gefahr, dass die Gehölze lediglich den gut nährstoffversorgten Oberboden durchwurzeln und nur eine mangelhafte Verzahnung mit dem Untergrund erfolgt, was umgangssprachlich als Blumentopfeffekt bezeichnet wird. Wenn die Mächtigkeit des angedeckten Oberbodens nicht im richtigen Verhältnis zur Böschungsneigung gewählt wird, kann es zu Oberbodenabrutschungen kommen, die durch Kapillarbruch, mangelnde Entwässerung und Hangwasseraustritte sowie die Bildung einer wassergesättigten Gleitschicht zwischen beiden Bodenschichten begünstigt werden. Die Folge wäre ein Abrutschen der Pflanzung samt Oberboden (vgl. STALLJANN 2000; OBERNOLTE 2006).

Auf steinigen grobporigen Standorten sind Pflanzungen ohne Oberbodenandeckung problematisch oder sogar unmöglich, da dort den Baumschulpflanzen die nötigen Nährstoffe und Wasser fehlen und sich Probleme bei der Einbringung der Gehölze in den steinigen Rohboden ergeben können. Darüber hinaus kann es bei Pflanzungen auf solchen Standorten zu Wachstumsverzögerungen kommen, da die Baumschulgehölze bis zum Zeitpunkt der Pflanzung unter optimalen Bedingungen ein dementsprechendes Wurzelsystem ausgeprägt haben, welches sich nicht plötzlich auf extreme Standortbedingungen umstellen kann. Bei einer langfristigen Begrünungsplanung sollte darauf geachtet werden, dass die Baumschulgehölze unter ähnlichen Standortbedingungen (Substrat) wie am Einsatzort herangezogen werden, um einen Verpflanzungsschock zu vermeiden. In der Begrünungspraxis wird darauf in der Regel allerdings keine Rücksicht genommen (KAUSCH 2012).

Ein großer Vorteil von Ansaaten gegenüber Pflanzungen ist die Anpassung der heranwachsenden Gehölze von Beginn ihrer Entwicklung an an die ungünstigen Standortbedingungen. Die fortschreitende sukzessive Entwicklung eines Bestands und die Zersetzung der aufgetragenen Mulchschicht kann als Initialzündung zu Bodenbildungsprozessen angesehen werden (SCHLIERER 1984). Zur Erschließung von Wasser- und Nährstoffen im klüftigen Gestein, Geröll, Blockschutt oder anderem Lockermaterial erfolgt bei angesäten Arten die Bildung eines weitstreichenden und tiefreichenden Wurzelsystems bereits im juvenilen Alter. Die aus einer Gehölzansaat hervorgegangenen Bestände sind deshalb widerstandsfähiger, geringfügig pflegebedürftig und etablieren sich auf dem Standort nachhaltig und dauerhaft (HÄRLE 1984; NEEF 1985). Für oberbodenlose Stand-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

orte auf skelettreichen Böden, steilem felsigen Gelände oder über harten Steinen mit Substraten von geringer Wasserspeicherkapazität ist deshalb ausschließlich die Gehölzansaat eine erfolgversprechende Begrünungsmaßnahme (BRÜCKNER 2000; STOLLE 2006b).

Die Verwendung von Gehölzansaaten als Begrünungsmethode auf Böschungen mit angedeckten Oberboden ist als ungünstig anzusehen, da hier die interspezifische Konkurrenz von Gräsern und Kräutern durch im Oberboden verbliebene sowie eingetragene Diasporen zu stark wäre. Gehölze haben unter optimalen Standortbedingungen aufgrund der längeren Keimungszeiten und langsamen Entwicklung gegenüber der spontan auflaufenden Ruderalvegetation keine Chance (BRÜCKNER 2000; HACKER 2009). Auch auf den meisten bindigen Böden wie z. B. Lößlehm sind Gräser und Kräuter unter für sie optimalen Standortbedingungen konkurrenzstärker (BLOEMER 2003).

Bei einer reinen Begrünung mit Gehölzansaaten ergeben sich aus den relativ langen Keimzeiten, der langsamen Wachstumsentwicklung, der Ansaatstärke und der interspezifischen Konkurrenz von Gehölzen Probleme, eine Böschung zeitnah zu begrünen (vgl. ROHDE 1985; BÄRTELS 2008). Um dennoch eine rasche Begrünung dieser Flächen zu erreichen, wird zusammen mit der Gehölzansaatmischung eine Kombination von Pionier- und Ammenarten zur Verbesserung der Keimungsbedingungen am Standort ausgebracht. Als Beisaat mit geringen Mengen von Wildkräuteranteilen und Leguminosen sind beispielsweise konkurrenzschwache oder auf Rohböden nicht ausdauernde Ackerkräuter und Getreidearten geeignet (vgl. SCHLÜTER 1996; STOLLE 2000; BLOEMER 2003).

Die schnelle Begrünung einer Böschung dient neben dem ersten oberflächlichen Erosionsschutz ästhetischen Zwecken. Aus dem Blickwinkel der Landschaftsästhetik wirken zudem Ansaaten aufgrund der hohen Nischendiversität und Heterogenität des Bestands natürlicher als Pflanzungen (vgl. HACKER 2009).

Im Vergleich erweisen sich Gehölzansaaten wirtschaftlicher als Pflanzungen (BRÜCKNER 1995); so betragen laut SCHLIERER (1984) die Kosten von Bepflanzungsmaßnahmen auf Verkehrswegeböschungen etwa das Doppelte im Vergleich zur Gehölzansaat. Neben der kostengünstigeren Ausführung ist bei Ansaaten - bedingt durch die langsame Gehölzentwicklung auf extremen Standorten - mit geringeren Pflegekosten bei der Fertigstellung, Entwicklung und Unterhaltung zu rechnen (vgl. SCHLIERER 1984; SCHIECHTL & STERN 1992; BRÜCKNER 1995; HILLER & HACKER 2001).

Da es sich bei einer Gehölzansaat zunächst nur um eine oberflächliche Sicherungsmaßnahme, einer sog. „Deckbauweise“ (SCHIECHTL & STERN 1992), handelt, muss in diesem Zusammenhang betont werden, dass Voraussetzung für die Durchführung einer Gehölzansaat eine stabile Böschung ist. Lediglich die durch die wachsende Biomasse der Gehölze bedingte steigende Auflast könnte die Böschungssicherheit negativ beeinflussen. Da aber die Wurzelentwicklung bei einer jungen Pflanze im Allgemeinen der

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

des Sprosses voraus ist und die an Verkehrswegeböschungen herrschenden Bodenbedingungen einer starken Wurzelentwicklung eher förderlich sind (STEUBING & SCHWANTES 1992), kann davon ausgegangen werden, dass die Böschungsstabilität auch langfristig erhalten wird (SCHUPPENER 2001).

Im Straßenbau werden in der Regel Böschungen mit einer Neigung von 1 : 1,5 oder flacher hergestellt. Problematisch dabei ist, dass nicht alle Straßenböschungen mit dem hergestellten Neigungswinkel von 1 : 1,5 stabil sind. Als stabil gilt eine Böschung erst, wenn sich der natürliche Neigungswinkel eingestellt hat. Die Einstellung des natürlichen Neigungswinkels einer Böschung ist hauptsächlich abhängig von der Korngrößenverteilung des Bodens und der Kohäsion (vgl. DACHROTH 2002; KOLYMBAS 2007). Weitere die Böschung stabilisierende und für die Begrünung vorbereitende Maßnahmen sind ggf. die Abböschung, Ausformung, Strukturierung und Entwässerung der Böschung. Aus Gründen der Bewirtschaftung und zur Erhöhung der Böschungssicherheit wird zudem an Verkehrswegeböschungen häufig mit Bermen gearbeitet (vgl. FGSV 1983; STALLJANN 2000; ZEH 2007). Zusätzliche tiefenwirksame ingenieurbiologische Bauweisen können in Kombination mit Gehölzansaaten auch instabile Böschungen mit größeren unnatürlichen Neigungswinkeln stabilisieren und nachhaltig sichern (vgl. BRÜCKNER 1995; FLL 1998).

Die Frage, ob durch eine Gehölzansaat eine möglichst wenig pflegebedürftige, ausreichende und langfristige Sicherung an Verkehrswegeböschungen erreicht wird, ist dennoch bis heute unzureichend geklärt (vgl. NEEF 1976; HACKER 2009). SCHAARSCHMIDT (1974) wie auch HÄHNE (1991) kommen in ihren Dissertationen zur Schlussfolgerung, dass die Standsicherheit einer von Gehölzen durchwurzelten Böschung nicht vollkommen erfassbar ist. Es wird zwar ein einfaches Berechnungsmodell entwickelt, jedoch werden in diesem weder der Faktor Zeit noch die großflächige heterogene Wurzelausprägung von Gehölzbeständen auf verschiedenen Standorten mit einbezogen (vgl. HÄHNE 1991).

Dass sich Gehölzansaaten trotz einiger Vorteile gegenüber Pflanzungen kaum durchgesetzt haben, könnte wie bereits erwähnt an der relativ langsamen Entwicklung angesäter Gehölzarten liegen. Darüber hinaus erweisen sich Fachliteratur und bestehende Regelwerke wie die DIN 18918 (Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen) und RAS-LG 3 (Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil 3: Landschaftsgestaltung) in Bezug auf Gehölzansaaten als nicht standortdifferenziert bzw. werden sie gehölzspezifischen Ansprüchen nicht ausreichend gerecht. Zwar wurden bereits einzelne Beispiele der vielen durch die Methode der Gehölzansaat begrünten Böschungen im Rahmen universitärer Projekt- und Forschungsarbeiten evaluiert und ausgewertet, jedoch wurde bislang weder ein Vergleich noch eine genaue Standortanalyse von mittels Gehölzansaaten begrünten Böschungen durchgeführt (vgl. NEEF 1976; SIEGMÜLLER 1991; HACKER et al. 2001; BOLLENHAGEN 2003; NITSCHKE 2008; KAUSCH 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Aufgrund fehlender fachlicher und z. T. ungenauer Vorgaben zur Zusammensetzung geeigneter Gehölzansaatmischungen bezüglich der Artenwahl, Ansaatstärke und der Bemessung von Hilfsstoffen kommt es heutzutage bei der Planung und Ausführung von Gehölzansaaten zu Fehlern, die schließlich bis zum Ausbleiben des Begrünungserfolges führen können. Genaue Handlungsempfehlungen zur Ausführung von Gehölzansaaten, die als Hilfestellung für die Begrünungspraxis dienen können, gibt es bislang nicht.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur praktischen Ausführung von Gehölzansaaten. Handlungsempfehlungen tragen durch die Vermeidung von Begrünungsfehlern zur nachhaltigen Erhöhung der Akzeptanz von Gehölzansaaten bei. Der Untersuchungsschwerpunkt dieser Arbeit liegt auf sicherungstechnischen, naturschutzfachlichen und ökonomischen Aspekten, da diese anhand der Vegetationsentwicklung auf Böschungen evaluiert werden können.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in drei Teile: Stand der Forschung und Untersuchungsgrundlagen, empirische Untersuchung und Ergebnisinterpretation. Zur Ermittlung des Forschungsstandes und der Herleitung von Untersuchungsgrundlagen ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Wo liegen die standortbezogenen Grenzen der Gehölzentwicklung?
- Was herrschen für Standortbedingungen an Verkehrswegeböschungen?
- Wie entwickeln sich Gehölzbestände an Böschungen?
- Wie muss das Saatgut von Gehölzen zur erfolgreichen Etablierung von Gehölzbeständen an Verkehrswegeböschungen in Bezug auf Zusammensetzung und Artenwahl beschaffen sein?
- Welches ist die geeignete Ansaattechnik, unter Berücksichtigung der Faktoren Ansaatzeitpunkt, Bodenverbesserung, Düngung und Beisaatmischung, zur Etablierung eines Gehölzbestands an Verkehrswegeböschungen?
- Wie entwickeln und verzahnen sich Wurzeln von Gehölzen aus einer Ansaat auf unterschiedlichen Standorten?
- Sind Gehölzansaaten eine ökonomische Begrünungsmethode?
- Können durch Gehölzansaaten sicherungstechnische, ökonomische und naturschutzfachliche Aspekte kombiniert werden?

Fragestellungen zur Durchführung der Böschungsevaluationen:

- Kann die Böschungssicherheit durch eine Gehölzansaat erfüllt werden?
- Wie ist der Zusammenhang zwischen Artenzusammensetzung, Aufwuchs, Altersstruktur und Pflege von Gehölzansaaten?
- Wurde die angestrebte Zielvegetation bezüglich naturschutzfachlicher Anforderungen erreicht?

Fragestellungen zur Ergebnisinterpretation im Rahmen der Gesamtauswertung:

- Ist die Gehölzansaat im Vergleich verschiedener Ansaatbeispiele ein aussichtsreiches Begrünungsverfahren für extreme Böschungsstandorte?

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

3 Methodische Vorgehensweise

3.1 Untersuchungsgrundlagen

Zunächst wird der Stand der Forschung durch eine umfangreiche Literaturauswertung zu Verkehrswegebegrünungen (Standortbedingungen) und Gehölzansaaten auf oberbodenlosen Böschungsstandorten (Verwendungsgrenzen, Keimungseigenschaften von Saatgut und Bestandsentwicklung) erarbeitet. Ergänzend zur Literaturauswertung werden bei Bedarf Expertenmeinungen eingeholt. Bei der Frage der Gehölzherkunft und der Saatgutbeschaffenheit in Kap. 4.4 sind aufgrund unzureichender Fachliteratur Expertisen notwendig. Die verschiedenen Ansaattechniken mit Gehölzen werden in Kap. 4.5 dargestellt. Sicherungstechnische Aspekte im Hinblick auf die Wurzelverzahnung innerhalb eines Bestandes an Böschungsstandorten werden in Kap. 4.6 näher untersucht. Ökonomische Aspekte im Zusammenhang mit der Pflege von angesäten Gehölzbeständen behandelt Kap. 4.7. Sich möglicherweise aus den untersuchten Aspekten ergebenden Synergien wird in Kap. 5 nachgegangen (vgl. Abb. 1).

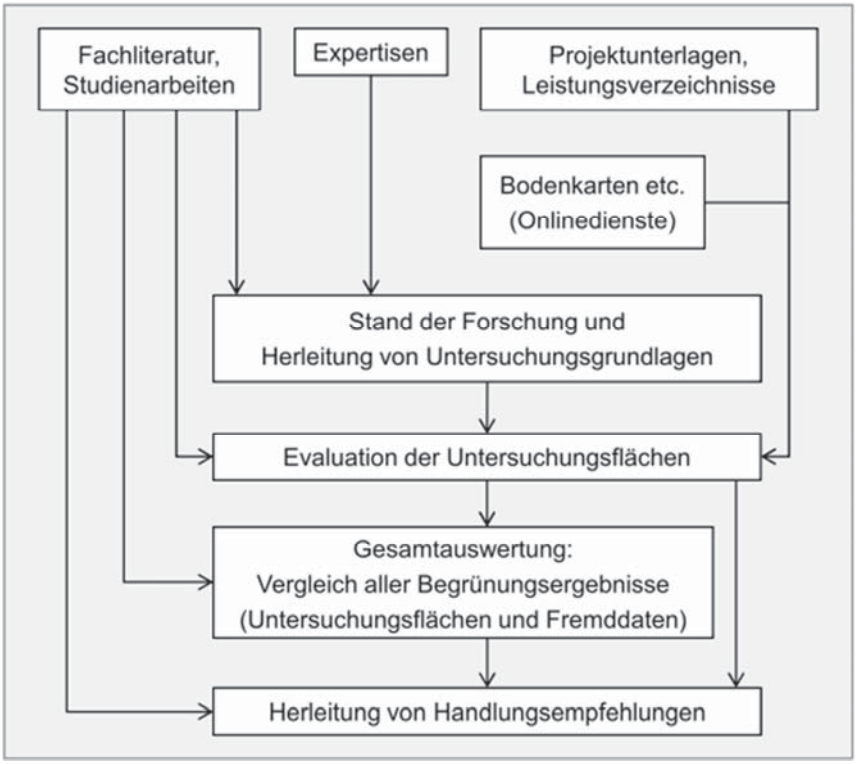


Abb. 1: Methodische Vorgehensweise (eigene Darstellung).

Darüber hinaus werden Untersuchungsgrundlagen zur Überprüfung der Erreichbarkeit der Zielvegetation im Rahmen der Böschungsevaluationen entwickelt. Dazu zählt die Definition eines Vegetationsziels, um eine Basis für eine spätere Vergleichbarkeit der Gehölzaufnahmen zu erhalten. Als Vegetationsziel werden Biotoptypen festgelegt, da bei der Biotoptypenkartierung die Standorteigenschaften ein wesentliches Einordnungs-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

kriterium sind (vgl. DRACHENFELS, v. 2011; DRACHENFELS, v. 2012). Viele in der Fachliteratur ausgewertete Gehölzansaaten sind größtenteils - wenn überhaupt - an pflanzensoziologischen Vegetationszielen ausgerichtet worden. Um eine Vergleichbarkeit der entwickelten Vegetation zu ermöglichen, ist eine Verknüpfung der beiden Klassifikationen unumgänglich. Dies erfolgt über die Zuordnung von Gebüschgesellschaften zu Biotoptypen im Rahmen der Herleitung von Untersuchungsgrundlagen in Kap. 4.3 dieser Arbeit (vgl. DRACHENFELS, v. 2012; Abb. 1).

3.2 Untersuchungsrahmen der Böschungsevaluationen

Bei den untersuchten Flächen handelt es sich um Böschungen mit bereits bestehenden Ansaaten, eine Einflussnahme auf die Planung und Ausführung der Ansaat war daher nicht möglich. Als Untersuchungsgegenstand dienen hauptsächlich Einschnittsböschungen in natürlich gewachsenen Böden im Berg- und Hügelland. Zudem werden unter Vorbehalt auch Untersuchungsergebnisse von aufgeschütteten Dammböschungen in die Bewertung aufgenommen. Bei den untersuchten Böschungsflächen handelt es sich hauptsächlich um Bundesautobahn- und Bundesfernstraßenböschungen. Eine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf Böschungen und Dämmen an Verkehrswegen jeglicher Art wie Bahnschienen, Kanälen und Flüssen - hier mit Ausnahme der Hochwasser beeinflussten Uferbereiche - ist aufgrund der im Wesentlichen gleichen Anforderungen an Funktion und Wirkung gegeben. In dieser Arbeit wird daher im Allgemeinen der Begriff Verkehrswegeböschung verwendet.

Gegenstand der empirischen Untersuchungen sind mehrere bestehende Böschungsflächen verschiedenen Ansaatalters (3 - 20 Jahre), wechselnder Standortbedingungen und unterschiedlicher Ansaatmischungen. Aufgrund der vielen verschiedenen Ausgangsbedingungen wird nach der Analyse der Bestandsaufnahme die anschließende Bewertung verbal-argumentativ durchgeführt. Diese Bewertungsmethode bietet u. a. den Vorteil, dass durch die nachvollziehbare Begründung eine hohe Transparenz und eine allgemeine Verständlichkeit erreicht werden kann. Zudem ermöglicht sie eine einfache Erfassung der spezifischen Untersuchungsbedingungen an den verschiedenen Böschungsstandorten (vgl. HAAREN, v. 2004; FÜRST & SCHOLLES 2008).

Die Vegetationserfassung erfolgt auf der Grundlage der pflanzensoziologischen Kartierungsmethode nach BRAUN-BLANQUET und der Biotoptypenkartierung nach DRACHENFELS, v. Diese klassischen Methoden gewährleisten eine gut nachvollziehbare und in der Literatur vergleichbare Datenerfassung zum Artenvorkommen. Als strukturgebende Parameter wurden Deckungsgrad, Wuchshöhe und Entwicklungsstadien zur Beurteilung herangezogen. Die BRAUN-BLANQUET-Methode bildet dabei die Grundlage für die Bestimmung der Artmächtigkeit und der Höhenschichtung, mittels derer erste Rückschlüsse auf die Entwicklungsstadien gezogen werden können. Zur Konkretisierung der Aussagen über die Entwicklungsstadien wurden für die Gehölzerfassung zusätzlich eigene

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Untersuchungsparameter entwickelt. Dies erscheint unter dem Aspekt sinnvoll, dass vor allem aus dem Deckungsgrad und den Entwicklungsstadien Rückschlüsse zum Naturverjüngungs- und Diasporeneintragspotenzial auf der Untersuchungsfläche gezogen werden können. Darüber hinaus können anhand des Deckungsgrades Auswirkungen auf die Böschungssicherheit durch eine Wurzelverzahnung abgeschätzt werden. Zur genauen Untersuchung der Wurzelverzahnung und Ermittlung der Sicherungsfunktion werden vereinzelte Wurzelausgrabungen, wo gestattet, durchgeführt. Bei der BRAUN-BLANQUET-Methode muss sich die Grenze des Aufnahmebereiches an der aus den Homogenitätsforderungen ableitbaren Flächenform des Bestandes anpassen (DIERSCHKE 1994). An einer Verkehrswegeböschung ist daher die Abgrenzung der Untersuchungsfläche in Biotoptypengröße sinnvoll (vgl. DIERSCHKE 1994; DRACHENFELS, v. 2011; DRACHENFELS, v. 2012; Tab. 1). Zudem ist Aufnahme der gesamten Untersuchungsfläche in Biotoptypengröße im Gegensatz zu mehreren Parzellen-Stichproben genauer und bietet dadurch den Vorteil, dass alle auf der Fläche vorkommenden Gehölze aufgenommen werden und keine möglicherweise vereinzelt vorkommende Art übersehen wird.

Die Erfassung individueller Entwicklungsstadien wird nur bei Gehölzbeständen in der sukzessiven Haupt- bis Endphase durchgeführt. Bei sehr jungen, aus einer Ansaat hervorgegangenen Gehölzbeständen ist die Aufnahme der Artenverteilung und ggf. ihrer Wuchshöhe ausreichend, da adulte Gehölze hier noch nicht zu erwarten sind. Die Wuchshöhenentwicklung kann zur Ermittlung der Pflegebedürftigkeit der Bestände auf bestimmten Standorten herangezogen werden. Abgestorbene junge und kranke Gehölze werden, falls vorhanden, aufgenommen. Die Kartierung der Entwicklungsstadien beinhaltet 3 Klassen: juvenile, adulte und senile bzw. abgestorbene Gehölze. Zwischen juvenilen und adulten Gehölzen wird nach Vermehrungsfähigkeit, nicht nach Wuchshöhe oder Alter unterschieden. Dies erscheint unter dem Aspekt sinnvoll, dass aus einer Ansaat stammende Gehölzarten unter Umständen aufgrund der extremen Standortbedingungen nicht zur Vermehrbarkeit gelangen und dementsprechend die artspezifische Naturverjüngung auf diesem Standort nicht möglich ist. Langfristig werden diese Arten im Laufe der sukzessiven Gebüschentwicklung ausfallen, ohne dass sie das adulte Stadium erreicht haben (vgl. Tab. 1).

Die Ermittlung des Begrünungserfolgs wird im Wesentlichen durch einen Abgleich der in der Ansaatmischung enthaltenen, sich etablierten und ausgefallenen Arten durchgeführt. Zudem wird überprüft, ob sich an den jeweiligen Böschungen die zuvor ermittelte standorttypische Zielvegetation oder zumindest ein Entwicklungspotenzial einstellt. Falls bei einer untersuchten Böschung kein oder nur teilweiser Begrünungserfolg auftritt, wird eine Fehleranalyse der zum Ausbleiben der Begrünungserfolgs führenden Faktoren durchgeführt. Bei einem teilweisen Begrünungserfolg hat die Entwicklung einer Vegetation zwar stattgefunden, jedoch ist das biotoptypengerechte Vegetationsziel nicht erreicht worden bzw. wird ohne zusätzliche Maßnahmen nicht mehr erreicht.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 1: Untersuchungsrahmen der Böschungsevaluationen.

Bearbeitungsstufe	Untersuchungs-bereich	Parameter	Datenerfassung
Standortbeurteilung	Lage	- Straße, Ort, Höhe über NN, Naturraum	- Auswertung von Projektunterlagen, Leistungsverzeichnissen
	Alter	- Ansaat- und Auswertungszeitpunkt	- Auswertung von Projektunterlagen, Leistungsverzeichnissen
	Geologie	- Ausgangsmaterial, Entwicklungsprozesse	- Auswertung von Projektunterlagen und Bodenkarten (LBEG; LUBW)
	Boden	- Bodenarten	- Auswertung von Projektunterlagen und Bodenkarten
	Relief	- Böschungsneigung (stabil), Böschungshöhe und Oberflächenstruktur	- Auswertung von Projektunterlagen, Leistungsverzeichnissen
	Klima (Makro und Mikro)	- Naturraum (Temperatur, Niederschlag) - Höhenlage (Temperatur, Wind, Niederschlag) - Exposition und Böschungsneigung (Licht- und Wärmestrahlung) - Hauptwindrichtung	- Literaturauswertung zur naturräumlichen Gliederung, Aufzeichnungen des DWD - Projektunterlagen
	Zielbestand	- Standortbedingungen (Boden, Naturraum, Höhenlage, Exposition) - benachbarte Gehölzbestände	- Literaturauswertung zu den vorkommenden Pflanzengesellschaften und Biotoptypen nach DRACHENFELS, v. (2011)
Vegetationserfassung	Gehölzarten	- Deckung insgesamt und in verschiedenen Bestandsschichten - Entwicklungsstadien (nur bei adulten Beständen) - Durchwurzelung	- Gehölzkartierung nach BRAUN-BLANQUET-Skala - dreistufige Aufnahme: senil/ abgestorben, juvenil, adult (nach Vermehrungsfähigkeit) - vereinzelte Ausgrabungen
	Gehölzbestand (Assoziation / Biotoptyp)	- Allgemeine Deckung und in Bestandsschichtung - Artenhäufigkeit und -verteilung	- Gehölzkartierung nach BRAUN-BLANQUET-Skala
Ermittlung der Böschungssicherheit (mit Gehölzbestand)	Durchwurzelung / Verzahnung im Bestand	- Durchwurzelung von Gebüschen an Böschungsstandorten	- Auswertung von Fachliteratur - Ausgrabungen
Ermittlung des Begrünungserfolges (durch die Ansaattechnik)	Ansaatmischung	- Artenlisten - Rezepturen, Begrünungshilfsstoffe, Ansaatzeitpunkte, Beisaat	- Gehölzkartierung nach BRAUN-BLANQUET-Skala - Auswertung von Angebotsunterlagen, Leistungsverzeichnissen - Analyse der ausgefallenen Arten - Fehleranalyse
	Zustand der Begrünung	- Deckung, Durchwurzelung - Heterogenität, Vitalität	- Gehölzkartierung nach BRAUN-BLANQUET-Skala - Aufnahme von Wuchshöhen und Entwicklungsstadien
	Zielvegetation	- Artenhäufigkeit und -verteilung	- Literaturauswertung zu den vorkommenden Pflanzengesellschaften und Biotoptypen nach DRACHENFELS, v. (2011)

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

3.3 Untersuchungsrahmen der Gesamtauswertung

Im Rahmen der Gesamtauswertung erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse aller untersuchten Böschungsflächen. Für die Gesamtauswertung werden darüber hinaus weitere Begrünungsergebnisse fremd evaluierter Böschungen aus der Fachliteratur zum Vergleich hinzugezogen, nachdem diese entsprechend aufbereitet worden sind (vgl. Abb. 1).

Auswahlkriterium für die in dieser Dissertation verwendeten fremd evaluierten Gehölzbestände auf Böschungen ist die bestehende Datenlage. Es werden ausschließlich evaluierte Böschungen mit Daten zur ursprünglichen Ansaatmischung, zu Standorteigenschaften, zur Artenzusammensetzung und Deckung und ggf. zur Böschungssicherheit mit in die Gesamtauswertung aufgenommen (vgl. Abb. 1).

Die mit in die Gesamtauswertung aufgenommenen, aus Fachliteratur recherchierten Fremddaten-Böschungen sind häufig ursprünglich unter einem anderen Schwerpunkt und einer anderen Zielsetzung im Untersuchungshintergrund ausgewertet worden. Die im Rahmen dieser Evaluationen durchgeführten Vegetationskartierungen können jedoch hinsichtlich der Fragestellungen dieser Forschungsarbeit erneut interpretiert und in die Gesamtauswertung mit aufgenommen werden (vgl. Abb. 1).

Insgesamt werden Evaluationsergebnisse von 38 Böschungsflächen in ganz Deutschland, die 1 - 35 Jahre alt sind, im Rahmen dieser Arbeit verglichen. Die Ansaatbeispiele liegen in Baden-Württemberg, Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen. Somit werden die meisten (großklimatisch) unterschiedlichen Landesteile Deutschlands als Untersuchungsgebiet erfasst und die Forschungsergebnisse können deutschlandweit berücksichtigt werden.

Aus den Ergebnissen der Gesamtauswertung und der Begrünungsfehleranalyse der eigenen Untersuchungsflächen, ähnlich einer Stärken-Schwächen-Analyse (vgl. FÜRST & SCHOLLES 2008), werden Handlungsempfehlungen zur Ausführung von Gehölzansaaten in der Praxis abgeleitet. Zur Erreichung der Zielvegetation werden Gehölzlisten für standortbezogene biotoptypenbasierte Ansaatmischungen entwickelt (vgl. Abb. 1).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4 Stand der Forschung und Untersuchungsgrundlagen

4.1 Standortbezogene Grenzen von Gehölzentwicklung

Um zu überprüfen, ob Gehölzansaaten auf extremen Standorten wie Verkehrswegeböschungen ein aussichtsreiches Sicherungs- und Begrünungspotenzial darstellen, muss zunächst die standortbezogene Verbreitung von Gehölzen ermittelt werden, um sie anschließend mit dem Standort Verkehrswegeböschung abzugleichen. Da die Entwicklung von Gehölzen stark von den an einem Standort vorherrschenden Bedingungen wie Geländeklima und die Art und Zusammensetzung des Bodens abhängig ist, liegen hier auch ihre Verbreitungsgrenzen.

Als die Gehölzverbreitung begrenzende Faktoren können begrenzter Wurzelraum, extreme Trockenheit oder permanente Nässe, Bodenbewegung und Schadstoffbelastung genannt werden.

4.1.1 Klima

Ein extremes Geländeklima, welches sich aus dem Zusammenspiel von Höhenlage, Art und Häufigkeit der Niederschläge, Hauptwindrichtung, der durch die Exposition und Relief bedingten Einstrahlung und der damit verbundenen Trockenheit ergibt, kann zu einer Überschreitung der ökologischen Grenze der Gehölzverbreitung führen. In Deutschland wird die Gehölzverbreitungsgrenze nur in alpinen Höhenlagen und auf speziellen Standorten wie Mooren und Felsfluren überschritten, da das gesamte Verbreitungsspektrum aller Gehölzarten aufgrund der standörtlichen Spezialisierung und verschiedener Strategien einzelner Arten als sehr breit einzustufen ist (vgl. POTT 1993; ELLENBERG 1996).

4.1.2 Boden

Als Pflanzenstandort geeignete Böden zeichnen sich durch eine gute Wasserverfügbarkeit (nFK) und Nährstoffe sowie pH-Werte im neutralen Bereich aus. Das für Pflanzenwurzeln gut verfügbare Wasser befindet sich in Mittelporen. Böden mit einem hohen Anteil von Grobporen wie Sande sind in der Regel stark wasserdurchlässig und deshalb als Pflanzenstandort für Gehölze, die eine vergleichsweise hohe Saugspannung in den Wurzeln entwickeln und tiefer reichende Wurzeln ausprägen, gut geeignet (vgl. WALTER 1986).

Böden mit einem hohen Kleinporenanteil wie Tone sind starkbindig und schlecht durchwurzelbar. Das Gleiche gilt für massiven Fels ohne Spalten. Dichtgelagerte Ton- und Felsoberflächen und Bodenschichten sind nicht durchwurzelbar und stellen eine deutliche ökologische Barriere für die Entwicklung von Gehölzen dar, wodurch eine Entwicklung von Gräsern und Kräutern begünstigt wird (SCHAARSCHMIDT 1974).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Ein weiteres Problem für die Gehölze stellen Bodenbewegungen dar. Zwar gibt es einige Arten, die aufgrund ihrer biotechnischen Eigenschaften Überschüttungen und Rutschungen bis zu einem gewissen Grad überstehen, jedoch kann sich ein geschlos-sener Gehölzbestand an solchen instabilen Standorten nicht entwickeln (vgl. HACKER & JOHANNSEN 2012). Als Bioindikatoren für einen dynamischen Standort können demnach alle regenerationsfähigen, adventivwurzelbildenden und stockausschlagenden Gehölzarten gelten (vgl. FLORINETH 2004; HACKER & JOHANNSEN 2012). Weisen an einem bestimmten Standort diese Gehölze zudem besondere Wuchsformen wie Säbelwuchs oder aus Verletzungen hervorgegangene Verwachsungen auf und hat sich hier ein eher lockeres bis lückiges Gebüsch angesiedelt, kann der Rückschluss gezogen werden, dass es sich hierbei um einen dynamischen rutschungs- und erosionsgefährdeten Standort handeln muss.

Die wichtigste Nährstoffzufuhr der Pflanzen entstammt den biologischen Zersetzungsprozessen der obersten Bodenschicht, dem Humus. Aufgrund der hohen Nährstoffverfügbarkeit ist eine Humusschicht für die Etablierung von Gehölzen als problematisch einzustufen, da sich aufgrund der langsamen Keimung und Entwicklung viele Gehölzarten gegen Kräuter und Gräser nicht durchsetzen können. Diese Aussage deckt sich mit den Beobachtungen aus dem Versuchsgarten des Instituts für Ökologie in Berlin-Dahlem. Hier wurde die Gehölzentwicklung auf unterschiedlich humus- und nährstoffreichen Böden im Verlauf einer 20-jährigen Sukzession beobachtet. Nach 20 Jahren hatte sich über nährstoffarmem Sand eine Vorwaldentwicklung mit *Betula pendula* und *Populus nigra* als erste Pionierarten bis in die Baumschicht und weiteren Arten wie *Acer campestre* bis in die Strauchschicht eingestellt. Über schwach schluffigem und mäßig nährstoffreichem Sand entwickelte sich ein Vorwald mit *Acer platanoides*, *Pinus sylvestris, Clematis vitalba* in der Baumschicht und weiteren Ahorn-Arten in der Strauchschicht. Über schwach schluffigem Sand mit nährstoffreicher Humusschicht haben es lediglich *Acer campestre* und *A. pseudoplatanus* bis in die Strauchschicht geschafft. Hier herrscht eine Gräser- und Kräuterdominanz (vgl. REBELE 2009).

Abweichend von der bodenkundlichen Terminologie werden mit den Begriffen „oberbodenlos“ und „Rohboden“ in dieser Arbeit angeschnittene natürliche Böden, bei denen der humose A-Horizont fehlt, sowie aufgeschüttete unentwickelte Substrate gleichermaßen bezeichnet. Die wichtigsten Merkmale dieser Böden sind weitestgehende Humusfreiheit und Nährstoffarmut, geringe biologische Aktivität, fehlende Kümmelstruktur und ein zumeist technogen beeinflusstes Bodengefüge (STOLLE 2006a).

Böden mit sehr niedrigen pH-Werten (< 4 - 5) schränken u.a. aufgrund der Aluminiumfreisetzung vitales Pflanzenwachstum stark ein oder können dieses gar unmöglich machen (STOLLE 2006b). Die gleiche Aussage lässt sich auch auf mit Schwermetallen und Giften kontaminierte Böden übertragen (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; ELLENBERG 1996; HACKER & JOHANNSEN 2012). Bei Böden mit pH-Werten über 8 wird die

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Nährstoffaufnahme für Pflanzen erschwert, da insbesondere Phosphor in schwer löslichen Verbindungen festgelegt ist. Darüber hinaus können einige Pflanzen-Symbionten bei solchen hohen pH-Werten nicht mehr existieren (STOLLE 2006b). Jedoch kommen auch einzelne Arten mit einer oder mehreren bestimmten Bodenbelastungen besser aus als andere. So schreibt ELLENBERG (1996) über gelungene Keimungsversuche mit Buchen bei pH-Werten zwischen 2,1 und 6,8. Auf Buchen hat ein sehr niedriger pH-Wert keine Auswirkungen, solange sich die Standortbedingungen nicht ändern. In der Lüneburger Heide und bei Hamburg-Harburg sind Buchenbestände über moderbedeckten Sandböden mit pH-Werten von 2,6 kartiert worden. Neben *Fagus sylvatica* haben *Quercus robur, Q. petrea* und *Pinus sylvestris* keinerlei Probleme mit stark sauren Böden. Lediglich *Fraxinus excelsior, Acer platanoides, A. pseudoplatanus, Ulmus sp.* und *Tilia platyphyllos* bereiten pH-Werte unter 4,5 Probleme (ELLENBERG 1996).

Abschließend zu diesem Kapitel lässt sich die Aussage treffen, dass es unter gemäßigten Klimabedingungen nur wenige Sonderstandorte gibt, die eine Gehölzentwicklung nicht zulassen. Demnach eignen sich nahezu alle - in diesem Klimabereich liegenden - Verkehrswegeböschungen für eine oberbodenlose Begrünung durch Gehölzansaaten.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.2 Verkehrswegeböschungen als Gehölzstandort

Die an den Verkehrswegeböschungen herrschenden Standortbedingungen sind vom Zusammenspiel vieler Parameter wie Klima, Boden, Relief sowie anthropogenen Einflüssen abhängig (WALTER 1986).

Das Klima beeinflusst stark die Standortbedingungen einer Verkehrswegeböschung. Dabei muss zwischen Makro- und Mikroklima unterschieden werden. Das Makroklima ist das in einem Naturraum vorherrschende Großklima, das in 2 m Höhe über dem Boden gemessen wird. Diesem Klima sind unmittelbar nur freistehende Gehölze ausgesetzt. Als Mikroklima wird das Klima bezeichnet, das in bodennahen Schichten innerhalb eines Bestands, aber auch an offenen Flächen an einer Böschung vorherrschend ist (ebd.).

Das Mikroklima ist stark vom Makroklima abhängig. Lufttemperatur, Sonnendauer, Niederschläge und Luftfeuchtigkeit sind allein durch das Makroklima bedingte Faktoren. Böschungsexposition, Bodenart und geologisches Ursprungsgestein sowie anthropogene Einflüsse durch u. a. Straßenverkehr sind Faktoren, die zudem maßgeblich das Mikroklima einer Böschung beeinflussen (vgl. ebd.).

4.2.1 Mikroklima

Die Stärke und Intensität der Sonneneinstrahlung ist neben der Böschungsexposition auch stark von der Neigung der Böschung abhängig. So werden im Dezember auf der Nordhalbkugel die höchsten Strahlungswerte an einem Südhang um die 90° Neigung erreicht. An einem Nordhang verhält es sich ganzjährig aufgrund des Schattenwurfs umgekehrt, hier erhalten die flacher geneigten Böschungen mehr Strahlung als die stärker geneigten. Im März und September werden an einem südexponierten Hang mit um die 30° Neigung die höchsten Strahlungswerte gemessen. Im Juni wird ein um die 20° geneigter Südhang am stärksten bestrahlt (vgl. Abb. 2; Tab. 44 im Anhang). Die größten Bestrahlungsunterschiede zwischen Nord- und Südexposition ergeben sich während der Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst. Die Differenzen zwischen Nord- und Südhang vergrößern sich bei steigender Hangneigung. Bei Hangneigungen zwischen 10° und 20° sind sie mehr als doppelt so groß wie im Juni (HÄCKEL 1985). Das wirkt sich im Frühjahr und Herbst vor allem positiv auf das Pflanzenwachstum und die Keimung aus; so sind Gehölze auf nordexponierten denen auf südexponierten Böschungen gegenüber benachteiligt, da sich dort der Boden deutlich langsamer erwärmt (vgl. ebd.; STALLJANN 2000). Zu anderen Jahreszeiten jedoch ist für die Gehölzentwicklung eher die Nordböschung im Vorteil, da dort ein milderes Mikroklima herrscht, welches die rasche Ausbildung einer Vegetationsdecke fördert (STALLJANN 2000).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

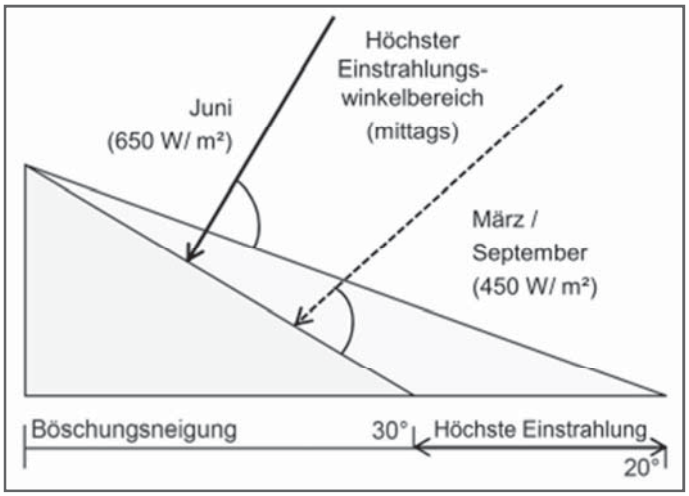


Abb. 2: Höchster Sonneneinstrahlwinkelbereich auf südexponierten Böschungen in Abhängigkeit von Jahreszeit und Böschungsneigung (eigene Darstellung; vgl. HÄCKEL 1985; WALTER 1986).

Die Erwärmung des Bodens durch die Sonneneinstrahlung hängt im Wesentlichen von dessen Farbe und Wärmeleitfähigkeit ab. So absorbieren dunkle Bodenoberflächen und Gesteine Sonnenstrahlung und erwärmen sich stärker als helle (WALTER 1986). Südexponierte Böschungen mit dunkleren Oberflächen können daher Tagesmaximalwerte bis 70° C erreichen. Darüber hinaus kann eine nach Süden geneigte steile dunkelfarbene Böschung im Tag-Nacht-Wechsel Temperaturschwankungen von über 45° aufweisen (vgl. STALLJANN 2000). Die Folgen solch hoher Bodentemperaturen und Temperaturschwankungen sind das Absterben ungeschützter quellender Samen und von Gehölzkeimlingen; auf Jungpflanzen wirkt dies eher entwicklungshemmend (vgl. WALTER 1986; STALLJANN 2000).

Klimabedingt zeigen sich in Deutschland hinsichtlich der Süd- und Nordexposition starke regionale Schwankungen. Einige mesophile Arten wie *Rubus fruticosa* agg., *R. corylifolius* agg., *R. idaeus, Prunus padus, Salix caprea* und *Viburnum opulus* verhalten sich im atlantischen Klima anders als im kontinentalen. Die beiden zuletzt genannten Arten haben beispielsweise ihren Verbreitungsschwerpunkt in Schleswig-Holstein auf den Südseiten der Wallhecken, am Westrand der Schwäbischen Alb können sie sich nur an den Nordseiten halten. Auch lassen sich an Ost- und Westexpositionen in Süddeutschland deutliche Unterschiede bezüglich der Verbreitung einiger Arten feststellen, was allerdings auf das Zusammenspiel vieler lokaler Klimakomponenten zurückzuführen ist. So kommen im Schwarzwald am Kaiserstuhl *Ligustrum vulgare* häufiger an der Westseite und *Rhamnus cathartica* häufiger an der Ostseite vor. Am Westrand der Schwäbischen Alb verhält es sich genau andersherum (WEBER 2003).

In der DIN 18918 Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen erfolgt die Einschätzung und Bewertung der Standortverhältnisse für die Verwendung von Ansaaten auf einer Verkehrswegeböschung noch genauer. Hierzu wird die Standorteignung für Ansaaten

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

anhand folgender makro- und mikroklimatischer Parameter überprüft: Höhenlage, mittlere Niederschlagsmenge und -verteilung, Luftfeuchtigkeit, Nebelhäufigkeit, Häufigkeit und Dauer von Trockenperioden, Temperaturmittel und -schwankungen, Exposition, Belichtungsverhältnisse, Wind, Schneedeckendauer und Kontinentalität. Jedoch fehlt hier bislang ein konkreter Bezug zur standortbezogenen Artenwahl und genauen Bemessung der Hilfsstoffe (vgl. DIN 18918:2002-08).

An einem Verkehrsweg, welcher sich in demselben großklimatischen Raum befindet, können also verschiedene lokale Standortbedingungen herrschen, die nur von bestimmten Gebüschgesellschaften mit expositionsabhängigen Artenkombinationen, also extrazonaler Vegetation, besiedelt werden (ELLENBERG 1996).

4.2.2 Bodenentwicklung

Nicht nur die klimatischen Bedingungen und das Relief, welches sich im Wesentlichen durch Hangneigung, Böschungshöhe und Oberflächenstruktur ausprägt, beeinflussen die Verkehrswegeböschung als Gehölzstandort, sondern auch die Bodeneigenschaften beeinflussen maßgeblich die Standorteigenschaften.

Zur Ermittlung der Bodeneigenschaften eines Böschungsstandortes wird gemäß ZTVE-StB zwischen Einschnittsböschungen und aufgeschütteten Dammböschungen unterschieden. Sind auf beiden Seiten des Verkehrsweges Einschnittsböschungen vorhanden, so kann auch von einer Anschnittsböschung gesprochen werden (SCHMIDT & RUMPELT 2009). Bei Einschnittsböschungen kann geologisches Ursprungsgestein anstehen, welches maßgeblich die Bodeneigenschaften prägt. Bei aufgeschütteten Böschungen kann von gestörter Bodenentwicklung mit zumeist verdichteten Böden ausgegangen werden. Da in dieser Arbeit vor allem Einschnittsböschungen untersucht worden sind, wird im Folgenden die Bodenentwicklung auf diesen Böschungen näher betrachtet.

Die chemischen und biologischen Eigenschaften zur Bodenentwicklung basieren zunächst auf den Verwitterungsprodukten des geologischen Ausgangsmaterials. Die Verwitterungsstabilität der Gesteine ist abhängig von den physikalischen, chemischen und kristallstrukturellen Eigenschaften ihrer Mineralien sowie von ihrer Körnungsgröße und ihrem pH-Wert. Auf grobkörnigen sauren Graniten beispielsweise entstehen in der Regel eher tiefgründige saure und auf schwerer verwitterbaren basischen Basalten flachgründige, aber mineralogisch gegenüber dem Ausgangsgestein stark veränderte Böden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; KOLYMBAS 2007).

ELLENBERG (1996) hat ausgehend von den geologischen Ursprungsmaterialien die Bodenbildung nach drei Hauptsubstraten unterteilt. So entwickeln sich auf den jeweiligen Hauptsubstraten drei verschiedene Pflanzen- bzw. Klimaxgesellschaften: die zonale Sandvegetation (S), die zonale Lehmvegetation (L) und die zonale Karbonatvegetation (K). Auf Verkehrswegeböschungen stellt sich zwar, wie bereits erwähnt, eine extrazona-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

le Vegetation ein, jedoch wird auch sie maßgeblich von den Ausgangsgesteinen beeinflusst.

Auf Sandstein lässt sich eine Entwicklung zu sauren nährstoffarmen sandigen Lehmböden mit einem hohen Feinbodenanteil wie Rankern, Braunerden und Podsolbraunerden verzeichnen. Sandsteinböden werden dem Hauptsubstrat Sand (S) zugeordnet und gehören in der Regel zu den nichtbindigen bis leichtbindigen Böden (ELLENBERG 1996). DUTHWEILER (1967) bezeichnet das Ursprungsmaterial dieser Standorte als überwiegend sandig verwitternde Silikatgesteine, wie Grauwackeschichten, Sandsteine und Granit. An Böschungen und Einschnitten ist mit mäßig trockenen bis (wechsel-) feuchten S-Standorten mit gelegentlich eingelagerten Tonschichten oder -linsen zu rechnen. Zeitweilige Quellaustritte auf Tonschichten, häufiges Abblättern und oberflächliches Fließen nassen Bodens auf gefrorenem Untergrund bei (wechsel-) trockenen bis feuchten Standorten sowie Nischenausbrüche bei Wasserüberschuss auf (wechsel-) nassen Standorten sind die Folge (DUTHWEILER 1967). Geotechnische Maßnahmen zur Regelung des Wasserabflusses, wie in den RAS-LG 3 und den ZTVE-StB dargestellt und kommentiert, sind vor Aufbringung der Böschungsbegrünung zum Erhalt der Böschungsstabilität an solchen S-Standorten unverzichtbar.

Die Kurzbezeichnung für eine Bodenentwicklung auf Kalkstein und Dolomit lautet Kalk (K). Muschel- und Wellenkalk haben zu einer Bildung von flachgründigen steinigen feinerdearmen lehmigen karbonathaltigen Sand- und sandigen Lehmböden des Typs Rendzina und vereinzelt Terra fusca geführt. Diese Böden sind nichtbindig bis bindig (ELLENBERG 1996). Böschungen an trockenen bis wechseltrockenen Kalksteinen sind in der Regel standfest. Je mehr Mergel eingelagert ist, desto wechseltrockener und instabiler werden sie und können übergelagerte stabile Partien zum Abstürzen bringen. Zudem sind schwache Quellaustritte in Mergelzwischenlagen möglich (DUTHWEILER 1967). Auch hier muss mit geotechnischen Maßnahmen eine Entwässerung gewährleistet sein.

Die im Folgenden genannten Bodenentwicklungen sind der Kurzbezeichnung Lehm (L) zugeordnet. Zerfallene, überwiegend tonig verwitternde silikatische Gesteine verhalten sich ähnlich wie Lehm und sind daher der Hauptbodenart Lehm zugeordnet worden (vgl. ebd.; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; ELLENBERG 1996). Auch Mergel- und Basaltverwitterungslehm werden in dieser Gruppe geführt, da dort die ausgewogenen Anteile an Fein- und Skelettboden zu einer Entwicklung von nährstoffreichen Lehmböden geführt haben. Auf den Ausgangsmaterialien Ton, Tonmergelgestein und Gipskeuper haben sich bindige bis stark bindige Böden mit hohem Feinbodenanteil von Schluffen und Tonen gebildet, welche z. T. auch sandigem Lehm (Lößlehm) zugeordnet werden können; hier lässt sich zumeist eine Entwicklung zu Pararendzinen, Rendzinen und Rendzina-Pelosolen beobachten. Über Tonschiefer und Kieselschiefer haben sich Ranker mit einem geringen Anteil von Feinboden und einem relativ großen Anteil von Skelettboden gebildet, bei denen die Verwitterungsprodukte des Kieselschiefers stark sauer sind (vgl.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

MÜLLER 1969; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; ELLENBERG 1996). Der Wasserhaushalt auf lehmigen Standorten ist bei teilweise stark austrocknender Oberfläche mit Quellrissen in der Tiefe zumeist frisch bis feucht, in Mulden oft nass. Bei Durchnässung besteht die Gefahr des Zerfließens und der Hangrutschung (DUTHWEILER 1967). Hier sind geotechnische Entwässerungsmaßnahmen zum langfristigen Erhalt der Böschungssicherheit unverzichtbar (vgl. FGSV 1983; BMVBS 2009).

4.2.3 Böschungsstabilität

Eine Verkehrswegeböschung muss, wie bereits erwähnt, bevor sie begrünt wird, stabil sein. Neben den geo- und biotechnischen Entwässerungsaspekten spielen bei der Böschungsstabilität vor allem bodenmechanische Gesichtspunkte eine große Rolle (vgl. JOHANNSEN & HACKER 2009).

Die Böschungssicherheit wird maßgeblich von der Neigung und den in der Böschung vorkommenden Bodenarten beeinflusst. Um sie vor Beginn der Begrünung zu erreichen, muss zunächst die natürliche Hangneigung, welche dem inneren Reibungswinkel einer Böschung entspricht, eingestellt werden (vgl. DACHROTH 2002; KOLYMBAS 2007).

Bei einer Böschung aus nichtbindigem Material stellt sich eine natürliche Neigung ein, die dem Schüttwinkel eines Bodensubstrats und dem Winkel der inneren Reibung (Reibungswinkel) der zu erwartenden Bodenart nach Verwitterung entspricht. Die Erhöhung des Reibungswinkels bei nichtbindigen Böden kann bei hoher Bodenfeuchte durch Verdichtung erfolgen. Nach Austrocknung ist die Böschung allerdings instabil (ebd.).

Nach der Europäischen Richtlinie für Ingenieurbiologie (Entwurf 06.2010) können übersteile (> 45°) niedrige bis mittelhohe Böschungen aus nicht bindigem Boden mit einer Neigung, die knapp unter dem Winkel der inneren Reibung des Bodens liegt, hergestellt werden, wenn sie mit tiefwurzelnden Pflanzen bewachsen sind. Lediglich in der Anfangsphase der Sukzession muss hier mit zusätzlichen ingenieurbiologischen Bauweisen, wie z. B. Buschlagen, stabilisiert werden (HACKER et al. 2010).

Böschungen aus bindigem Material wie Ton können durch die zusätzliche Wirkung von „Kohäsionskräften“ zeitweilig einen steileren Böschungswinkel erreichen. Die Kohäsion ist zum Teil abhängig vom Wassergehalt und dem osmotischen Druck, der zwischen den Feinporen herrscht (Pression). Kurzfristig kann deshalb die „Kohäsion“ eine Minderung der Erosionsanfälligkeit bewirken, die bei zunehmendem Wassergehalt und steigender Pression jedoch wieder abnimmt. Dadurch ist die natürliche Böschungsneigung eines bindigen Bodens, die sich aus Reibungswinkel und Kohäsion zusammensetzt, schwer einschätzbar und beruht auf Erfahrungswerten, die in Regelwerken (vgl. Tab. 2, 3) festgelegt worden sind. Nicht nur der natürliche Böschungswinkel (Reibungswinkel), die Scherfestigkeit und die Bindigkeit (Kohäsion), auch die Erosionsanfälligkeit, die Wasserspeicherkapazität, die plastischen Eigenschaften, die Lagerungsdichte und Dich-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

te sowie Puffer- und Filtereigenschaften sind stark von der Körnung des Bodens abhängig (vgl. DACHROTH 2002; KOLYMBAS 2007).

In einigen Normen und Richtlinien im Erdbau sind daher zur Ermittlung der mechanischen Bodeneigenschaften die Bodenarten nach Körnungsgruppen unterteilt. Die Unterteilung erfolgt nach der Größe in verschiedene Korngrößenfraktionen, welche je nach Mengenanteil im Boden als dessen Korngrößenverteilung oder Körnung bezeichnet werden.

Um Böden in ihrer geotechnischen Eignung für Bautätigkeiten bewerten zu können, gibt es mit der DIN 18196 eine Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke, die Bodenarten nach verschiedenen Korngrößenbereichen in Körnungsgruppen unterteilt. Beim Straßenbau werden Böschungen in der Regel mit einer Steigung von 1 : 1,5 hergestellt, was beim näheren Betrachten der nachfolgenden Tab. 2 auf einigen Standorten mit hohen Böschungen ohne zusätzliche, die Böschungsstabilität fördernde Maßnahmen als problematisch angesehen werden kann.

Tab. 2: Maximale Neigung einer stabilen Böschung aus nichtbindigem Material in Abhängigkeit von Bodengruppe (DIN 18196:2006-06) und Einschnittstiefe bzw. Höhe (verändert nach DACHROTH 2002; SCHMIDT & RUMPELT 2009).

Böschungsneigung (Höhe : Länge in m)	Böschungstiefe bzw. -höhe in m	Bodengruppen nach DIN 18196 (- eine Auswahl)
1 : 1,5	0 - 10	GW, GI, SW, SI
1 : 1,8	0 - 10	GE, SE
	> 10	GW, GI, SW, SI, (GE)
1 : 2	> 10	SE, (GE)

Tab. 3: Maximale Neigung einer stabilen Böschung aus bindigem Material in Abhängigkeit von Bodengruppe (DIN 18196:2006-06) und Einschnittstiefe bzw. Höhe (verändert nach DACHROTH 2002; SCHMIDT & RUMPELT 2009).

Böschungsneigung (Höhe : Länge in m)	Böschungstiefe bzw. -höhe in m	Bodengruppen nach DIN 18196 (- eine Auswahl)	
		Einschnitt	Damm
1 : 1,25	0 - 3	UM, TM, TA	UM, TM, TA
	3 - 6		
1 : 1,6	0 - 3	GU, GT, SU, ST, UL, TL	SU, ST
	3 - 6		UM, TM, TA, SU, ST
	6 - 9	UM, TM, TA	
1 : 1,8	6 - 9	GU, GT, SU, ST, UL, TL	UM, TM, TA ,SU, ST,
	9 - 12	UM, TM, TA	GU, GT, UL, UT
1 : 2	9 - 12	GU, GT, SU, ST, UL, TL	SU, ST, UM, TM, TA
	> 12	UM, TM, TA	

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Im Bereich Vegetationstechnik im Landschaftsbau gelten ebenfalls Normen für die Begrünung von Standorten, die bei der Begrünung von Verkehrswegeböschungen berücksichtigt werden müssen. Mit Hilfe der DIN 18918 (Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen) und der DIN 18915 erfolgt die Einschätzung der Böschung als Vegetationsstandort. Die DIN 18915 behandelt Bodenarbeiten, mittels derer überprüft werden kann, ob die Bodeneigenschaften der vorgesehenen Vegetation und Nutzung entsprechen. Die Böden werden in dieser Norm in Gruppen nach Bindigkeit unterteilt (DIN 18915:2002-8).

4.2.4 Bodeneigenschaften

Im Verkehrswegebau können stark bindige Böden gemäß ZTVE-StB mit geeigneten Baustoffen (grobkörnige Böden, tonige Schluffe und Schluffe, aber keine plastischen Tone) und mit Bindemitteln (Zement, Baukalk und hydraulische Bindemittel) verfestigt und verbessert werden, welches u. a. die Herstellung einer stabilen Böschung ermöglichen soll. So binden beispielsweise Kalke nicht nur das Wasser, verändern die Plastizitätseigenschaften und erhöhen die Kohäsion und die Reibungsfähigkeit des Bodens (FLOSS 2011); sie ändern zudem auch die ursprünglichen bodenchemikalischen Eigenschaften wie den pH-Wert. Laut STALLJANN (2000) liegen die pH-Werte von Straßenböschungen in der Regel zwischen 4 und 8, es sei denn sie liegen in ehemaligen Industriearealen oder Bergbauflächen oder werden aus diesem Material aufgebaut. Mit Aschen und Schlacken können extrem alkalische pH-Werte von 10 bis 12 und bei Bergabraummaterial stark saure pH-Werte von 2 bis 3 erreicht werden (STALLJANN 2000). Der Boden einer Böschung im Verkehrswegebau wird also durch anthropogene Eingriffe - zu denen auch eine die Verdichtung fördernde Lagerung und Bearbeitung von Böden gehört - immer nachhaltig verändert, was sich auch auf die Standorteigenschaften des Bodens als Gehölzstandort auswirkt.

Je nach Bodenentwicklung können sich an oberbodenlosen Einschnittsböschungen unterschiedliche, zumeist flachgründige, oft auch skelettreiche Böden wie Syroseme aus Sand, Rankern, Rendzinen, Braunerden und Parabraunerden gebildet haben (SCHAARSCHMIDT 1974; vgl. Tab. 4). Böschungen mit großporigen lockeren Böden, wie Kies, Sand, Geröll, Abraum, Mineralgemisch, welche einen nur sehr geringen Anteil von Mittelporen haben, weisen eine geringe Wasserspeicherkapazität auf und sind vor allem in Sonnenexposition ungünstig für eine Besiedlung mittels Gräser und Kräuter (vgl. STALLJANN 2000; STOLLE 2006b). Solche Böschungen eigenen sich als Gehölzstandorte, da Gehölze grundsätzlich eine größere Saugspannung als krautige Arten entwickeln, so dass sie diesen auf grobporigen Böden mit geringem Humusgehalt in der Konkurrenzkraft wie auch im standörtlichen Verbreitungsspektrum überlegen sind (WALTER 1986). Für die Etablierung einer Gräser- und Kräuter-dominierten Vegetation sind Böden mit einem größeren Anteil von Mittelporen und einer höheren Lagerungsdichte von Vorteil

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

(vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; DACHROTH 2002; STOLLE 2006b). Um eine genauere Aussage über die für Pflanzen verfügbare Wasserkapazität (nFK) eines Böschungsstandortes geben zu können, müssen neben der Bodenzusammensetzung die Lagerungsdichte, die durchwurzelbare Bodenschicht, der Abstand zum Grundwasser oder Schichtwasser, die Hangneigung und das damit verbundene versickernde, teils oberflächig ablaufende Regenwasser (vgl. STALLJANN 2000) sowie alle bereits genannten klimarelevanten Parameter miteinbezogen werden.

Tab. 4: Bodenentwicklungen an Böschungen und ihre Eignung als Gehölzstandort (vgl. Kap. 4.1.2, 4.2.2; DUTHWEILER 1967; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; ELLENBERG 1996).

Hauptsubstrate nach Ellenberg (1996)	Ausgangsmaterial	Bodenentwicklung	Bodeneigenschaften
Sand	Sandsteine, Grauwacken, Granit	Ranker, Braunerde, Podsolbraunerde	Grobe Körnung mit hohem Feinbodenanteil, hohe Wasserdurchlässigkeit, niedrige nFK, geeigneter Gehölzstandort
Kalk	Kalksteine, Dolomit	Rendzina, Terra fusca	Hoher Mittelporenanteil, hohe nFK, mittlere Wasserdurchlässigkeit, geeigneter Pflanzenstandort
Lehm	Mergel, Basaltverwitterungslehm, Ton, Tonmergelgestein, Gipskeuper	Pararendzina, Rendzina, Rendzina-Pelosol	Hoher Mittel- und / oder Feinporenanteil, hohe bis niedrige nFK, niedrige Wasserdurchlässigkeit, geeigneter Pflanzenstandort
	Tonschiefer, Kieselschiefer	Ranker	Geringer Feinporenanteil, Skelettboden, niedrige nFK und hohe Wasserdurchlässigkeit, geeigneter Gehölzstandort

Plastische Böden wie ausgeprägter Ton haben aufgrund des hohen Feinkornanteils eine deutlich höhere Bindigkeit als reiner Schluff. Gehölze bewirken aufgrund ihrer hohen Saugspannung in den Wurzeln starke Austrocknungseffekte auf tonigen Böden, welche zu Schäden an Verkehrswegeböschungen führen können (SCHAARSCHMIDT 1974).

Einer Studie aus dem Jahr 2008 über die Vegetationsentwicklung einer durch Gehölzansaaten begrünten Autobahnböschung auf starkbindigen, z. T. verdichteten Böden im Raum Dresden ist zu entnehmen, dass der starke Bewuchs mit krautigen Pflanzen und Gräsern zur Hemmung des Gehölzaufkommens führt (vgl. NITSCHKE 2008).

Gräser und Kräuter scheinen daher besser mit den Standortbedingungen auf starkbindigen, z. T. verdichteten Böden zurechtzukommen als viele Gehölzarten. Das Tiefenstreben der Gehölzwurzeln nach Wasser und die damit verbundene Verankerung im Boden werden durch starkbindige verdichtete Schichten verhindert (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1997). Viele Gehölzarten bilden über verdichteten, starkbindigen Bodenschichten extrem flache, tellerförmige Wurzelsysteme aus, welche die Böschungssicherheit langfristig nicht erhalten können (POLOMSKI & KUHN 1998).

Starkbindige und verdichtete Böden stellen somit eine ökologische Barriere für die Entwicklung von Gehölzen dar, wodurch die Entwicklung von Gräsern und Kräutern be-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

günstigt wird. Unter ökologischen wie auch mechanischen Gesichtspunkten sollten deshalb auf starkbindigen Böden keine Gehölze verwendet werden. Hier wäre eine Begrünung mit Gräsern und Kräutern je nach geplanter Zielvegetation die bessere Alternative (vgl. Kap. 4.1; Tab. 4).

4.2.5 Nutzungsbedingte Einflüsse und Stoffeinträge

Als auf die Standortfaktoren einer Verkehrswegeböschung als Gehölzstandort wirkende nutzungsbedingte Einflüsse anthropogenen Ursprunges können die vom Verkehr hervorgerufenen Emissionen wie Abgase und Feinstäube benannt werden. Emissionen an Straßen entstehen vor allem durch den Verbrennungsprozess im Motor und den Reifenabrieb; so wirken Abgase und Feinstäube direkt auf die an die Straße angrenzende Vegetation, die die Stäube zum größten Teil physikalisch binden und filtern (FGSV 1996).

Dabei werden die Schadstoffe entweder direkt von der Blattoberfläche aufgenommen oder vom Regen in den angrenzenden Boden ausgespült und dort je nach Bodeneigenschaften angereichert, gefiltert oder gepuffert (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992).

An stark befahrenen Straßen ist zudem mit Streusalzeintrag in den Wintermonaten zu rechnen. In Straßennähe wie im Fußbereich von Straßenböschungen können daher nur Gehölze mit Salzresistenzen bestehen (SCHLÜTER 1990). Als natürliche Vegetationsstandorte wären demnach Standorte in unmittelbarer Küstennähe vergleichbar. Hier vorkommende Gehölze wie *Rosa spinosissima* und *Hippophaë rhamnoides* könnten also auch für den Standort in direkter Straßennähe geeignet sein. Als salztolerante, z. T. auch schadstoffresistente Arten gelten u. a. *Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Cornus sanguinea, A. platanoides, A. pseudoplatanus, A. campestre, Carpinus betulus, Fraxinus excelsior, Prunus spinosa, Rosa canina*, *Viburnum lantana* und *V. opulus* (vgl. REBMANN 1984; FLORINETH 2004).

Als ein weiterer anthropogen verursachter Einfluss ist die Hitzeentwicklung an Straßen zu nennen, die das Mikroklima an einer Verkehrswegeböschung stark beeinflussen kann. So absorbieren die dunklen Asphaltflächen der Straße die Sonneneinstrahlung und geben an die umgrenzenden Flächen die Wärme ab. Weitere anthropogen ausgelöste Wärmequellen sind der Betrieb von Kraftfahrzeugen und der damit verbundenen Wärme, ausgelöst durch die Motoren und die Reibung der Reifen auf der Straße. Zudem kann mit einer höheren Windbelastung durch den Sog von LKWs oder an Bahnschienen von vorbeifahrenden Zügen gerechnet werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.3 Gehölzbestandsentwicklungen an Böschungen

In den 60er und 70er Jahren beschränkte sich die Zielsetzung von Ansaaten lediglich darauf, einen dauerhaften, wenig pflegebedürftigen, tief sichernden Gehölzbestand zu erreichen. Die aus der heutigen Sicht naturschutzfachliche richtige Artenzusammensetzung wurde nicht weiter berücksichtigt, hauptsächlich ging es darum, auf den Standort abgestimmte Arten zu verwenden. Erst im Nachhinein wurde festgestellt, dass die sukzessive Entwicklung der angesäten Verkehrswegeböschungen, hinsichtlich der naturschutzfachlich richtigen Artenwahl, ähnlich einer gebietstypischen Gebüschgesellschaft erfolgte (vgl. SIEGMÜLLER 1991).

Die heutige Begrünungspraxis orientiert sich stark daran, bei welchen Standortbedingungen und Zielstellungen (z. B. Erosionsschutz, naturschutzfachliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme, Aufwertung des Landschaftsbildes) sich welche „Zielvegetationstypen“ oder „Zielbiotope“ am effizientesten entwickeln lassen (vgl. TISCHEW et al. 2006).

In Rahmen dieser Dissertation wird als Zielstellung für den Gehölzbestand auf einer Verkehrswegeböschung neben der Standsicherheit die Entwicklung eines gebietstypischen Gebüsches als „Zielvegetation“ (KIRMER et al. 2006) angestrebt.

Anhand pflanzensoziologischer Literatur (vgl. OBERDORFER 1992b; PREISING et al. 2003; WEBER 2003) zur regionalen Ausprägung von Gebüschgesellschaften können die gebietstypischen, an den Standort angepassten Gebüsche ermittelt werden (vgl. TISCHEW et al. 2006). Ein weiteres Indiz für die zu entwickelnde Zielgesellschaft können benachbarte Gehölzbestände auf ähnlichen Standorten liefern. Arealkarten stellen zwar die überregionale Verbreitung einer Art dar, treffen aber neben der standörtlichen Verbreitung keinerlei Aussagen darüber, wie häufig ihr Vorkommen innerhalb einer bestimmten Pflanzengesellschaft ist. Mithilfe von Arealkarten kann lediglich ermittelt werden, ob sich eine bestimmte Art innerhalb des Planungsgebiets überhaupt entwickeln kann. So ist *Lonicera xylosteum* beispielsweise in Deutschland heimisch, kommt aber im atlantisch geprägten Bereich der Nordseeküste nicht vor und sollte dementsprechend dort nicht in einer Ansaatmischung verwendet werden (vgl. BFN 2012).

4.3.1 Sukzessionsfaktoren

Die Bestandsentwicklung auf einer Verkehrswegeböschung wird von mehreren Sukzessionsfaktoren geprägt, welche im Folgenden näher erläutert werden. Die sukzessive Entwicklung eines Vegetationsbestands kann endogen oder exogen initiiert sein. Endogene Faktoren sind durch die Vegetationsentwicklung selbst ausgehende ändernde Standortbedingungen. Straßenbaumaßnahmen sind als exogene Sukzessionsauslöser zu betrachten, weswegen zunächst auf einer Verkehrswegeböschung von einer primär progressiven Sukzessionsrichtung ausgegangen wird (vgl. DIERSCHKE 1994).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Nach der Klärung der Richtung der sukzessiven Entwicklung erscheint es sinnvoll, die sukzessiven Entwicklungsstadien (Serien), die beim Streben eines Gebüsches zu stabilen Stadien durchlaufen werden, auf extrazonalen Böschungsstandorten näher zu erläutern.

Ob in allen Phasen der sukzessiven Bestandsentwicklung die ingenieurbiologische Sicherungsfunktion vorhanden ist, wird im Folgenden nach den während der Sukzession durchlaufenden Entwicklungsstadien und der Ermittlung der gebietstypischen, an den Standort angepassten Gebüsche sowie der Auswahl von geeigneten Arten näher untersucht.

Die Anfangsphase eines sich entwickelnden Vegetationsbestands ist im Wesentlichen von Keimungs- und Wachstumsprozessen geprägt. Bei einer Einzelpflanze findet in diesem Stadium nach der Keimung ein Etablierungswachstum zur Jungpflanze statt. Auf Rohbödenböschungen herrschen für die Pionierarten oder „Lichtholzarten“ (ELLENBERG 1996) gute Wachstumsbedingungen, weshalb bei solchen Arten bereits in der Anfangs- oder auch Pionierphase expansives Wachstum mit deutlichem Biomassenzuwachs stattfindet. Pioniergehölze werden zum Teil den R-Strategen zugerechnet, für die Kurzlebigkeit, Schnellwüchsigkeit, Konkurrenzschwäche und ein hoher Reproduktionsaufwand charakteristisch sind (URBANSKA 1992; DIERSCHKE 1994; ELLENBERG 1996).

Als typische Pioniergehölze eines Gebüsches können die Gattungen *Crataegus*, *Rubus* und *Rosa* sowie die Arten *Hippophaë rhamnoides* und *Sorbus aucuparia* genannt werden (ELLENBERG 1996; WEBER 2003). Um sich auf einem extremen Standort zu etablieren, verfolgen sie besondere Strategien zur erfolgreichen Ansiedlung. Zum einen können sich diese Sträucher in der freien Landschaft durch Stacheln oder Dornen vor Fraßschäden schützen, was allerdings auf einer Verkehrswegeböschung aufgrund der begrenzen Zugänglichkeit nicht notwendig ist, und zum anderen breiten sie sich in der Folgezeit durch weitstreichende Wurzelsprosse oder Ausläuferbildung zentrifugal aus (vgl. WEBER 2003).

Unter dem Schutz der zunächst in der Anfangs- oder Initialphase im Bestand vorherrschenden Pionierarten ist das über den „Bestandsschluss“ (DUTHWEILER 1967) entstehende Aufkommen weiterer Arten Bestandteil der natürlichen Sukzession, welche früher oder später zum dynamischen Gleichgewicht der Schlussgesellschaft führt. Diese Entwicklung ist auf extrazonalen Standorten wie an Steilhängen oder Verkehrswegeböschungen meist verzögert, jedoch nicht unterbunden (ebd.).

Der Bestandsschluss findet in der Hauptphase statt, welche durch eine Selbstausdünnung der Gehölze im Zuge von inter- und intraspezifischer Konkurrenz zwischen den einzelnen Individuen einer Population, also einer Art, und zwischen Individuen verschiedener Arten im Bestand gekennzeichnet ist (STEUBING & SCHWANTES 1992; DIERSCHKE 1994; ELLENBERG 1996).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die Konkurrenz der Einzelgehölze innerhalb einer Pflanzengesellschaft findet unterirdisch und oberirdisch statt. Unterirdisch geht es im Wurzelraum um die Erschließung von Nährstoffen und Wasser; oberirdisch bei der Entwicklung von Biomasse um Licht und Raum. Neben räumlichen Konkurrenzen spielen bei der Bestandsentwicklung weitere ökologische Prozesse wie Synergien - hervorgerufen durch Mikroorganismen und Wurzelverzahnungen - sowie Allelopathien eine wichtige Rolle (vgl. KÖSTLER et al.1968; STEUBING & SCHWANTES 1992). Mit dem Begriff „Allelopathie“ (MOLISCH 1937) wird die gegenseitige Beeinflussung von Pflanzen durch biochemische Ausscheidungen von Hemmstoffen bezeichnet (STEUBING & SCHWANTES 1992).

Im Zuge dieser Prozesse kommt es zu Ausfällen einiger Pionierarten, Samen neuer Arten werden eingeschleppt oder angeweht und überliegendes Saatgut anderer Arten keimt, da sich auf dem Standort inzwischen die Bedingungen z. B. durch die Bildung einer Humusschicht und/ oder die Beschattung durch Pionierarten geändert haben. Nur die am besten an die sich wandelnden Standortbedingungen angepassten Arten und die am weitesten entwickelten Einzelgehölze setzen sich durch und wachsen weiter. Innerhalb der Artenzusammensetzung erfolgt in der Hauptphase eine Häufigkeitsverschiebung der Arten von R- zu K-Strategen. Mischstrategen, wie *Acer* sp., *Cornus sanguinea, Fraxinus excelsior, Ligustrum vulgare* und *Prunus spinosa,* sind mit den für eine bestimmte Gebüsch- oder Vorwaldgesellschaft charakteristischen Arten gleichzusetzen. In Gegensatz zu den R-Strategen sind sie länger- bis langlebig, oft langsamwüchsig, dafür aber mehr oder weniger konkurrenzstark und perfekt auf die sich gewandelten Standortbedingungen angepasst. Auf zonalen Waldstandorten werden diese Gehölzarten auch als Vorwaldarten bezeichnet. *Rosa-* und *Rubus-* Arten sind teilweise in der Lage, sich in Gebüschen als K-Strategen zu behaupten (vgl. URBANSKA 1992; DIERSCHKE 1994; ELLENBERG 1996).

Laut GRIME (2001) werden solche stresstoleranten, langlebigen, teilweise Dornen ausprägenden Gebüscharten als S-Strategen bezeichnet. Charakteristisch für die S-Strategen ist die Fähigkeit zur generativen und zugleich vegetativen Vermehrung mittels Ausläuferbildung. Dadurch wird es diesen Gehölzen ermöglicht, extreme Standorte zu erschließen und diese langfristig und konkurrenzstark zu besiedeln (vgl. GRIME 2001).

GLAVAC (1996) ordnet Gehölze den hauptsächlich den K-S-Mischstrategen zu. Einige wenige Gehölzarten gehören den K-Strategen, S-Strategen und den K-S-R-Mischstrategen an. K-R-Mischstrategen gibt es unter den Gehölzen nur sehr wenige (GLAVAC 1996).

Die Zielvegetation auf extremen Standorten wird bereits in der Hauptphase erreicht und wird aufgrund der extremen Bedingungen eines extrazonalen Böschungsstandortes auch in der Endphase als stabiles Gebüschstadium beibehalten. Laut DUTHWEILER (1967) kann sogar die Pioniergesellschaft der Anfangsphase beim fortdauernden Über-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

gewicht extrem auslesender Standortskräfte bereits Schlussgesellschaft sein. Als Beispiel mit sehr extremen Standortbedingungen werden alpine Schutthalden angegeben, welche nur wenige ökologisch spezialisierte Initialarten, die S-Strategen, zulassen (vgl. DUTHWEILER 1967; GLAVAC 1996; GRIME 2001).

SIEGMÜLLER (1989) beschreibt die von ihr auf Böschungsstandorten im hessischen Bergland evaluierten ca. 18 Jahre alten und aus einer Ansaat hervorgegangenen Gehölzbestände als in einem Zustand, der einem Vorwaldstadium entspricht, welcher sich auch von selbst eingestellt hätte.

Nach DIERSCHKE (1994) hingegen kann die auf Verkehrswegeböschungen zu erreichende Zielgesellschaft nicht als Vorwald-, sondern nur als Gebüschstadium bezeichnet werden, da die dort vorherrschen extremen Standortbedingungen natürlicherweise eine Weiterentwicklung zu einem Waldstadium behindern bzw. stark verzögern würden.

Ob sich ein Gehölzbestand an einer Böschung zu einem Vorwald oder einem Gebüsch entwickelt, hängt maßgeblich von den Bedingungen ab, die den Standort als „extrem“ charakterisieren (vgl. Kap. 4.2). Auf schattigen Böschungsstandorten, die dementsprechend weniger extremen Standortfaktoren ausgesetzt sind, können sich sicherlich auch Vorwaldgesellschaften entwickeln. Eine solche Entwicklung zum Hangwald als Endstadium ist auf Verkehrswegeböschungen aufgrund der Straßenverkehrssicherheit nicht erwünscht und wird im Straßenbau durch entsprechende Pflegemaßnahmen verhindert, wodurch eine zyklische Sukzessionsrichtung angestrebt wird.

4.3.2 Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation

Auf extremen Standorten oder auch „Sonderstandorten“ (WEBER 2003) wie Verkehrswegeböschungen würden sich natürlicherweise ruricole Gebüschgesellschaften entwickeln. Solche Sonderstandorte befinden sich in der freien Landschaft an Waldmänteln gegen Felsen und anderen von Natur aus waldfreien Standorten wie Felsen, periodisch stark austrocknenden Schotterflächen an Flüssen des Voralpengebietes, an Küstendünen sowie an Verlandungs- und Moorgebieten.

Weitere Gebüschstandorte sind anthropogen geprägter Art: als Waldmäntel und Hecken in der Kulturlandschaft, als Spontanaufwuchs auf extensiv genutztem Grasland und auf anderen Sekundärstandorten (ebd.).

Welche gebietstypische Gebüschgesellschaft sich auf einer Verkehrswegeböschung einstellt, ist neben der Ansaatmischung durch die an diesem extremen Standort vorherrschenden abiotischen Faktoren bestimmt. Zu den maßgeblich die Verbreitungsareale einzelner gesellschaftstypischer Charakterarten prägenden Faktoren zählen vor allem die Bodenchemie (pH-Wert/ Nährstoffe) und -feuchte (ebd.; vgl. Abb. 3).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

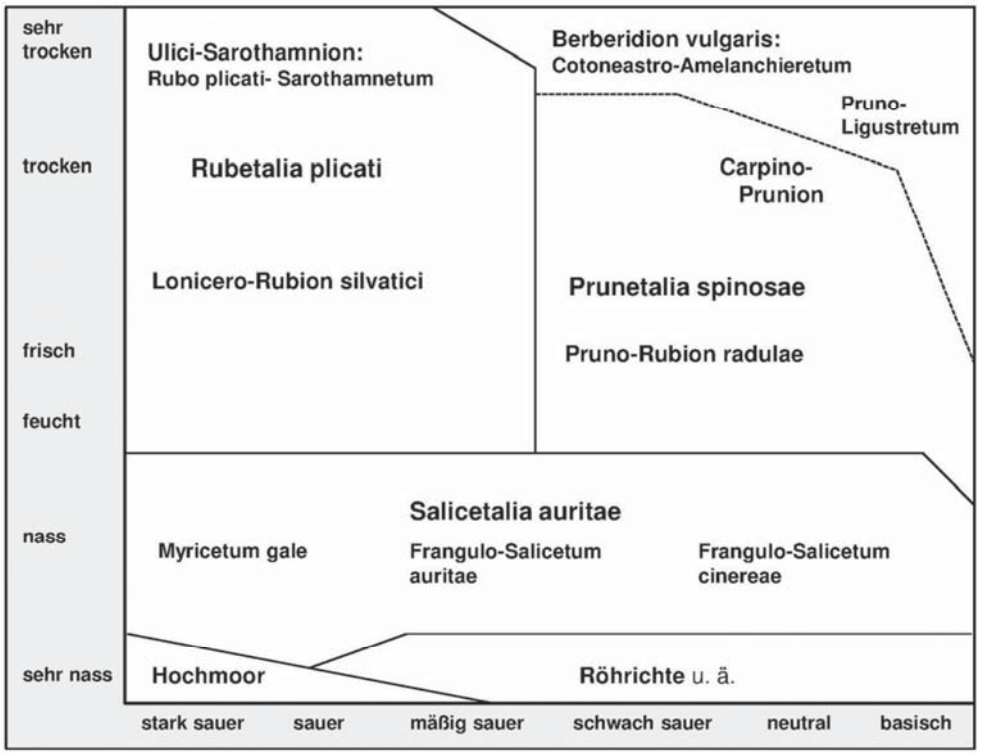


Abb. 3: Ökogramm der Gebüschgesellschaften des mitteleuropäischen Tief- und Berglandes (eigene Darstellung; verändert nach ELLENBERG 1996; WEBER 2003).

Als weitere die Gebüschgesellschaft prägenden Faktoren lassen sich die Exposition (Wärme, Licht), die Höhenlage sowie bodenmechanische Vorgänge (Erosion, Rutschungen) benennen (DUTHWEILER 1967).

In Mitteleuropa kommen auf basenreichen, trockenen bis feuchten Standorten Schlehengebüsche (Prunetalia spinosae) (1) und auf bodensauren, trockenen bis frischen Standorten Faltenbrombeergebüsche (Rubetalia plicati) (2) vor. Die auf basenreichen Standorten vorkommenden Schlehengebüsche werden aufgrund der lokal vorherrschenden Temperaturbedingungen in thermophil und mesophil unterteilt (WEBER 2003).

Die Festlegung eines rein pflanzensoziologisch basierten Vegetationsziels einer Begrünung gestaltet sich als problematisch, da sich hier erst nach vielen Jahren im Hauptstadium der Sukzession sagen ließe, ob nun das Vegetationsziel - eine bestimmte Pflanzengesellschaft - erreicht wurde.

Biotoptypen sind im Gegensatz zu Pflanzengesellschaften, die vorrangig an der Zusammensetzung der Vegetation ausgerichtet sind, standortbezogen. So sind die Standortmerkmale des Lebensraums, wie die Wasserversorgung, Nährstoffversorgung, Struktur/ Relief, Exposition, Kalkgehalt, und standörtliche Besonderheiten wie der Gehalt von Salz oder Schwermetalle u. a. vorrangige Kriterien für die Biotoptypisierung (DRACHENFELS, v. 2011). Laut DRACHENFELS, v. ergeben sich durch den Vorrang des Standortbezuges im Vergleich zur Systematik der Pflanzengesellschaften Unterschiede im Differenzierungsgrad. „Bei standörtlich deutlich differenzierbaren Pflanzengesellschaften ori-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

entieren sich die Biotoptypen an Assoziationen oder sogar Subassoziationen (z. B. Wälder), bei anderen eher an Verbänden (z. B. Grünland), Ordnungen oder gar Klassen (z. B. Ruderalfluren)“ (ebd.). Bei Gebüschen an extrazonalen Böschungsstandorten handelt es sich um Gesellschaften, die keine deutlichen Standortunterschiede zulassen, aufgrund dessen es möglich ist, Gebüschgesellschaften bestimmten Biotoptypen zuzuordnen.

Dass Biotoptypen als Lebensräume angesehen werden, spielt auch bei der Flächengröße der Biotoptypen eine wichtige Rolle. So können üblicherweise sehr kleinflächige Vegetationstypen wie Saum- oder Felsspalten-Gesellschaften in weiter gefasste Biotoptypen integriert werden (ebd.). Auch kleinräumliche standörtliche Wechsel, wie Standortmosaike und damit verbundene kleinflächige Pflanzengesellschaftsänderungen, wie sie z. B. häufig an Böschungen vorzufinden sind, können in einen übergeordneten Biotoptyp gefasst werden.

Ein weiterer Vorteil, der für die biotoptypenbasierten Zielvegetation spricht, ist die Tatsache, dass die Ziele von Naturschutz und Landschaftsplanung, welche sich nach § 30 BNatSchG beim Biotopwertverfahren auf Biotoptypen stützen, bereits in der Verkehrswegeplanung bei der Anlage von Straßenbegleitgrün berücksichtigt werden können. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, das Begrünungsziel mit naturschutzfachlichen Zielen beispielsweise im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen zu verknüpfen (vgl. DRACHENFELS, v. 2012).

Als erschwerend für die Definition des biotoptypenbasierten Begrünungszieles an Verkehrswegeböschungen können die bundesweit uneinheitlichen Biotoptypenkartierschlüssel und erheblichen methodischen Unterschiede gesehen werden (vgl. KAISER et al. 2013). Die Standard-Biotoptypenliste für Deutschland erweist sich als Zielvegetation für Gebüsche an Verkehrswegeböschungen mit dem „Gebüsch frischer Standorte“ und dem „Gebüsch trocken-warmer Standorte“ als zu undifferenziert (vgl. RIECKEN et al. 2003). Infolgedessen werden die Kartierschlüssel der in dieser Arbeit berücksichtigten Bundesländer Hessen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Baden-Württemberg, Niedersachsen und Thüringen im Folgenden bezüglich ihrer Eignung als Zielvegetation für Gebüsche ausgewertet und eine geeignete Biotoptypeneinteilung übernommen (vgl. Kap. 3).

Die hessische Biotopkartierung (1995) ordnet die potenziell an Verkehrswegeböschungen vorkommenden Pflanzengesellschaften den Biotoptypen „Gehölze trockener bis frischer Standorte“ (02.100) und „Felsfluren (10.100)“ bzw. „Block und Schutthalden“ (10.200) zu. Sachsen (2009) unterteilt zwischen „Gebüsch frischer Standorte“ (BM), „Trockengebüsch“ (BT) und „Vorwald(stadien), Pionierwälder“ (WV) sowie Besenginsterheide (HG). Nach der Biotoptypen-RL des Landes Sachsen-Anhalt können Gebüsche an Verkehrswegeböschungen den „Gebüschen trockenwarmer Standorte“ (18) und „Zwergstrauchheiden“ (13) zugeordnet werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Baden-Württemberg unterteilt die potenziell an Verkehrswegen vorkommenden Gebüsche in „Gebüsch trockenwarmer Standorte“ (42.10), „Gebüsch mittlerer Standorte“ (42.20), „Zwergstrauch- und Ginsterheiden“ (36.20) und „Sonstiges Gebüsch hochmontaner und subalpiner Lagen“ (42.52). Letzteres kann in diesem Zusammenhang vernachlässigt werden, da sich die in dieser Dissertation untersuchen Gebiete nicht in solchen Höhenlagen befinden (LUBW 2009).

Das Bundesland Thüringen unterscheidet im Oberpunkt „Gebüsch“ (6220) zwischen „Felsgebüsch, Trockengebüsch und Laubgebüsche frischer Standorte“, zudem gibt es den für den Straßenbau interessanten Biotoptyp „Besenginsterheide“ (5610-200) für saure Standorte (FREISTAAT THÜRINGEN 1999).

In Niedersachsen gilt der Biotoptypen-Kartierschlüssel von DRACHENFELS, v. (2011). Hier wird neben Bodenfeuchte und Exposition z. T. auch nach Bodenchemie unterschieden. So können auf einer Verkehrswegeböschung je nach Standort ein „Gebüsch trockenwarmer Standorte“ (BT) mit den Untertypen „Laubgebüsch trockenwarmer Sand- und Silikatstandorte“ (BTS) und „Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte“ (BTK) bestehen. Des Weiteren gibt es die Einteilung in ein „Mesophiles Gebüsch“ (BM), mit den Untertypen: „Mesophiles Weißdorn-/ Schlehengebüsch“ (BMS) „Mesophiles Haselgebüsch“ (BMH) und „Mesophiles Rosengebüsch“ (BMR) sowie in ein „Bodensaures Gebüsch“ (BS) mit den Untertypen: „Bodensaures Weiden-/ Faulbaumgebüsch“ (BSF) und Ginstergebüsch (BSG). Eine klassische Vorwaldgesellschaft auf sauren Sanden, wie in der Heide oder bei Tagebaufolgelandschaften, bildet das „Sonstige naturnahe Sukzessionsgebüsch“ (BRS). Bei der Renaturierung von Tagebaufolgelandschaften wird eine Wiederaufforstung angestrebt, wobei ein BRS oder Birkenpionierwald ein frühes Entwicklungsstadium in Richtung Wald das Vegetationsziel ist (vgl. TISCHEW et al. 2009). Dieser Biotoptyp ist auf Verkehrswegeböschungen nicht als Zielvegetation anzustreben, da neben Sträuchern wie Vogelbeere, Mehlbeere und Salweide vor allem Bäume wie Sandbirke, Zitterpappel und Schwarzkiefer eine wichtige Rolle spielen. Solche Gehölze können aufgrund der Kippgefahr die Straßenverkehrssicherheit gefährden, zudem ist bei diesem Biotoptyp als Vorwaldgesellschaft mit einer hohen Pflegeintensität zu rechnen, um eine Waldentwicklung zu verhindern.

In allen vorgestellten Biotoptypenkartierungen werden „Trockengebüsche“ oder „Gebüsche trockenwarmer Standorte“ sowie „Ginstergebüsch“ oder „-heide“ aufgeführt. Das liegt zum einen daran, dass sie die gleichen Standorteigenschaften haben und zum anderen daran, dass sie gemäß FFH-Richtlinie als Lebensraumtypen europaweit geschützt sind (FFH-RL 1992). Als gesetzlich geschützte Biotoptypen zählen zudem alle hier vorab aufgezählten Gebüsche für Niedersachsen gemäß § 30/24 BNatSchG (2010) (vgl. DRACHENFELS, v. 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Da die Unterteilung der Niedersächsischen Biotoptypenkartierung mit denen der anderen Biotoptypenkartierungen und der aktuellen naturschutzfachlichen Gesetzgebung konform ist und weitestgehend mit der Einteilung in pflanzensoziologische Gebüschtypen nach WEBER (2003) harmoniert, ist es naheliegend, diese weiterzuverwenden. Die biotoptypenbasierte Gehölzansaat bietet sich daher an, um - wie im Vollzug der Eingriffsregelung - ein naturschutzfachlich anerkanntes Biotopwertverfahren bei der Planung der Begrünung von Verkehrswegeböschungen mit einzubeziehen.

Im Folgenden werden daher den Biotoptypen BT, BM, BS die im ganzen Untersuchungsgebiet vorkommenden Gebüschgesellschaften zugeordnet (vgl. Tab. 5).

Tab. 5: An Verkehrswegeböschungen vorkommende Biotoptypen mit pflanzensoziologischer Zuordnung (vgl. OBERDORFER 1992b; PREISING et al. 2003; WEBER 2003; DRACHENFELS, v. 2011).

Biotoptyp	Untertypen	FFH-RL	Verbände	Assoziationen / Gesellschaften
BT (§)	BTK / BTS	5110 / 40A0	*Beberion vulgaris*	*Pruno-Ligustretum* (Schlehen-Liguster-Gebüsch), *Cotoneastro-Amelanchierum* (Felsenbirnen-Gebüsch), *Prunetum-mahaleb*^ (Felsenkirschen-Gebüsch), *Roso vosagiacae-Coryletum*^ (Hasel-Gebüsch mit Vogesenrose), *Ulmo minoris-Rosetum*^ (Feldulmen-Gebüsch), *Coryletum*² (Hasel-Gebüsch der Steinschutthalden)
			*Prunion fruticosae**	*Crataego-Prunetum fruticosae*° (Weißdorn-Zwergkirschen-Gebüsch)
	BTS		*Pruno-Rubion fruticosi**	*Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae*³ (Brombeer-Schlehen-Gebüsch)
BM (§)	BMR / BMS		*Beberion vulgaris*	*Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch)
			*Pruno-Rubion radulae**	*Pruno-Rubetum* **…** (Schlehen-Gebüsche mit Brombeeren)
			*Carpino-Prunion**	*Crataego-Prunetum spinosae* (Weißdorn-Schlehen-Gebüsch)
	BMH		*Pruno-Rubion radulae**	*Carici brizoides-Coryletum* (montanes haselreiches Schlehen-Brombeergebüsch)
			*Senecioni-ovati-Corylion**	*Senecioni-ovati-Coryletum* (submonanes bis montanes Hasel-Gebüsch), *Euonymo-Coryletum* (planares bis schwach kollines Hasel-Gebüsch)
BS (§)	BSG	2310 / 2320 / 4030	*Ulici-Sarothamnion*	*Rubo plicati-Sarothamnetum* (Faltenbrombeer-Besenginster-Gebüsch), Callunae-Sarothamnetum (Besenginsterheide)
			Genistion	*Genisto pilosae-/germanicae-Callunetum*° (Subatlantische Sandginster-/ Deutschginster-Heide)
	BSF		*Lonicero-Rubion silvatici*	*Rubetum* **…** (Waldgeißblattt-Brombeer-Gebüsche), *Frangulo-Rubetum (plicati°)* ([Falten-]Brombeeren-Faulbaum-Gebüsch)

Legende: * - Waldersatzgesellschaften, Vorwaldgebüsche; ^ - nicht in Niedersachsen; ° - nicht in Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Sachsen; ² - nur in Südwestdeutschland, den Alpen und Thüringen; ³ - Ostverbreitungsgrenze: Bayrischer Wald; … - diverse Ausprägungen je nach Brombeerart; (§) - in Niedersachsen geschützt

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Das *Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch) aus dem thermophilen Verband *Beberion vulgaris* wird in dieser Zuordnung anders als in den Biotoptypen von Baden-Württemberg den mesophilen Gebüschen zugeordnet. Das liegt darin begründet, dass in Süddeutschland das Hartriegel-Gebüsch auf kühlen tonigen Böden, in Schattlagen oder an Kaltluftstandorten kleiner Geländemulden an die Stelle des thermophilen *Pruno-Ligustretum* (Schlehen-Liguster-Gebüsch) tritt (OBERDORFER 1992b).

Das *Callunae-Sarothamnetum* (Besenginsterheide) kann als Vegetationsziel zur Begrünung von Rohbodenböschungen ausgeschlossen werden, da zum Erhalt solcher Flächen ein hohes Maß an Pflegeeingriffen notwendig ist (vgl. Mertens et al. 2007).

Regional vorkommende oder nur auf bestimmte Naturräume begrenzte Gebüsche wie *Prunetum-mahaleb, Roso vosagiacae-Coryletum, Ulmo minoris-Rosetum, Coryletum, Crataego-Prunetum fruticosae* und *Genisto pilosae-/ germanicae-Callunetum* sind in Deutschland bei der Wahl der Zielvegetation nur begrenzt verwendbar. Von daher scheint es angebracht, das Vegetationsziel nach übergeordneteren Zielbiotoptypen auszurichten. Durch das Zulassen der Sukzession (Ausfall von Arten, Diasporeneintrag und Naturverjüngung) ist jedoch die Entwicklung von einem übergeordneten Biotoptyp zu einem naturschutzfachlich wertvollen regionalen Gebüsch möglich.

Demnach ergibt sich bei der Planung einer biotoptypenbasierten Gehölzansaat an einer Verkehrswegeböschung folgende vereinfachte Zielvegetation (vgl. Tab. 6).

Tab. 6: Für Verkehrswegeböschungen im gesamten Bundesgebiet geeignete biotoptypenbasierte Zielvegetation (vgl. Tab. 5; DUTHWEILER 1967).

Zielbiotoptypen	Assoziationen / Gesellschaften
BTK / BTS	*Pruno-Ligustretum* (Schlehen-Liguster-Gebüsch), *Cotoneastro-Amelanchierum* (Felsenbirnen-Gebüsch)
BTS	*Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae* (Brombeer-Schlehen-Gebüsch)
BMR	*Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch)
BMS	*Pruno-Rubetum* **...** (Schlehen-Gebüsche mit Brombeeren) *Crataego-Prunetum spinosae* (Weißdorn-Schlehen-Gebüsch)
BMH	*Carici brizoides-Coryletum* (montanes haselreiches Schlehen-Brombeergebüsch) *Senecioni-ovati-Coryletum* (submonanes bis montanes Hasel-Gebüsch), *Euonymo-Coryletum* (planares bis schwach kollines Hasel-Gebüsch)
BSG	*Rubo plicati-Sarothamnetum* (Faltenbrombeer-Besenginster-Gebüsch),
BSF	*Rubetum* **...** (Waldgeißblattt-Brombeer-Gebüsche), *Frangulo-Rubetum* (Brombeeren-Faulbaum-Gebüsch)

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.4 Saatgutbeschaffenheit

Für die erfolgreiche Etablierung eines Gehölzbestands mittels einer Ansaat ist es neben fundierten Kenntnissen über die Artenzusammensetzung der standortabhängigen gebietstypischen Gebüschgesellschaften (vgl. Kap. 4.3) wichtig, über Kenntnisse der Keimfähigkeit und Keimungseigenschaften der zu verwendenden Gehölzarten zu verfügen. Basierend auf diesem Wissen wurden früher bereits Saatgutmischungen mit großer Artenvielzahl für verschiedene extreme Böschungsstandorte entwickelt und vor allem in Baden-Württemberg angewendet (vgl. NEEF 1976; SCHLIERER 1984; BRÜCKNER 1995). Einige Gebüsche, die sich aus solchen Saatgutmischungen entwickelt haben, sind im Rahmen der Untersuchungen evaluiert und ausgewertet worden.

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten zur Keimfähigkeit und Keimungseigenschaften von Gehölzen stammen vor allem aus der Baumschulfachliteratur, da es bislang kaum Kenntnisse über Regiosaatgut und die Keimfähigkeit von Gehölzen in der freien Landschaft gibt.

Um eine schnelle Keimung zu ermöglichen, erscheint es bei den meisten Arten sinnvoll zu sein, vor allem bei der Frühjahrsaussaat stratifiziertes herkunftsgebietstreues Saatgut zu verwenden. Die Verwendung von stratifiziertem Saatgut birgt Vor- wie auch Nachteile, welche im Zusammenhang mit den Keimungseigenschaften näher erläutert werden. Ein weiterer wichtiger Faktor, um hohe Keimungsraten zu erreichen, ist die Wahl des richtigen Aussaatzeitpunktes, welcher bei den einzelnen Arten verschieden sein kann (vgl. FLL 1998). Im Folgenden werden zunächst die Herkunftsproblematik und dann die Keimungseigenschaften der einzelnen Gehölzarten näher erläutert.

4.4.1 Gehölzherkünfte

Gehölze haben sich über einen langen Entwicklungszeitraum einer Art hinweg an die jeweiligen Standort- und Klimabedingungen angepasst. Für die Verwendung von Gehölzen bei Begrünungsmaßnahmen sind deshalb gebietseigene Herkünfte in der Regel am besten für die hiesigen Bedingungen geeignet. Der Begriff „gebietseigen“ (SEITZ & KOWARIK 2003) umfasst indigene (einheimische) Arten und deren Populationsbezug. Fremdländische Herkünfte sind in der Regel schlechter geeignet, es gibt jedoch Beispiele in der Forstwirtschaft, bei denen das nicht der Fall ist (vgl. SPETHMANN 1996, 2003).

In Deutschland wurde in der Vergangenheit jahrzehntelang Saatgut für einheimische Gehölze unkontrolliert aus z. T. nicht geeigneten Klimazonen importiert, was neben Keimungsausfällen und Entwicklungsrückständen auch zur genetischen Verfälschung der einheimischen Artenpopulationen beigetragen hat. 80 % aller Feldgehölzsaaten sollen laut einer Umfrage bei Saatguthändlern beispielsweise im Jahr 1991 aus zum Teil ungeeigneten fremdländischen und gebietsfremden Herkünften importiert worden sein (vgl. HANSKE 1991; SCHMIDT & KRAUSE 1997; SPETHMANN 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Durch Herkunftsversuche bei *Acer campestre* und *Crataegus monogyna* zwischen heimischen und italienischen Herkünften zeigte SPETHMANN (1995) deutliche Unterschiede hinsichtlich Tausendkorngewicht, Phänologie, Wachstum, Schädlingsbefall und größere Ausfälle bei der Keimung auf. Bei *Corylus avellana* aus türkischen Herkünften wurden ebenfalls starke Keimungsausfälle aufgrund mangelnder Frosthärte festgestellt (SPETHMANN 1995, 1996).

Auch über die Verzahnung von verschiedenen Wurzelsystemen gebietsheimischer und fremder Arten und die dadurch erreichte Standortsicherung von Gehölzanpflanzungen gibt es zahlreiche Aufzeichnungen (vgl. KRUEDENER 1951; HÄHNE 1985a, 1985b; PFLUG 1985a; RIECKE 1985).

Diese Anwuchsversuche ergaben u. a. ebenfalls, dass bei der Verwendung von heimischen Gehölzen geringere Ausfallquoten zu verzeichnen sind, da die genetische Variabilität von gebietseigenem Material deutlich höher ist als die der Kulturform (vgl. MARZINI 2000; VOLLRATH 2006; LIPPE et al. 2007).

Letzten Endes aber überzeugt nicht die genetische Diversität, sondern die Kostenfrage skeptische Baumschulen und Saatguthändler von der Idee der Herkünfte (SPETHMANN 2003). Die Baukosten von Ansaaten mit regionalem Saatgut und einer gebietstypischen Artenmischung mögen zwar höher sein als die Aufbringung von günstigem, einfach verfügbarem Saatgut fremdländischer Herkunft, aber gleichzeitig sinken auch die Gesamtkosten, welche sich neben den Baukosten aus Pflege, Erhalt der Funktionstüchtigkeit und ggf. Sanierung der Maßnahme zusammensetzen (vgl. SCHIECHTL & STERN 1992). Bei einer Gegenüberstellung der Keimungsausfälle von Importsaatgut und den zusätzlichen Kosten für Saatgut von heimischen Samenbanken erwies sich die Verwendung von gebietseigenem Saatgut als deutschlandweit ökonomisch (vgl. HILLER & HACKER 2001; ORTNER 2004).

Neben der Kostenfrage gab es auch noch Fragen zur Verfügbarkeit von herkunftstreuem Saatgut und den Ausschreibebedingungen zu klären. Schließlich wurde eine Herkunftsregelung für die wichtigsten Gehölzarten des Handels getroffen, welche sich im Regiosaatgut- und Regiopflanzgut-Konzept wiederfinden (vgl. SPETHMANN 2003; ORTNER 2004).

Bei der Definition des Begriffes „Herkunftsgebiet“ (SCHMIDT & KRAUSE 1997) stützte man sich auf die Annahme, dass innerhalb eines Herkunftsgebietes relativ gleiche ökologische Bedingungen vorherrschen, die zur Ausbildung von entsprechend angepassten und genetisch einheitlichen Genotypen geführt haben (vgl. HILLER & HACKER 2001; ORTNER 2004; FRENZ & TOBIAS 2009).

Da nicht alle Gehölzarten gleichermaßen von der Problematik des Saatgutimports betroffen sind, haben SCHMIDT & KRAUSE (1997) eine Differenzierung in 3 verschiedene Gehölzgruppen vorgenommen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Gruppe 1 „Arten ohne Untergliederung in Herkunftsgebiete“ oder auch als „Massengehölze“ (SCHMIDT & KRAUSE 1997) bezeichnet, umfasst den größten Teil der Sträucher, deren Saatgut in den letzten Jahrzehnten vorwiegend aus dem Ausland importiert worden ist. Folgende Arten sind von SCHMIDT & KRAUSE (1997) der Gruppe 1 zugeordnet worden: *Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Cornus mas*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Ligustrum vulgare*, *Lonicera xylosteum*, *Malus sylvestris*, *Prunus avium* subsp. *avium*, *Pyrus pyraster*, *Rhamnus cathartica*, *R. frangula*, *Ribes alpinum*, *Salix alba*, *S. aurita*, *S. caprea*, *S. cinerea*, *S. purpurea*, *S. triandra*, *S. viminalis*, *Sambucus nigra*, *S. racemosa*, *Viburnum lantana* und *V. opulus.*

Eine Unterteilung in Herkunftsgebiete kann auch bei Gehölzen der Gruppe 1, den sog. „Massengehölzen“, naturschutzfachlich sinnvoll sein, wenn bestimmte Aspekte bei der Beerntung beachtet werden. Als Hauptaspekt sei hier das Alter der Spendergehölze genannt, denn wenn diese älter als 70 Jahre sind, ist zumindest das Problem der genetischen Florenverfälschung durch die zahlreichen Saatgutimporte aus dem Ausland der letzten Jahrzehnte behoben (SPETHMANN 2003).

Die Gruppe 2 „Arten mit Untergliederung in wenige Herkunftsgebiete“ enthält Arten, die deutliche Unterschiede innerhalb ihres Areals zeigen, wobei eine Unterteilung in unterschiedliche Herkunftsgebiete angebracht scheint. Zur Gruppe 2 nach SCHMIDT & KRAUSE (1997) gehören: *Acer campestre*, *Betula pendula*, *B. pubescens, Cornus sanguinea*, *Hippophaë rhamnoides*, *Populus tremula*, *Prunus padus* subsp. *padus, Prunus spinosa* und *Sorbus aucuparia* subsp. *aucuparia.*

Arten der Gruppe 3 „Sippen mit regional zu begrenzenden Herkunftsgebieten“ werden bis auf Rosenarten selten in der freien Landschaft zu Begrünungszwecken verwendet. Bei diesen Sippen wäre es angebracht, Saatgut aus benachbarten, anthropogen weitgehend unbeeinflussten Beständen oder zumindest aus den untergliederten Herkunftsgebieten zu verwenden. Der Gruppe 3 nach SCHMIDT & KRAUSE (1997) werden folgende Arten zugerechnet: *Betula pubescens* subsp. *carpatica*, *Crataegus* sp. (außer *monogyna*), *Prunus padus* subsp. *borealis*, *Rosa* (alle Sippen), *Rubus fruticosa* agg. (alle Sippen), *R. corylifolius* (alle Sippen) und *Sorbus aucuparia* subsp. *glabrata.*

Auf seltene und regional/ lokale Arten, wie *Crataegus rhipidophylla*, *Sorbus domestica* oder einige Wildrosenarten, sollte in einer Ansaatmischung verzichtet werden, da sie eine regional angepasste räumliche Differenzierung aufweisen. Zudem kommen sie häufig nur auf Sonderstandorten vor oder liegen am Rand ihres Verbreitungsareals. Die Verwendung von einigen Wildrosenarten ist ebenfalls als kritisch zu betrachten, da sie zur Aufspaltung in Lokalsippen tendieren, teilweise wäre deswegen eine kleinräumigere genetische Differenzierung notwendig (vgl. SCHMIDT & KRAUSE 1997; FRENZ & TOBIAS 2009).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Insgesamt sind über 550 Gehölzarten an der Vegetation der mitteleuropäischen Gebüsche beteiligt. Davon gehören etwa 475 Arten zur Familie der *Rosaceae*. Folgende Gattungen zählen u. a. zur Familie der *Rosaceae*: *Amelanchier*, *Cotoneaster*, *Crataegus*, *Malus*, *Prunus*, *Pyrus*, *Rosa*, *Rubus* und *Sorbus.* Den größten Anteil an unterschiedlichen Arten innerhalb von mitteleuropäischen Gebüschen haben Arten der Gattung *Rubus.* Brombeeren haben sich durch die Hybridisierung untereinander in sehr viele Regionalsippen aufgeteilt, welche auch bei der Verwendung von herkunftsgebietstreuem Saatgut nicht ausreichend Berücksichtigung finden könnten (vgl. Abb. 4; WEBER 2003). Auf *Rubus*-Arten sollte daher, nicht nur aus Gründen der Biodiversität, sondern auch aufgrund der hohen Eigendynamik und des schnellen Diasporeneintrags durch Endozoochie auf oberbodenlosen Flächen, in Saatgutmischungen zur Begrünung von Verkehrswegeböschungen verzichtet werden (vgl. ebd.).

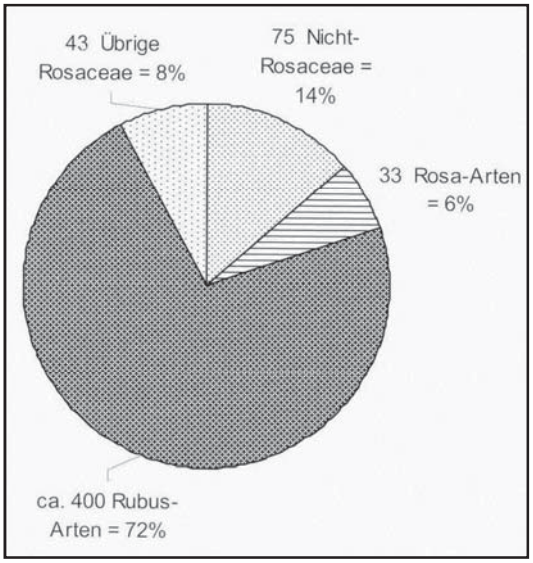


Abb. 4: Verteilung der etwa 550 Gehölzarten, die an der Vegetation der mitteleuropäischen Gebüsche beteiligt sind, auf taxonomische Gruppen (WEBER 2003).

Auch Rosenarten machen mit 33 Arten einen großen Anteil an den mitteleuropäischen Gebüschen aus, jedoch sind in der freien Landschaft größtenteils nur die 6 - 8 Hauptarten anzutreffen (ebd.). Trotz der bereits erwähnten Lokalsippenaufspaltung sollten die Hauptrosenarten bei Gehölzansaaten Verwendung finden, da auf die sehr gute ingenieurbiologische Sicherungsleistung von Rosen an Böschungen nicht verzichtet werden kann und diese einen charakteristischen Bestandteil einiger gebietstypischer Gebüsche darstellen.

Im Forstbereich ist die Herkunftsproblematik schon länger bekannt; daher gibt es für die Hauptbaumarten seit Jahrzehnten das Forstliche Saat- und Pflanzgutgesetz, welches vom im Januar 2003 in Kraft getretenen Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) abgelöst wurde. Nach § 5 FoVG wird das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ermächtigt, Herkunftsgebiete zu bestimmen. Im Gegensatz zu den

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Herkunftsgebieten bei Feldgehölzen wurden für alle bedeutenden Forstbaumarten jeweils artspezifische Herkunftsgebiete abgegrenzt und deren herkunftstreue Verwendung in der freien Landschaft gesetzlich vorgeschrieben (vgl. LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ 1999; BMELV 2003; KOWARIK & SEITZ 2003; FRENZ & TOBIAS 2009).

Folgende Gehölzarten, welche bei den im Rahmen dieser Dissertation ausgewerteten Ansaaten verwendet wurden, sind im FoVG aufgeführt und könnten auch für Landschaftsbauarbeiten beim Verkehrswegebau über die Forstsamenbetriebe bezogen werden (vgl. SPETHMANN 2002): *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *A. incana*, *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium*, *Tilia cordata* und *T. platyphyllos.*

Die Verwendung von gebietsheimischen Gehölzherkünften bei der Begrünung von Straßenverkehrsböschungen wird bereits über das Vertragswerk der Straßenbauverwaltung geregelt. In den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Landschaftsbauarbeiten im Straßenbau“ (ZTV La-StB 05) sind seit 2005 Herkunftsnachweise für Saatgut vorgeschrieben. Die Art des Nachweises sollte bei Begrünungsarbeiten im Straßenbau bereits in der Leistungsbeschreibung vorgegeben werden. Für Gehölzansaaten ist vorgeschrieben, dass die Art und ggf. Herkunft und Mischung angegeben werden müssen. Die Angabe von Gattung und Art, Herkunft, Reifejahr, Reinheit und Keimfähigkeit muss bei Lieferung von Gehölzsaatgut erfolgen. Zudem sollen bei der Gehölzansaat die Arten getrennt geliefert werden und die Verpackung muss Angaben über Art und Gewicht des Saatgutes enthalten (BMVBS 2005).

Mit dem Gesetz zur Neuordnung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege (Bundesrat-Drucksache 278/09) wurden insbesondere im BNatSchG umfassende, unmittelbar geltende Vollregelungen geschaffen, die seit dem Inkrafttreten am 1. März 2010 das Rahmenrecht ersetzen. Bis dahin war die Regelung der Herkunftsproblematik von Gehölzsaatgut Ländersache. Ergänzende Regelungen ergeben sich weiterhin aus dem Landesrecht, darüber hinaus ist es für die Länder möglich, im Rahmen der Abweichungsgesetzgebung anderweitige Regelungen zu treffen (BFN 2010). In Niedersachen wurde am 01.03.2010 das bisherige Niedersächsische Naturschutzgesetz (NNatG) vom Niedersächsischen Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz (NAGBNatSchG) abgelöst.

Nach § 40 BNatSchG (2010) über nichtheimische, gebietsfremde und invasive Arten bleibt die Ausbringung gebietsfremder Arten genehmigungspflichtig. Des Weiteren gelten künstlich vermehrte Pflanzen als nicht gebietsfremd, wenn sie ihren genetischen Ursprung in dem betreffenden Gebiet haben. Durch die Übergangsregelung ist das Ausbringen von Gehölzen und Saatgut außerhalb ihrer Vorkommensgebiete bis einschließlich 1. März 2020 genehmigungsfrei. Bis dahin sollen, wenn möglich, gebietseigene Gehölze in der freien Natur vorzugsweise verwendet werden (BMU 2012).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Als Hilfestellung zur Umsetzung dieser Gesetzesänderung, auf Grundlage der Ergebnisse der BFN-Arbeitsgruppe „Gebietseigene Gehölze“, wurde 2012 ein BMU-Leitfaden zur Verwendung gebietseigener Gehölze herausgegeben. Hier wird für Ausschreibungen die bundesweite Verwendung von mindestens sechs Gehölzherkunftsregionen, basierend auf den Untersuchungen von SCHMIDT & KRAUSE (1997), empfohlen (vgl. Abb. 62). Für Arten, die dem FoVG unterliegen, können - je nach Einzelfall - auch die Herkunftsgebiete des FoVG übernommen werden. Zudem sollten, wenn aus naturschutzfachlichen Gründen höhere Anforderungen an eine größere Differenzierung notwendig sind, auf die bereits bestehenden Länderregelungen zur Verwendung von gebietseigenen Gehölzen zurückgegriffen werden. In Baden-Württemberg (vgl. BREUNING et al. 2002), Bayern, Brandenburg existieren darüber hinausgehende Listen von Gehölzarten, die für Pflanzungen in der freien Landschaft geeignet sind (BMU 2012).

Laut BMU-Leitfaden dürfen an Verkehrswegen in keinem Fall gebietsfremde invasive Gehölze verwendet werden. Wenn in unmittelbarer Nähe besonders schutzwürdige Bestände derselben Art stehen, sollten gebietsfremde Herkünfte nicht verwendet werden. Grundsätzlich sollte, auch bei Straßenbegleitgrün, von der Pflanzung gebietsfremder Herkünfte bei angrenzenden naturschutzrechtlich geschützten Gebieten (Natura-2000-Gebiete, Naturschutzgebiete) abgesehen werden. In besonderen Fällen, wie in unmittelbarer Nähe zur Straße, ist die Verwendung gebietsfremder Herkünfte auch ohne Genehmigung zulässig (ebd.).

Die Verwendung von regionalen Kräuter- und Gräsersaatgutmischungen unterliegt der am 06.12.2011 in Kraft getretenen Erhaltungsmischungsverordnung (ErMiV). Auf Grundlage der ErMiV wird für die Vermarktung von standortbezogenen Saatgutmischungen nach 22 Herkunftsgebieten unterschieden (vgl. BMELV 2011).

Saatgutproduzenten ist es ab jetzt möglich, gesetzlich kontrollierte Erhaltungsmischungen für bestimmte Pflanzengesellschaften (ohne Gehölzbestände) innerhalb der 22 Herkunftsgebiete in den Verkehr zu bringen (vgl. ebd.).

Wie bereits im Kapitel 4.3 erwähnt, können Pioniergehölze neben Ammengräsern und -kräutern, die nicht in der Schlussvegetation vorkommen, als Initialzünder zur raschen Begrünung des Böschungsstandortes eingesetzt werden. Solche Gehölze, wie *Betula pendula* oder *Alnus glutinosa,* sollen das Wachstum der eigentlichen Zielvegetation ermöglichen oder fördern (SCHLÜTER 1996).

Da es bei der Auswahl von für ein bestimmtes Gebüsch charakteristischen Gehölzen durch Verfügbarkeitsprobleme mit herkunftstreuem Saatgut aufgrund der neu eingeführten Erhaltungsmischungsverordnung Engpässe geben kann, können laut FRENZ (2009) andere gebietseigene, aber in diesem Gebüsch natürlicherweise fremde Arten mit ähnlichen Standorteigenschaften Verwendung finden. Solche sog. „Gastholzarten“ (ebd.) sind standortmögliche Pioniergehölze, wie *Salix*-Arten, die beispielweise eine schnelle

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Vorsicherung erfüllen können (ebd.). Bei der Ausbringung von Pioniergehölzen, wie dem Sanddorn, kann diesem Vorschlag Folge geleistet werden, da diese Arten im Zuge der Sukzession verdrängt werden und sich die eigentliche Gebüschgesellschaft mit der für sie charakteristischen Artenzusammensetzung einstellt (SPETHMANN 2010). Laut LÖSKEN (2013) ist jedoch noch zu prüfen, inwieweit angrenzende Straßen durch die starke Ausläuferbildung des Sanddorns geschädigt werden.

Auf für die Verwendung von zwar gebietseigenen, aber gesellschaftsfremden und konkurrenzstarken Arten der K-Strategie sollte aus naturschutzfachlichen Gründen verzichtet werden, da ansonsten die Gefahr einer Verfälschung der für eine gebietstypische Gebüschgesellschaft charakteristischen Arten bestehen kann. Nur wenn ohne die gesellschaftsfremden, aber gebietseigenen Arten die langfristige Standsicherheit der Straßenböschung nicht erreicht werden kann, ist eine Einbringung dieser Arten gerechtfertigt, um der Straßenverkehrssicherungspflicht nachzukommen.

Klimatische Veränderungen sind bei der Begrünungspraxis bereits seit geraumer Zeit deutlich wahrnehmbar. „Während Herbst- und Winteransaaten früher eher die Ausnahme waren, sind sie aufgrund der verbreitet milden Temperaturen inzwischen Routine. Die Tendenz zu trockenen Sommern schränkt das Zeitfenster für Begrünungen während der Vegetationsperiode hingegen immer mehr ein, und die verstärkte Neigung zu extremen Niederschlägen ist anhand zunehmender Erosionsschäden schon jetzt spürbar“ (BLOEMER 2008).

Der durch die Klimaveränderung bedingten Zunahme der Erosionsgefahr durch intensivere Niederschläge kann durch Verkürzung der Hanglänge z. B. mittels Terrassierung und bei stärkeren Hangneigungen durch zusätzlich stabilisierende Sicherungsmaßnahmen entgegen gewirkt werden. Ein weiterer wichtiger Punkt zur Unterstützung der Vegetationsentwicklung ist die Herstellung von lockeren, hangparallel strukturierten und mikroreliefreichen Oberflächen zur Erhöhung der Wasseraufnahme- und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens. Zudem können durch sorgfältige und standortgerechte vielfältige Artenwahl des Saatgutes und der Komponenten die Folgen klimatischer Auswirkungen auf das Begrünungsergebnis zumindest abgepuffert und teilweise kompensiert werden (vgl. ebd.).

In diesem Sinne wäre auf von starken klimatischen Veränderungen betroffenen Standorten eine Einbringung von funktionellem Zusatzsaatgut, welches neben Ammensaatgut für die Zwischenbegrünung auch standortgerechte gebietsfremde Pioniergehölzarten mit dem Ziel der Standortverbesserung enthalten kann, angebracht. So könnten beispielsweise - wie bereits erwähnt - Rohbodenpioniere wie Birken, Sanddorn und Weidenarten zur Entwicklung einer Humusschicht, zur Beschattung und zum Schutz vor Erosion durch Wind und Wasser eingesetzt werden. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass die nachfolgenden Arten die Pionierarten in späteren Sukzessionsstadien voll-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

kommen verdrängen bzw. dies durch geeignete Pflegemaßnahmen sichergestellt werden muss, damit letzten Endes die gebietstypische Zielvegetation auch erreicht wird (vgl. LORENZ 2006).

Auf sehr extremen Standorten könnten Zwischenbegrünungen für die Initialzündung und zur Standortverbesserung auch biotechnisch wirksame (meso-) mediterrane Arten der Macchien- und Garrigen-Gesellschaften, wie *Acer monspessulanum, Arbutus unedo, Cistus salvifolius, Erica*-Arten, *Juniperus*-Arten, *Lonicera*-Arten*, Rhamnus alaternus, Rosa*-Arten, *Rosmarinus officinalis, Rubus*-Arten und *Viburnum tinus* enthalten (vgl. HACKER & WERPUP 2006; WERPUP 2006). Diese Arten sollten allerdings nur Verwendung finden, wenn mitteleuropäische Arten auf dem Standort aufgrund der extremen Bedingungen nicht mehr Fuß fassen könnten.

Bei der Einbringung von mediterranen Macchien-Arten ist allerdings auch damit zu rechnen, dass sich an dieser Böschung eine gebietsfremde, aber standortgerechte Gebüschgesellschaft, welche naturschutzfachlich nicht tragbar ist, etabliert.

Eine bessere Methode, um sich auf die klimatisch verändernden Standortbedingungen einzustellen, wäre das gezielte Einbringen von Saatgut gleicher Arten aus anderen, dem zukünftigen Klima angepassten Provenienzen wie z. B. *Ligustrum vulgare, Acer-, Cornus-*, *Prunus-, Rosa-* oder *Sorbus*-Arten aus klimaanalogen Gebieten aus dem mediterranen Raum.

Beide Ideen liegen allerdings im krassen Gegensatz zum Bestreben des Naturschutzes, Florenverfälschungen zu vermeiden, und können aus diesem Grund in der freien Landschaft nicht umgesetzt werden. Zudem lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, dass und vor allem wann die Klimaszenarien so eintreffen, wie sie beschrieben werden, zumal auch beim Eintreffen dieser Szenarien mit Auswinterungsverlusten zu rechnen ist.

4.4.2 Keimungseigenschaften

Im Folgenden geht es zunächst darum zu klären, ob die Verwendung von stratifiziertem Saatgut zur beschleunigten Entwicklung des Gehölzbestands bei Gehölzansaaten - basierend auf Erfahrungen aus der Praxis - sinnvoll erscheint. Bislang wurde größtenteils unstratifiziertes Saatgut bei Gehölzansaaten verwendet und damit lange Keimungsverzögerungen in Kauf genommen.

Beim Vorgang der Stratifikation wird in eine kurz- und eine langfristige Stratifizierung unterschieden. „Kurzfristig“ bedeutet in diesem Zusammenhang die feuchte Lagerung der Samen zwischen Ernte und Aussaat. Hierbei werden die über den Winter in der freien Natur (kalt-warmen bzw. warm-kalten) oder die im Verdauungstrakt von Tieren herrschenden (warm-nassen) Bedingungen nachgeahmt. Da die gleichen Witterungsbedingungen nicht für jede Art optimale Voraussetzungen zum Keimungsbeginn bieten, ist der Ausfall oder das Überliegen einiger Arten innerhalb einer Ansaatmischung vorpro-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

grammiert. Welche Arten das im Einzelnen sind, kann nicht vorab ermittelt werden, da die Witterungsbedingungen auf einem Standort im Winter stark variieren können. Dementsprechend gilt: Je mehr verschiedene standortgerechte und gebietseigene Arten eine Ansaatmischung enthält, desto größer fällt der Begrünungserfolg aus.

Bei der langfristigen Stratifikation wird bei der längeren Lagerung dem Samen Feuchtigkeit entzogen, was bei vielen Arten eine Keimhemmung auslöst. Um diese aufzuheben, muss das Saatgut von einigen Arten vor der Keimung mittels Wasser aufquellen bzw. einer Kalt-Nassen- oder einer Warm-Nassen-Behandlung unterzogen werden (vgl. BÄRTELS 1996, 2008; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000). Problematisch ist hierbei, dass beim Vorquellen die Samenschale aufgeweicht und der Samen somit leicht verletzlich wird. Zudem neigt das stratifizierte Saatgut dazu, bei anhaltender Trockenheit nach der Ansaat auszutrocknen. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass das Saatgut bereits vor der Ausbringung zu keimen beginnt und bei maschineller Ausbringung des Saatgutes, wie bei einer Gehölzansaat, die Keimwurzel abbricht. Verletzte Samen und Samen mit abgebrochener Keimwurzel keimen kein weiteres Mal, was zu großen Artenausfällen im Bestand führen könnte (vgl. SIEGMÜLLER 1989; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000). Auf die Verwendung von langfristig stratifiziertem Saatgut sollte also bei maschinellen Gehölzansaaten wie der Nassansaat möglichst verzichtet werden.

Für die Verwendung von stratifiziertem Saatgut bei Gehölzansaaten spricht vor allem die durch die direkte Keimung bedingte schnelle Begrünung und Sicherung der Böschung.

Unstratifiziertes Saatgut neigt dazu, mehrere Jahre zu überliegen und macht die Aufbringung einer Zwischenansaat erforderlich. Ein weiterer Nachteil sind die möglichen Fraßschäden durch Vögel und Nagetiere, die bei überliegendem Saatgut standortbedingt sehr hoch sein können.

Bei für die Keimung vorherrschenden ungünstigen Witterungsbedingungen kann ein Überliegen von unbehandeltem Saatgut auch von Vorteil sein, da so Keimungsverluste kompensiert werden können (KAUSCH 2010).

Stratifiziertem Saatgut werden zwar höhere Keimungsraten nachgesagt, was daran liegen könnte, dass bei unbehandeltem Saatgut bereits vor der Keimung durch den Einfluss der Standortbedingungen eine natürliche Selektion stattfindet, aber die Keim- und Sämlinge sind anscheinend empfindlicher. Die vom unstratifizierten Saatgut gekeimten Individuen und die Arten sind dafür perfekt an den Standort angepasst und entwickeln sich weiter (OBERNOLTE 2010).

ENGELHARD (2010) führte Ansaaten mit stratifiziertem und unstratifiziertem Saatgut mit nahezu gleichen Begrünungsergebnissen bei der Keimung und mit Ausfällen einiger Arten durch. Im Vergleich zu stratifiziertem Saatgut erfolgt die Begrünung durch unstratifiziertes Saatgut lediglich 1 - 2 Jahre verzögert, weshalb hier eine Zwischenbegrünung mit Getreide durchgeführt wurde (ENGELHARD 2010).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die langsame Begrünung einer Verkehrswegeböschung bei der Verwendung von unstratifiziertem Saatgut wird allerdings auch als ein Grund dafür angesehen, warum sich die Gehölzansaat in der Praxis nicht gegenüber der Pflanzung durchsetzen konnte.

Nachteile von stratifiziertem Saatgut sind der eingeschränkte Ausbringungszeitraum - im Frühjahr - und die stark begrenzte Lagerfähigkeit, die eine damit verbundene langfristige Vorplanung bei der Verfügbarkeit von Saatgut mit sich bringt. Daher scheint eine Verwendung von stratifiziertem Saatgut in der Praxis als zu aufwendig (ENGELHARD 2010; OBERNOLTE 2010). Zudem wird bislang in den Projekt-Ausschreibungen die Verwendung von stratifiziertem Saatgut nicht vorgeschrieben (BRÜCKNER 2010; BLOEMER 2010). Aus diesem Grund sollte bei großen Straßenbauprojekten der Bedarf an kurzfristig stratifiziertem Saatgut zu einem bestimmten Zeitpunkt von vornherein mit in die Ausschreibung genommen werden.

Nach sorgfältiger Abwägung der Vor- und Nachteile lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die Verwendung von vorbehandeltem Saatgut ziehen: Im Frühjahr sollte generell die Verwendung von kurzfristig stratifiziertem Saatgut, dem unbehandelten Saatgut, vorgezogen werden. Sommer und Winter sind für die Gehölzansaat eher ungünstige Jahreszeiten, hier sollte unstratifiziertes, lagerfähig gemachtes Saatgut verwendet werden, welches dann überliegt (OBERNOLTE 2010). Im Herbst ist unstratifiziertes, frisches Gehölzsaatgut vorzuziehen, welches dann natürlicherweise auf dem Böschungsstandort stratifiziert wird und im darauf folgenden Frühjahr keimt. In der Praxis wurden hierbei gute Begrünungsergebnisse erzielt (BLOEMER 2010).

Artspezifische Unterschiede in der Saatgutvorbehandlung mit Empfehlungen und Lösungsansätzen bei der Verwendung des Saatgutes zur Begrünung und Sicherung von Verkehrswegeböschungen befinden sich in Tab. 46 im Anhang (vgl. RAS-LG 3 1983).

Die für die Keimung bei den meisten Gehölzarten bestehenden Standortansprüche werden auf dem oberbodenlosen Boden durch die Mulchschicht etc. hergestellt. Die Mulchschicht als Humusersatz dient so als Schutz vor Strahlung und Frösten sowie als Nährstoff- und Wasserspeicher.

Für Ansaaten im Sommer und Herbst besteht zudem die Möglichkeit, eine kurzfristige, bis zum Winter bestehende Zwischenbegrünung mit *Phacelia tanacetifolia* (Büschelschön) aufzubringen. Das Büschelschön ist nicht winterhart und wird von der Landwirtschaft, im Weinbau und von Baumschulen als Zwischenbegrünung zur Bodenverbesserung eingesetzt. Die im Winter abgestorbenen Pflanzenteile bieten ideale Keimungsbedingungen für Gehölze (BÄRTELS 2008). Bei der Verwendung von unstratifiziertem Saatgut werden in der Praxis krautige Arten und Gräser - vor allem Getreide -, die entweder auf Rohböden konkurrenzschwach oder einjährig sind, als Zwischenbegrünung eingesetzt (vgl. SCHLÜTER 1996; STOLLE 2000; BLOEMER 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Betula- und *Salix*-Arten werden in den Ansaatmischungen zur Böschungsbegrünung in der Regel nicht verwendet, da sie Lichtkeimer sind und unter einer dicken Mulchschicht nicht zu keimen vermögen, zudem gelangen sie relativ leicht durch Anflug auf die Böschung. Des Weiteren haben die *Salix*-Samen eine relativ kurze Lebensdauer (max. 10 Tage), welche die Aufbewahrungsmöglichkeiten des Saatgutes stark einschränkt. Eine weitere lichtkeimende Art ist *Cytisus scoparius.* Auf den Besenginster kann als Kennart des *Rubo plicati-Sarothamnetum* allerdings schwerlich verzichtet werden (vgl. Kap. 4.3). Das Saatgut von *Cytisus scoparius* sollte nach der Ernte im Herbst nicht austrocken, da der Samen sonst hartschalig wird. Eine Aussaat mit bei 95° C erhitztem und vorgequelltem Samen sollte im späten Frühjahr oder Sommer erfolgen, da eine Keimtemperatur von etwa 20° C benötigt wird (vgl. Tab. 46; ROHDE 1985; BÄRTELS 1996; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000).

Auch die Verwendung von *Amelanchier-, Prunus- und Sorbus-* Arten sowie *Carpinus betulus, Malus sylvestris* und *Pyrus communis* ist kompliziert, da diese Arten mehreren verschiedenen Keimhemmungen unterliegen. Gerade bei Obst-Arten kommt es leicht zu einer Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen. Problematisch auf bestimmten Standorten sind auch spätfrostgefährdete Arten wie *Acer* sp.*, Alnus* sp.*, Carpinus betulus, Sambucus* sp. und *Tilia* sp. (vgl. ebd.).

Für *Berberis vulgaris* bestand jahrzehntelang ein Anbau- und Ausbringungsverbot, da diese Art ein Zwischenwirt für den Getreiderost ist. *Crataegus*-Arten haben ein sehr hohes Feuerbrand-Risiko, aus diesem Grund muss die Verwendung von Berberitzen und Weißdorne in einer Ansaatmischung in gefährdeten Getreide- bzw. Obstanbaugebieten sorgfältig abgewogen werden.

Weitere biotechnisch wirksame Arten, wie *Corylus avellana,* können aufgrund ihrer Samengröße nicht maschinell mit dem Hydroseeder auf die Böschung gebracht werden.

Rubus-Arten siedeln sich, wie bereits erwähnt, im Laufe der natürlichen Sukzession auf Rohböden relativ schnell an und werden aufgrund dieser Eigenschaft in der Regel nicht zur Erstbegrünung von Verkehrswegeböschungen verwendet. Zudem verfügen *Rubus*- und viele *Rosa*-Arten durch die Bildung von Ausläufern über die biotechnische Eigenschaft, sich eine Böschung auch vegetativ von benachbarten Standorten zu erschließen (vgl. WEBER 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.5 Auswahl der am besten geeigneten Ansaattechnik

Die Auswahl der geeigneten Ansaattechnik hängt insbesondere von der Beschaffenheit der Ansaatfläche und den Ansprüchen der zu etablierenden Zielvegetation an den Standort ab. Durch den Einsatz von Hilfsstoffen können für die Zielvegetation auf oberbodenlosen Böschungen optimale Keimungs- und Wuchsbedingungen geschaffen und die Stabilität der Verkehrswegeböschung bis zur Sicherung durch den Bewuchs erreicht werden.

Laut der aktuell geltenden RAS-LG 3 und DIN 18918 über Lebendverbau bzw. Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen eignen sich Gehölzansaaten für Standorte wie oberbodenlose Böschungen über Lockergestein, auf klüftigem Fels und Block-, Schutt- und Geröllhalden, auf denen eine Pflanzung nur unter erheblichen Schwierigkeiten durchgeführt werden kann. Von solchen Standortbedingungen an Verkehrswegeböschungen wird zunächst ausgegangen, um dann im Folgenden eine geeignete Ansaattechnik für die Gehölzansaat auszuwählen.

Um oberbodenlose Verkehrswegeböschungen erfolgreich zu begrünen, müssen Ansaattechniken gewählt werden, welche:

- eine großflächige Ausbringung von Saatgut ermöglichen,
- dem Saatgut einen Schutz vor Abschwemmung, Abwehung sowie Steinschlag und Austrocknung bieten,
- Oberflächenerosion verhindern und
- Böschungsstabilität zum Erhalt der Verkehrssicherheit gewährleisten (vgl. Neef 1976; FGSV 1983; Stalljann 2000).

Zudem sollen sie den vielfältigen Ansprüchen an Funktion und Wirkung einer Straßenböschungsbegrünung von Beginn an gerecht werden (vgl. Kap. 1, 2).

Im Folgenden werden die in der Praxis bekannten Ansaattechniken von Gehölzen dargestellt und die für die Begrünung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen am besten geeignete ermittelt.

4.5.1 Trockensaat

Die Trockensaat kann als Vollsaat (Breitsaat), Rillensaat und Lochsaat (Plätzesaat) ausgebracht werden.

Die Vollsaat ist für Gehölzsaatgut kleiner Korngrößen geeignet, da die Ausbringung auch maschinell erfolgen kann. In der Regel wird die Vollsaat auf gewöhnlichen, nicht übermäßig ungünstigen Standorten angewendet. Für extreme Standorte, wie steile Verkehrswegeböschungen, ist sie daher weniger geeignet.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Gehölze mit größeren Samen können mittels Rillensaat oder Lochsaat ausgebracht werden, wobei die Rillensaat der großflächigen und die Lochsaat der punktuellen Begrünung dient. Die Rillensaat hat den Nachteil, dass die Keimung der Pflanzen auf die Rillen begrenzt ist. Dadurch kommt es zu Konkurrenzsituationen zwischen den einzelnen Gehölzkeimlingen und führt zu einer unnatürlich heterogen wirkenden Bestandsentwicklung in Rillen (vgl. SCHIECHTL 1973; SCHLÜTER 1996; FLORINETH 2004; ZEH 2007).

4.5.2 Saat mit Lehmbrei

Die Saat mit Lehmbrei gilt als Vorläufer der Nassansaat und kann im Gegensatz zur Nassansaat punktuell und zur Etablierung von Gehölzarten mit größeren Samen eingesetzt werden. Hierbei werden Saatgut, Torf, feiner Lehm, Dünger und Wasser wie Mörtel zu einem dünnflüssigen Brei gemischt und mit Kelle aufgetragen (SCHIECHTL 1973; vgl. Abb. 5).

Im Ingenieurbiologie-Bautypen-Handbuch werden als Anwendungsbereiche klüftiger Fels, felsige Steinböschungen, Trockenmauern, Pflaster und windexponierte Flächen für die Berasung, Bebuschung und Bewaldung angegeben (ZEH 2007).

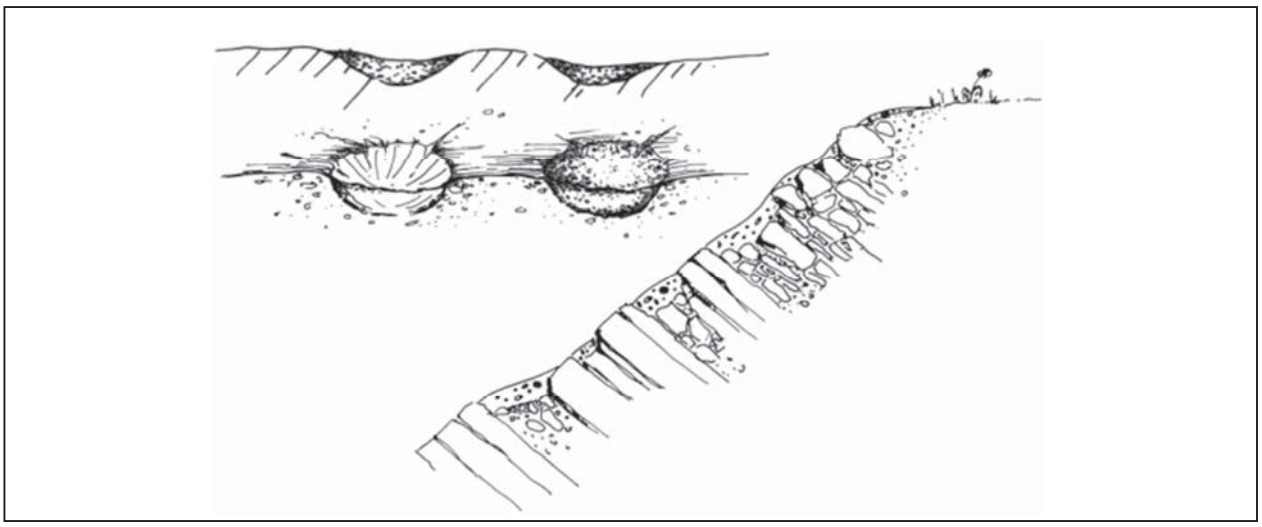


Abb. 5: Saat mit Lehmbrei (ZEH 2007).

4.5.3 Nassansaat

Die Hydrosaat eignet sich am besten zur Begrünung von steilen und glatten Rohbodenböschungen. Aus diesem Grund sollen gemäß DIN 18918 Gehölzansaaten im Regelfall als Nassansaat erfolgen (vgl. FLORINETH 2004; ZEH 2007).

Alle in dieser Dissertation untersuchten Verkehrswegeböschungen wurden mittels dieser Technik begrünt.

Das wässrige Nassansaat-Gemisch wird mittels Spezialfahrzeug (Hydroseeder) mit Hochdruckkanonen auf die zu begrünende Rohbodenböschung gespritzt. Ein Rührwerk

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

im Mischungstank des Hydroseeders verhindert ein Absetzen schwerer Komponenten, so dass auf der ganzen Fläche eine homogene Suspension aufgebracht wird. In einem zweiten Arbeitsgang wird - wenn es die Standortbedingungen erforderlich machen - gehäckseltes Stroh als zusätzliche Mulchschicht auf die Böschung geblasen (vgl. Abb. 6; SCHLIERER 1984; STALLJANN 2000; BLOEMER 2003; KIRMER et al. 2006).

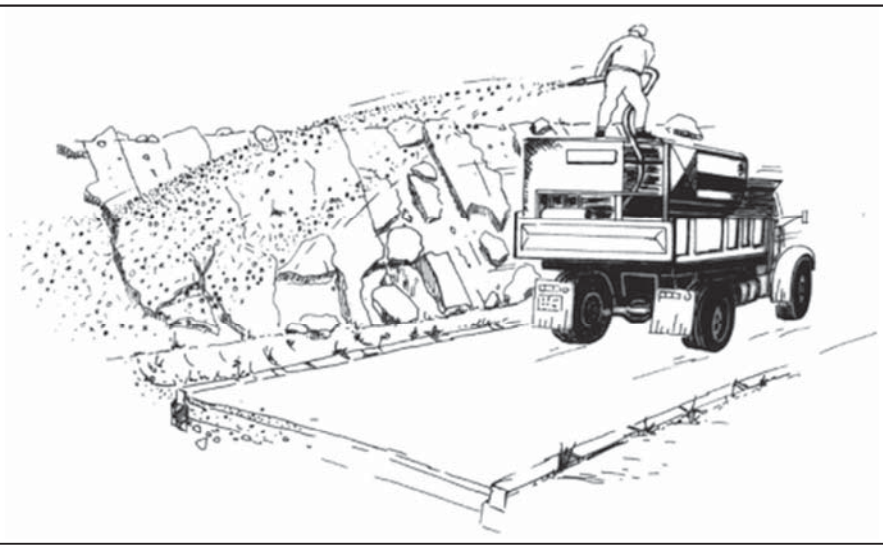


Abb. 6: Gehölz-Hydrosaat (ZEH 2007).

Je nach Größe der einzelnen Mulchstoffe können diese inzwischen auch bereits zusammen mit dem Ansaatgemisch auf die Böschung gebracht werden. Um für die Gehölzsamen günstige Keim- und Wuchsbedingungen zu schaffen und sie vor Abtrag durch Regen und Wind sowie vor Austrocknung zu schützen, müssen dem Sprühgemisch aus Saatgut und Wasser sog. „Zuschlagstoffe“ (FGSV 1983) beigemengt werden. Unter diesem Begriff verbergen sich chemische Binde- und Haftmittel (Kleber), Bodenaktivierungsmittel (Kolloide), wasserlösliche mineralische Dünger (Startdünger), organische mineralische Düngemittel (Vorrats- oder Langzeitdünger), wasserspeichernde Stoffe (z. T. Mulchstoffe). Je extremer die Standortbedingungen der zu begrünenden Böschung sind, desto mehr Zuschlagstoffe müssen in der Regel verwendet werden (vgl. ebd.; SCHLIERER 1984; ZEH 2007).

STALLJANN (2000) und BLOEMER (2003) geben in Fachartikeln durchschnittliche Aufwandmengen der Zuschlagstoffe nach Standorteigenschaften an.

Laut ZTV La-StB soll für Flächen, die der Sonne und dem Wind besonders stark ausgesetzt sind, sowie für im Sommer begrünte Flächen Mulchen mit Stroh vorgesehen werden. Zudem ist in den zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen vermerkt, dass abweichend von DIN 18918 auf Gehölzansaatflächen keine Rasengräser ausgesät werden dürfen (BMVBS 2005). Diese Vorgabe ist sinnvoll, da Gräser für Gehölze in Hinblick auf die schnellere Keimung eine zu große Konkurrenz darstellen. Aus diesem Grund empfehlen mehrere Fachleute mit Praxiserfahrung eine Beisaat mit geringen Mengen an

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Wildkräutern, leguminosenreichen Zwischenfruchtmischungen und annuellen Ammengräsern (vgl. NEEF 1976; SCHLIERER 1984; BRÜCKNER 1995; BLOEMER 2003).

Bei einigen Rohböden bietet es sich zudem an, zur Förderung des Wachstums einiger Gehölzgattungen wie *Acer, Alnus*, *Corylus, Crataegus, Prunus, Pyrus*, *Sorbus* und *Tilia*, eine Impfung mit Bakterien- und Mykorrhiza-Kulturen durchzuführen (vgl. MEYER 1978; SCHLÜTER 1996; TSCHIRNER 2003; ZEH 2007). Laut MEYER (1978) ist die Gattung *Carpinus* obligat mykotroph. Bei der Verwendung von *Carpinus betulus*-Saatgut ist demnach eine Bodenimpfung bei der Ansaat zwingend notwendig.

MOESCH (1985) und SCHLÜTER (1996) stellen mehrere Ansaatverfahren mit verschiedenen Zuschlagstoffen vor. Die für die Nassansaat wichtigsten Zuschlagstoffe als Begrünungshilfsmittel sind u. a. Agrosil (reversibel kolloidales Natriumsilikat) Alginure (Natriumalginat), Bitumen (Erdölrückstand aus hochmolekularen Kohlenwasserstoffen) und Curasol/ Compofix (Kunststoffemulsionen) (vgl. MOESCH 1985; SCHLÜTER 1996). In der RAS-LG 3 werden als Bindemittel ebenfalls Bitumenemulsion und polymere organische Dispersionen geführt. Als Bodenaktivierungsmittel sind Alginate und Silikatkolloide angegeben (vgl. FGSV 1983).

Mögliche Bodenverbesserungsmittel für oberbodenlose Gehölzansaaten sind kohlensaurer staubförmiger Kalk und Basaltmehl zur Erhöhung des pH-Wertes. Torf kann zur Erhöhung von organischer Substanz sowie zur Reduzierung des pH-Wertes verwendet werden. Der Nachteil von Torf ist, dass er bei Austrocknung hydrophob wird. Quarzsand kann bei stark bindigen Böden zur Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit verwendet werden. Betonit dient der Steigerung des Wasser- und Nährstoffbindevermögens. Auch Alginate erhöhen das Wasser- und Nährstoffbindevermögen sowie die organische Substanz (HACKER & JOHANNSEN 2012). Nach SCHLÜTER (2000) kommen als Bodenverbesserer für eine Nassansaat Alginate, Alginat-Tonmineralien-Gemische, Alkalisilikate sowie Produkte aus toter bakterieller oder pilzlicher Biomasse (Restprodukte aus der Penicillinherstellung) infrage.

Als Kleber geben HACKER & JOHANNSEN (2012) Bitumenemulsionen, chemische Bindemittel auf Polybutadienbasis, Alginate und Methylzellolose an. Im Merkblatt für einfache landschaftsgerechte Sicherungsbauweisen ist vermerkt, dass biochemische Bindemittel sowie synthetische Haft- und Klebstoffe, die der Oberflächensicherung dienen, in biologischer und physiologischer Hinsicht unbedenklich sein müssen. Alginate und Kunststoffemulsionen sind hier als unbedenklich eingestuft (FGSV 1991). Bitumenemulsionen auf Erdölbasis sollten aus bodenbiologischen, mikroklimatischen sowie landschaftsästhetischen Gründen in der heutigen Begrünungspraxis auch keine Verwendung mehr finden (SCHLÜTER 2000; BLOEMER 2003). STALLJAHN (2000) und BLOEMER (2003) geben daher als für die Nassansaat geeigneten organischen Bodenfestiger Kleber auf Polybutadienbasis sowie Natriumalginate und Zuckerphosphoramide als Bodenhilfsstoffe an.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Neben genauen standortbezogenen Rezepturen macht BLOEMER (2003) Vorschläge zur Verbesserung der Richtwerte und Aufwandmengen (vgl. Abb. 7), welche laut DIN 18918 für Nassansaaten vorgegeben sind. Demnach besteht bei der DIN 18918 ebenso wie bei der RAS-LG 3 dringender Überarbeitungsbedarf.

Bodenart	Bodengruppe (DIN 18915)[3]	Komponenten – Aufwandmengen (g/m²) für optimierte Rezepturen bei Nassansaaten							
		Saatgut[4]	Startdünger (Beispiel 12-12-17-2)	organ. Langzeitdünger (Beispiel: auf Basis mikrobieller Pilz-Biomasse)	Bodenverbesserungsstoff (Beispiel: Zuckerphosphoramid/Bentonitmehl)	Feinfasermulch (Zellulose)	Erosionsschutzfaser (Holzfaser)	Grobfasermulch (Strohhäcksel)	Kleber (Beispiel: Polybutadienbasis)
Humoser Oberboden[1] Ah- und Ap Horizonte	1	15	0–30	50–100	0/0–50	30–50	30	0–100	15
tonig (Korngröße Ton: < 0,002 mm; zähplastisch, klebrig)[2]	8, 9	20	50	150–200	50/50	80	30	250–300	20
schluffig (Korngröße Schluff: 0,002–0,063 mm; mehlig, nicht bis schwach bindig)[2]	4	15–20	30–50	150–200	50–100/0–50	60	40	250	20–25
sandig (Korngröße Sand: 0,063 –2,0 mm; Einzelkorngefüge)[2]	2	20–25	0–30	250–300	100–125/100–150	80–100	30	300–350	20–25
lehmig (Sand-Ton-Schluff-Gemenge; meist gut bindig)[2]	6, 7, 8	15–20	30–50	150–200	50–100/100	60	40	250	20–25
grusig (Korngröße Grus: 2–63 mm; kantige Formen)[2]	3, 5	25–30	0–30	300–400	150/125–200	100	30	300–400	25
kiesig (Korngröße Kies: 2–63 mm; runde Formen)[2]	3, 5	25–30	0–30	300–400	150/125–200	100	30	300–400	25
steinig (Korngröße: 63–200 mm)[2]	3, 5, 7, 9	25–30	0–30	300–400	150/125–200	100–125	30	300–400	25
Blöcke/Fels (Korngröße: > 200 mm)[2, 5]	10	30	0–30	300–400	150/150–250	125–150	30	400–500	25

Abb. 7: Standortbezogene Rezepturen bei Nassansaaten von Landschaftsrasen (BLOEMER 2003).

Die Abb. 7 stellt standortbezogene Rezepturen, die bei Nassansaaten von Landschaftsrasen verwendet werden, dar. Bei einer Gehölzansaat muss bedacht werden, dass Gehölze z. T. andere Ansprüche an den Standort stellen als Gräser und Kräuter (vgl. Kap. 4.1, 4.2). Da Keimung und Entwicklung von Gehölzen im Vergleich zu Gräsern und Kräutern deutlich langsamer ist, muss beispielsweise viel weniger Startdünger und mehr

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Langzeitdünger verwendet werden. Aus dem gleichen Grund ist humoser Oberboden und bindiger Rohboden für die Gehölzansaat ungeeignet und ein gleichzeitiger Einsatz von Rasen- und Gehölzansaaten ausgeschlossen (ebd.).

Durchschnittlicher Aufwandmengen-Zuschlag in % für besondere Standorteigenschaften					
Hang-neigung	Rezepturkomponente	Oberfläche rau, unebenes Mikrorelief (reduzierter Oberflächen-abfluss)	Oberfläche glatt abgezogen, ebenes Mikrorelief (erhöhter Oberflächen-abfluss)	Sommeransaat (Monate 6 - 8), Winteransaat (Monate 11 - 2) (Verzögerung von Auflauf und Entwicklung)	Exposition Süd, Südwest, Südost
1 : 3 bis 1 : 2	Saatgut	10	15	10	0
	Feinfasermulch	10	20	15	10
	Erosionsschutzfasern	0	15	10	0
	Kleber	10	15	10	5
1 : 2 bis 1 : 1	Saatgut	20	25	20	0
	Feinfasermulch	20	30	25	10
	Erosionsschutzfasern	15	25	15	0
	Kleber	15	25	15	10
> 1 : 1	Saatgut	30	50	30	0
	Feinfasermulch	30	60	50	0
	Erosionsschutzfasern	25	30	25	0
	Kleber	25	40	25	0

Abb. 8: Aufwandmengenzuschlag bei Landschaftsrasen- und Gehölzansaaten für besondere Standortverhältnisse (eigene Darstellung; verändert nach Bloemer 2003).

Bei einer sonnenseitig exponierten Böschung, je nach Hangneigung, ist zum Teil mit hohen Strahlungswerten zu rechnen (vgl. Kap. 4.2.1). Von daher sollte dieser Aspekt aus Sicht der Verfasserin in der Berechnung von Aufwandmengenzuschlägen von Feinfasermulch, Erosionsschutzfasern und Kleber besondere Berücksichtigung finden (vgl. Abb. 8). Die zusätzlich eingefügten Aufwandmengen für die Exposition sind lediglich geschätzt und müssten innerhalb von Begrünungsversuchen überprüft werden. Nachdem nun in diesem Kapitel alle Einflussfaktoren auf den Begrünungserfolg von Gehölzansaaten weitestgehend erläutert worden sind, werden im Folgenden die die Böschungsstabilität betreffenden Parameter näher untersucht.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.6 Ermittlung der die Böschungsstabilität fördernden Faktoren

4.6.1 Wurzelentwicklung von Gehölzen auf unterschiedlichen Standorten

Die Berücksichtigung der erosionsmindernden und stabilisierenden Wirkung von Wurzeln im Boden zur Ermittlung der Böschungssicherheit dient der weiteren Beantwortung von Fragestellung 6, welche sich mit der Wurzelentwicklung und -verzahnung von angesäten Gehölzbeständen auf unterschiedlichen Böschungsstandorten befasst. Die Auswertung der Fachliteratur ergab, dass, um Aussagen zur Wurzelentwicklung und von Gebüschen in Böschungslagen machen zu können, folgende Aspekte näher untersucht werden müssen:

- Sicherungstechnische Funktionen von Gehölzwurzeln (Bodenverzahnung)
- Genetische Wurzelsystemausprägungen verschiedener Arten (Wurzeltypen)
- Entwicklungsstadien der Wurzeltypenausbildung (Alter der Pflanze)
- Standortbezogene Wurzelausprägungen
- Wurzelentwicklung und -verzahnung innerhalb eines Gehölzbestands

Seit langer Zeit ist bekannt, dass Gehölzbestände mit ihrem tief in den Boden verankerten Wurzeln maßgeblich zur Standsicherheit von Hängen und Böschungen, vor allem an Verkehrswegen und im Siedlungsbereich, beitragen. Zum Erhalt dieser den Boden schützenden Waldbestände sind ab der Mitte des 19. Jahrhunderts in zahlreichen europäischen Ländern Schutzgesetze erlassen worden (PFLUG 1985a). KRUEDENER (1950, 1951) beispielsweise zählt zu einem der Ersten, die die Funktionen des Wurzelsystems als Bodenfestiger genauer beschrieben haben; von ihm wurde der Begriff „unterirdischer Wald“ (KRUEDENER 1950) geprägt.

Um eine Böschungsbegrünung auf einem Extremstandort mittels stabiler Wurzelverzahnung der Gehölze untereinander erfolgreich etablieren zu können, müssen mehrere Aspekte Berücksichtigung finden. Die am besten geeignete Begrünungsmethode für diesen Zweck ist die Ansaat, denn nur von Entwicklungsbeginn an passen sich die Wurzeln einer Pflanze optimal dem Standort und den vorherrschenden Umweltbedingungen an. Die Anpassung der Wurzeln und auch der oberirdischen Triebe geschieht durch Formveränderungen im Laufe ihrer Entwicklung. An Böschungen bilden Gehölze entsprechende Wurzeln aus, um die obere Bodenschicht und den Untergrund miteinander zu verzahnen und sich an der Böschung zu halten. So müssen hangaufwärts wachsende Wurzeln bei Böschungsbewegungen auf Streckbelastungen (Zugkräfte) und hangabwärts wachsende Wurzeln auf Stauchbelastungen (Scherkräfte) ausgerichtet sein (vgl. JOHANNSEN & HACKER 2009; HACKER & JOHANNSEN 2012).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Bei der Gehölzauswahl kann zur Erhöhung der Böschungsstabilität durch eine gute Wurzelverzahnung auf die Verwendung von Gehölzen mit besonderen biotechnischen Eigenschaften geachtet werden. Hierzu zählen u.a. eine große ökologische Standortamplitude, Rohbodenpionierfähigkeit, Schnellwüchsigkeit, hohe Anwuchsrate, technisch günstige Wuchs- und Wurzelform (kleiner gedrungener Habitus, verschiedene Wurzelsysteme), günstiges Verhältnis von Wurzel- und Triebmasse sowie eine hohe mechanische Belastbarkeit (ZEH 1995). Eine gute stabile Verzahnung der Wurzeln mit dem Boden kann nur von einer Begrünung auf oberbodenlosen Rohböden erreicht werden. Bei der Begrünung von Böschungen mit Oberbodenauftrag kann es zu Rutschungen, dem sog. „Blumentopfeffekt“ (OBERNOLTE 2006), kommen, da Pflanzen in der Regel hauptsächlich den nährstoffreichen Oberboden durchwurzeln und dadurch die für den Erhalt der Böschungssicherheit notwendigen Verzahnungen zwischen den Schichten fehlen (vgl. DUTHWEILER 1967; FLOSS 1985; TOBIAS 1992).

Für die Verwendung von gebietseigenem Saatgut oder zumindest Saatgut aus dem gleichen Herkunftsgebiet spricht die genetische Veranlagung zur Habitus- und Wurzelausprägung, welche bei gebietseigenen Pflanzen perfekt auf die lokal vorherherrschenden Standortbedingungen (vor allem Bodenart und Mikroklima) angepasst ist. Gehölze aus dem gleichen Herkunftsgebiet (Provenienz) sind zumindest auf die gleichen makroklimatischen Bedingungen eingestellt (vgl. Kap. 4.4; KÖSTLER et al. 1968; SCHIECHTL 1973; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1997; SPETHMANN 1997, KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002; BISCHOFF 2009). Über Anwuchserfolge von gepflanzten Gehölzen und Ausfallraten von angesäten Kräutern und Gräsern gleicher Arten aus verschiedenen Herkunftsgebieten in einer bestimmten Region sind bereits mehrere Studien durchgeführt worden. Alle diese Untersuchungen ergaben, dass gebietseigene Pflanzen die besten Anwuchs- und Überlebensraten im Gegensatz zu gebietsfremden Individuen derselben Arten aufweisen (vgl. SPETHMANN 1995; MARZINI 2000; BMELV 2003; KOWARIK & SEITZ 2003; VOLLRATH 2006). Diesbezüglich sprechen für die Verwendung von gebietseigenem oder zumindest regionalem Saatgut aus den gleichen Herkunftsgebieten nicht nur biodiverse und ökonomische, sondern auch sicherheitstechnische Gründe, welche bei Gehölzausfällen nicht gewährleistet werden können.

Auf die Ausbildung und Verteilung der Bewurzelung wirken sich entscheidend die genetischen Veranlagungen der einzelnen Arten und die auf einem Standort vorherrschenden Umweltbedingungen aus. Alle heimischen Gehölze haben in ihrem Jugendstadium eine mehr oder weniger ausgeprägte Polwurzel, die sich im Laufe des Wachstums zu einem bestimmten Wurzeltyp entwickelt. Generell lassen sich bei adulten Gehölzen, auf für die jeweilige Art optimalen Standorten, drei verschiedene Wurzeltypen nach der Ausbildung ihres Grobwurzelwerkes voneinander unterscheiden. Flach- oder Senkerwurzelsyteme haben flache, aber horizontal stark ausgedehnte Seitenwurzeln, bei denen vertikal gewachsene Senker dominieren. Folgende Gehölzarten bilden Senkerwur-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

zeln aus: *Fraxinus excelsior*, *Picea abies* und *Populus tremula.* Pfahl- oder Polwurzelsysteme werden durch eine senkrecht wachsende Hauptwurzel dominiert. *Abies alba, Juniperus communis, Pinus sylvestris* und *Ulmus glabra* sind Arten, die dieses Wurzelsystem auch als adulte Gehölze beibehalten. Für Herzwurzelsysteme ist eine gleichmäßige, halbkugelförmige Durchwurzelung unterhalb des Wurzelstocks charakteristisch. *Acer campestre, Alnus glutinosa, Betula pendula, Carpinus betulus, Fagus sylvatica, Larix decidua, Prunus avium, P. mahaleb, Quercus robur und Q. petraea* (ab den 50. Lebensjahr), *Sorbus aucuparia* und *Tilia cordata* zählen zu den Arten, die Herzwurzeln ausbilden. Eine Mischung aus Herz- und Senkerwurzelsystem entwickelt sich bei Acer pseudoplatanus und *Q. petraea* (bis zum 50. Lebensjahr). Gehölze mit Herzwurzelsystem zeigen in der Regel eine relativ intensive Feinwurzelausbildung. Nadelbäume haben generell eine geringere Feinwurzelausbildung als Laubgehölze. Die intensivsten, gleichmäßig über das ganze Wurzelwerk verteilten Feinwurzeln bilden *Acer campestre*, *A. pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica* und *Tilia cordata* aus. Bei *Fraxinus excelsior* und *Betula pendula* erfolgt die Feinwurzelausbildung büschelweise (vgl. KÖSTLER et al. 1968; SINN 1988; POLOMSKI & KUHN 1998).

Auf der Grundlage seiner Untersuchungen unterteilt SCHIECHTL (1985) Pflanzen generell in drei verschiedene Wurzelformtypen: den Extensivwurzlern mit weitstreichendem und meist auch tiefgehendem Wurzelsystem, den Intensivwurzlern mit kurzen, stark verzweigten, dicht beieinander liegenden Wurzeln und den Kombinierten, die zwar weitstreichende Wurzeln haben, aber an deren Enden sich dichte Verzweigungen zur Nährstoffaufnahme ausbilden. Optimal für die Durchwurzelung tieferer Bodenschichten sind Extensivwurzler, welche eine größere Masse an unterirdischen Organen als an oberirdischen Organen entwickeln. Als Beispielarten werden *Salix* sp., *Fraxinus sp., Liguster vulgaris* und *Tamarix* sp. angegeben (vgl. SCHIECHTL 1985).

Neben der zuvor erläuterten, erblich bedingten Veranlagung zur Ausprägung eines bestimmten Wurzelsystems spielen bei der Wurzelentwicklung auch exogene Einflüsse wie die Bodenbeschaffenheit, die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen und das Klima eine wichtige Rolle. Das Wurzelwachstum wird größtenteils von der Korngrößenverteilung im Boden bestimmt. Grobporen werden nach dem Prinzip des kleinsten Widerstands und Mittelporen unter Energieaufwand von den Wurzeln erschlossen. Wenn der Durchmesser der Wurzeln kleiner ist als der der Bodenporen, dringen die Wurzeln mit geringstem Energiewiderstand in den Boden ein und Wasser- und Nährstoffreserven können effizient erschlossen werden. Auch Spalten und Hohlräume, in denen keine Kapillarkräfte wirksam sind, können so erschlossen werden. Lockere Unterböden mit geringer Lagerungsdichte, wie Rendzinen, weisen deshalb eine wesentlich stärkere Durchwurzelung bis in tiefere Schichten als verdichtete tonhaltige Unterböden auf (vgl. Abb. 9; KÖSTLER et al. 1968; SCHIECHTL 1985; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Wenn im Boden nur wenig Grobporenraum vorhanden ist, wachsen die Wurzeln deutlich langsamer und unter höherem Energieaufwand auch durch engere Poren. Ob die Bodenaggregate dabei verschoben werden oder die Wurzeln sich in sie hineinzwängen, ist stark von der Wurzelelastizität einer Art abhängig. In der Regel werden solche Wurzeln kürzer und dicker. Auch mechanische Widerstände, wie ein hoher Skelettanteil im Boden (Fels, Stein, Kies und Grus), können als wurzelwachstumshemmende Faktoren wirken, wobei hier die Wurzeln auf der Suche nach Feuchtigkeit auch tiefe Gesteinsklüfte erschließen. Syrosem (Gesteinsrohboden) kann von den Gehölzwurzeln also nur erschlossen werden, wenn er mit Feuchtigkeit und Nährstoffe enthaltenden tiefen Spalten durchsetzt ist (vgl. ebd.).

Abb. 9 (oben) zeigt das Herzsenkerwurzelsystem einer Eiche unter nahezu optimalen Standortbedingungen in mineralreichem Lehm. Unter veränderten Standortbedingungen wie einen höheren Skelettanteil prägt die gleiche Art eine andere Wurzelentwicklung aus. So entwickelt sich die in der Jugend gebildete Polwurzel nicht zurück, sondern erschließt noch tiefere Bodenschichten und wurzelt in Felsspalten. Ähnliche Tendenzen können an den Enden der Mittelwurzeln beobachtet werden (vgl. ebd.).

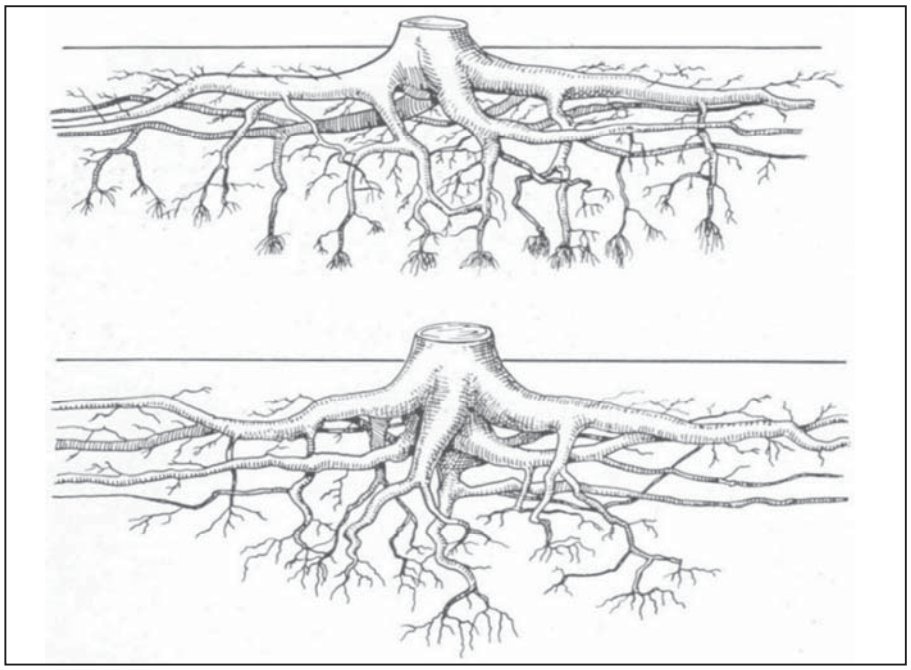


Abb. 9: Wurzeltracht der Eiche im mineralreichen Lehm mit Bodenskelett im Untergrund (oben) und auf schwerem, lehmigem Boden mit größerem Skelettanteil (unten) (KÖSTLER et al. 1968)

Grobkörnige, skelettreiche und flachgründige Böden verursachen häufiger Wurzelkrümmungen als feinkörnige. Die vermehrte Wurzelkrümmung bewirkt eine höhere Seitenwurzelbildung. Die Stärke der Wurzeln nimmt bei grobkörnigen Böden ab, wobei die Wurzelverzweigungen und -länge zunehmen. Dadurch kann sich ein der Stabilität dienendes notwendiges weitläufiges Wurzelnetz der Gehölze auf diesem Standort entwi-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ckeln. In der Häufigkeit der Verzweigungen lassen sich anlagebedingte Unterscheidungen zwischen den Arten erkennen. *Fagus sylvatica* bildet beispielsweise unter günstigen Bodenbedingungen auf tiefgründiger Braunerde ein typisches herz-kegelförmiges Wurzelsystem aus. Auf flachgründigem Kalkschutt dagegen wurde eine breite tellerförmige Bewurzelung nachgewiesen. Solche biotechnischen Eigenschaften der Gehölze werden bei der Verwendung im Zuge von ingenieurbiologischen Baumaßnahmen, wie auch der Artenwahl bei Gehölzansaaten, berücksichtigt. Des Weiteren ließen sich auf diesen Standorten bei allen Gehölzarten Wurzeldeformationen (Pressformen) im Schotter und Stocküberwallungen durch umgebendes Skelett beobachten. Als Reaktion auf Bodenbewegungen oder anderen Zugkräften im Wurzelbereich gibt es Arten, die Zuganker-Wurzeln ausbilden. Die Korngrößenverteilung und das Bodengefüge prägen also die Durchwurzelbarkeit eines Bodens und die Wurzelausbildung der Gehölze in großem Maße. Verschüttungen können einige Arten, wie *Salix* sp., *Tamarix* sp., *Ulmus* sp., *Acer* sp. und *Fraxinus* sp., durch die Ausbildung von Adventiv-Wurzeln überstehen (vgl. KÖSTLER et al. 1968; SCHIECHTL 1985; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Solche biotechnischen Eigenschaften zeichnen in der Regel die Gehölzarten aus, welche in ingenieurbiologischen Sicherungsbauweisen Verwendung finden.

Bei der Entwicklung von Pflanzenbeständen treten die Individuen untereinander nicht nur ober-, sondern auch unterirdisch in Konkurrenz um Wurzelraum. Hierbei geht es in erster Linie um die Verfügbarkeit von Wasser. Je mehr Individuen auf einem Standort zu finden sind, desto größer ist die Wurzelkonkurrenz. Um Wasser auf diesem umkämpften Standort erreichen zu können, sind eine dichtere Bewurzelung und höhere Saugkräfte der Wurzeln erforderlich. Nach KÖSTLER et al. (1968) sind Baumarten mit stark verzweigten feinwurzelreicher Wurzeltracht schärfere Konkurrenten als solche mit extensivem Wurzelwerk.

Weitere intra- und interspezifische Wechselwirkungen in Form von Allelopathien finden hauptsächlich im Wurzelraum statt (vgl. MOLISCH 1937; KÖSTLER et al. 1968). MOLISCH (1937) wies durch zahlreiche Versuche u. a. die hemmende Wirkung von Früchten und Blüten von *Malus silvestris, Prunus avium, P. padus, Pyrus communis* und *Rosa multiflora* auf Wickenkeimlinge und Wurzelwachstum nach. STEUBING & SCHWANTES (1992) schreiben Wurzelsekreten von *Avena* sp., *Erica arborea, Prunus persica* und *Rosmarinus officinalis* ebenso wie denen von abgestorbenen Wurzeln des Apfelbaums eine fremdwurzelhemmende Wirkung zu. SPETHMANN & WILSTERMANN (2003) untersuchten im Rahmen eines Forschungsprojekts die eintretende Bodenmüdigkeit und Wachstumsdepressionen bei Monokulturen vor allem von Rosen und im Obstanbau. In diesem Zusammenhang wurde u. a. ebenfalls der Allelopathie mittels Ausscheidung von Hemmstoffen durch Wurzeln eine wichtige Rolle zugeschrieben. Den hierbei untersuchten Zierrosen konnten keine eindeutigen, die Bodenmüdigkeit verursachenden allelopa-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

thischen Wirkungen zugeordnet werden. Bei Arten wie *Acer pseudoplatanus, Avena sativa, Clematis vitalba, Deschampsia flexuosa, Hordeum vulgare, Melilotus alba, Molinia caerulea, Plantago media, Secale cereal, Trifolium pratense* und *Triticum aestivum* wurde die Ausscheidung von Wurzelhemmstoffen bereits nachgewiesen (vgl. SPETHMANN & WILSTERMANN 2003). Die Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), die eine vesiculäre arbusculäre Mykorrhiza (VAM) ausbildet, hemmt beispielweise das Wachstum von Heidekraut (*Calluna vulgaris*), mit ericoider Mykorrhiza, und Moorbirke (*Betula pubescens*), mit ektotropher Mykorrhiza (SPETHMANN & WILSTERMANN 2003; vgl. KÖSTLER et al. 1968). Hinsichtlich der Frage, ob die genannten Arten auch in Mischbeständen durch hemmende Wurzelausscheidungen konkurrenzstärker sind als andere Arten, besteht weiterhin noch Forschungsbedarf.

Bei Lichtmangel infolge von Konkurrenz in dichten Beständen ist eine Einschränkung der Seiten und Feinwurzelbildung bei relativ guter Entwicklung der Hauptwurzeln bzw. Pfahlwurzeln (Bsp. bei *Fagus sylvatica*) zu beobachten. Generell gilt: „Je dichter der Bestand, desto kürzer sind die horizontalen Wurzeln; aber desto stärker ist die Verlagerung auf das Tiefenwachstum“ (POLOMSKI & KUHN 1998). Bei stärker belichteten Standorten erfolgt eine größere Zufuhr von Assimilaten in die Wurzel, welche das Wurzelwachstum beschleunigen und somit eine große räumliche Erschließung des Bodens in kürzester Zeit möglich machen (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1997; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Jedoch gibt es auch positive gegenseitige Beeinflussungen wie die Verwachsungen verschiedener Bäume derselben Art, wie bei Ulmen, Fichten und Buchen beobachtet, die durch weitere Aufnahme von Wasser und Nährstoffen in der Lage sind, benachbarte Gehölze auch auf schlechteren Standorten zu unterstützen (vgl. KÖSTLER et al. 1968; POLOMSKI & KUHN 1998).

Das Richtungswachstum der Wurzeln wird neben der Schwerkraft und dem Licht vor allem durch die Wasserdampfbewegungen, welche aus dem Zusammenspiel von Wasser und Wärme im Boden entstehen, beeinflusst. Der sog. „Geotropismus“ (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002) findet hauptsächlich in warmen humiden Gebieten statt. So verlaufen beispielsweise die flurnahen Wurzeln bei Eichen im Mitteleuropa während ihres Wachstums überwiegend seitwärts bis horizontal. Die flurnahen Schichten erwärmen sich tagsüber und geben vermehrt Wasser ab. Über Nacht können sie dann in humiden Gebieten das Wasser wieder aufnehmen. Die Folge davon ist ein wellenförmiges Wachstum des vorwiegend nach der Seite gerichteten Wurzelverlaufs (ebd.). Geotrophe Wurzelentwicklung kann nur auf Böden mit einer gewissen Wasserspeicherkapazität in den oberen Schichten stattfinden. Auf durchlässigen nichtbindigen Böden mit oberflächenfernem Grundwasserspiegel ist Geotropismus nahezu ausgeschlossen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Gehölzartenspezifische Wurzelsysteme, wie bereits näher beschrieben, sind auf flachgründigen skelettreichen Böden schon aufgrund der häufigen mechanischen Widerstände selten anzutreffen. Hier bilden sich, wie bereits erwähnt, standortbezogene Sonderformen im räumlichen Wurzelaufbau. Sofern dieser Standort ausreichend tiefgründig und feinsedimentreich ist, entwickelt sich bei den meisten Gehölzen ein verkehrt kegelförmiger Wurzeltyp (ebd.).

Tilia cordata, Acer pseudoplatanus und *Fagus sylvatica* bilden in skelettreichen Böden kleine, halbkugelige, außerordentlich intensiv verzweigte Wurzelsysteme aus, welche Bodentiefen von 60 - 80 cm kaum erreichen (vgl. Abb. 10). Eine sehr gute vertikale Erschließung bis in Bodentiefen von 90 - 160 cm erreichen hier *Fraxinus excelsior, Alnus glutinosa* und *Ulmus glabra* (POLOMSKI & KUHN 1998).

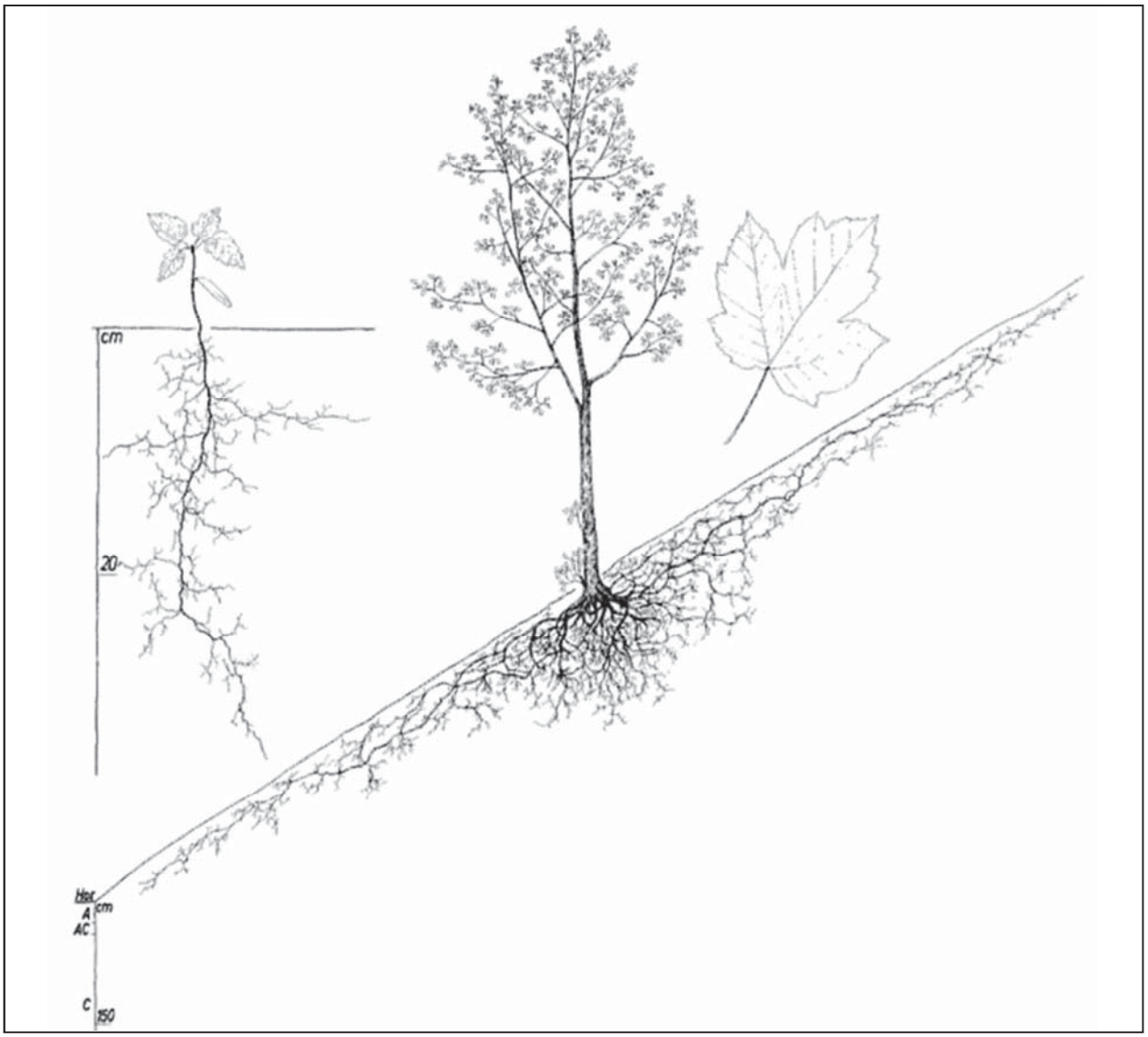


Abb. 10: *Acer* pseudoplatanus, Mullrendzina über Kalksteinschutt (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Auf flachgründigen und skelettreichen Böden in Hanglage sind in Deutschland häufig folgende Bodentypen anzutreffen:

- Syrosem (C-Horizont)
- Lockersyrosem (Ai / IC-Horizont)
- Rendzina oder Ranker - flachgründige und skelettreiche Böden (A / C-Horizont)
- Rendzina oder Ranker - feinerdereiche und ausreichend tiefgründige Böden (A / Brel / BC-Horizont) (vgl. Tab. 4; Köstler et al. 1968; ebd.).

Bei den meisten Gehölzarten lässt sich also in geschlossenen Gehölzbeständen, welche als Zielvegetation oder „Endzustand“ (SCHIECHTL 1973) aus Gehölzansaaten hervorgegangen sind, anstatt einer starken Fein- und Seitenwurzelausbildung eine größere Tiefenentwicklung beobachten. Einige Straucharten jedoch verfügen über eine weitere Konkurrenzstrategie, um sich innerhalb eines Bestands zu etablieren. *Cornus sanguinea* beispielsweise bildet neben tiefgründigeren Verankerungen flachgründige weitstreichende Seitenwurzeln mit intensivem Feinwurzelgeflecht und Wurzelsprossbildung aus (vgl. Abb. 11, 12; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Zudem treibt er in einem Radius bis 5 m mit bis zu 100 Stück/ m² sehr stark Ausläufer aus (KIERMEIER 1988).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

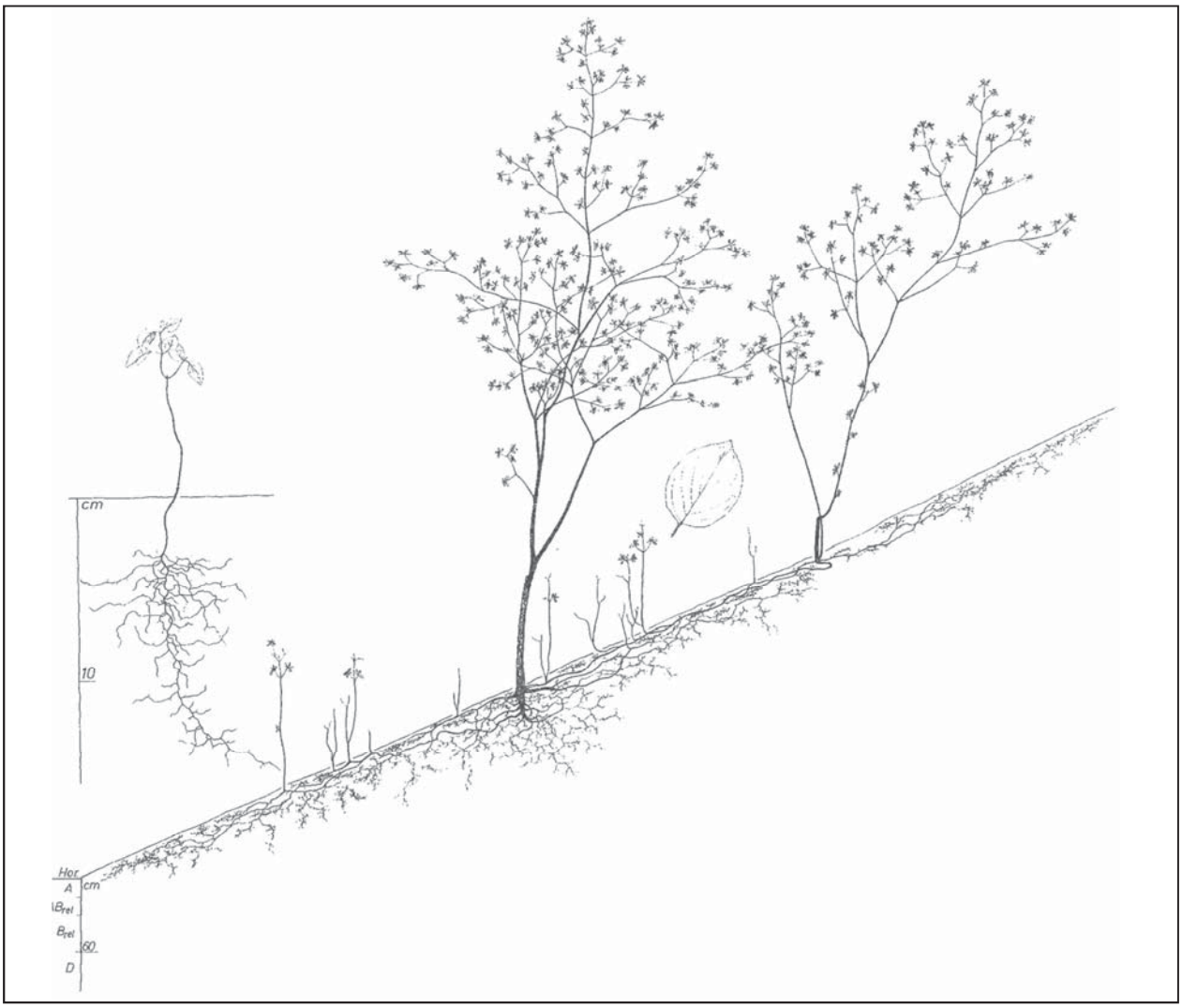


Abb. 11: *Cornus sanguinea,* Braunlehm über Kalksteinschutt (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Diese Strategie ermöglicht dem Hartriegel, auch den oberirdischen Raum zu erobern und je nach Bestandsdichte und Intensität der Pflege an bestimmten Standorten zu dominieren. An einer südwestexponierten Autobahnböschung in Baden-Württemberg beobachtete BOLLENHAGEN (2003) an einigen Abschnitten die Bildung von nahezu Reinbeständen des *Cornus sanguinea*. Der starke regelmäßige Rückschnitt der Strauchvegetation an der Böschung begünstigte durch den Neuaustrieb von *Cornus sanguinea* die Bildung eines Hartriegelgebüsches (BOLLENHAGEN 2003). Eigene Wurzel-ausgrabungen von *Cornus sanguinea* belegen, dass auch auf anthropogen hergestellten Dammböschungen ähnliche Wurzelentwicklung wie auf natürlich gewachsenen Böden stattfindet. Demnach scheint eine Übertragbarkeit der artspezifischen Wurzelentwicklung in natürlichen Böden auf extremen Standorten auch auf angeschüttete Böschungsstandorte möglich zu sein.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

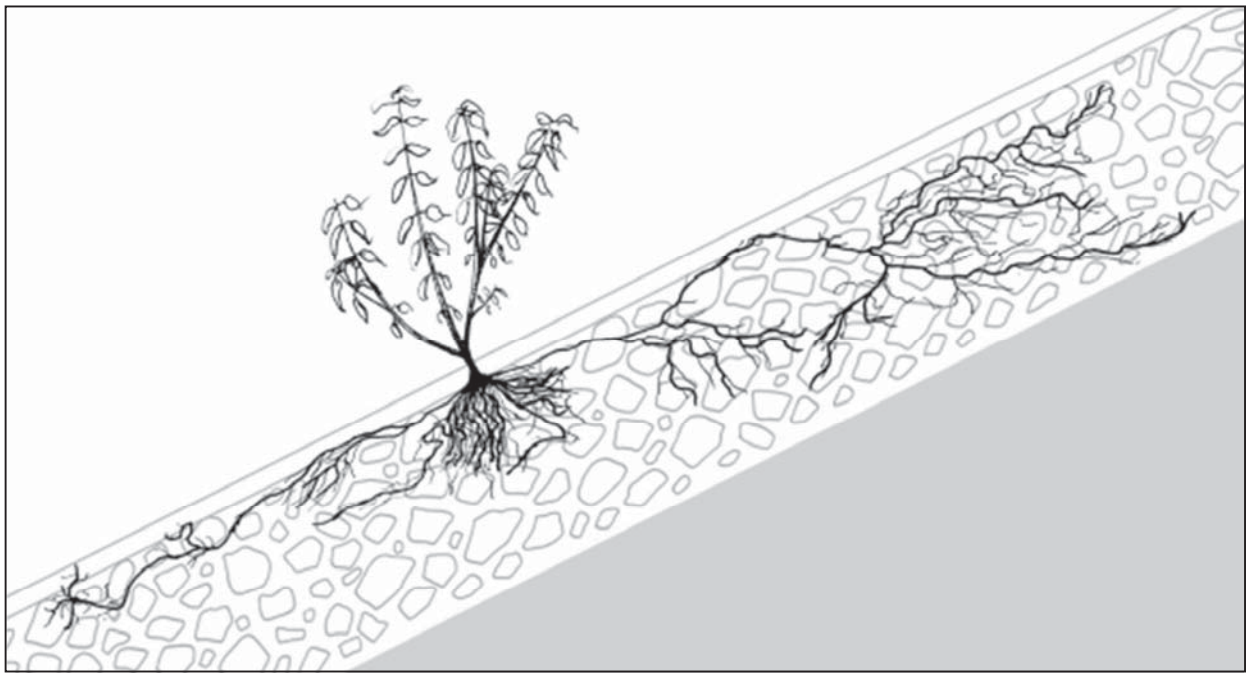


Abb. 12: *Cornus sanguinea* mit intensivem Feinwurzelgeflecht an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012).

Weitere an Böschungsstandorten vorkommende und zum Teil in Ansaaten verwendete Arten sind *Acer campestre* oder *A. plantanoides.* Für *Acer campestre* ist ein rasches Jugendwachstum, wie bei allen Ahornarten, charakteristisch. Zudem bildet der Feldahorn als Jungpflanze ein Pfahl-, als adultes Exemplar ein flaches Herzsenker- und zudem auf verdichteten skelettreichen Böden, wie auf diesen Standorten, ein reich feinverzweigtes Wurzelsystem mit langen Feinwurzelsträngen aus. Im Bestand unter Konkurrenzdruck neigen die beiden Ahornarten zum Raumgewinn in der Tiefe.

Amelanchier ovalis scheint eine Mischform der beiden bereits genannten Strategien unter Konkurrenzdruck zu verfolgen und je nach Bedarf mittlere Tiefen oder weitstreichend in Oberflächennähe zu wurzeln. Ihre Pfahlwurzel ist deutlich ausgebildet und vorwüchsig, bei steinigen Böden wird sie rasch in häufigen Windungen und in Verzweigungen in die Tiefe (Spalten) verformt. Aus diesem Grund bezeichnen sie KUTSCHERA & LICHTENEGGER (2002) als „Spaltenwurzler“. Zudem bildet sie kräftige sprossbürtige Wurzeln im mittleren Bereich des Strauches und bei ausreichender Bodenauflage flachstreichende Wurzeln im großen Umkreis aus (vgl. Abb. 13). Die Felsenbirne als eine Kennart des *Cotoneastro-Amelanchierum* vermag mit ihren Wurzeln tief in die Spalten besonnter, trocken-warmer steiler Felsen, dem typischen Standort dieses Gebüsches, einzudringen. Auf skelettarmen Böden fehlt das Gebüsch, denn die schwachwüchsigen Jungpflanzen von *Amelanchier ovalis* wie auch von *Cotoneaster integerrimus* und *C. tomentosus* unterliegen der Konkurrenz der Krautschicht (WEBER 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

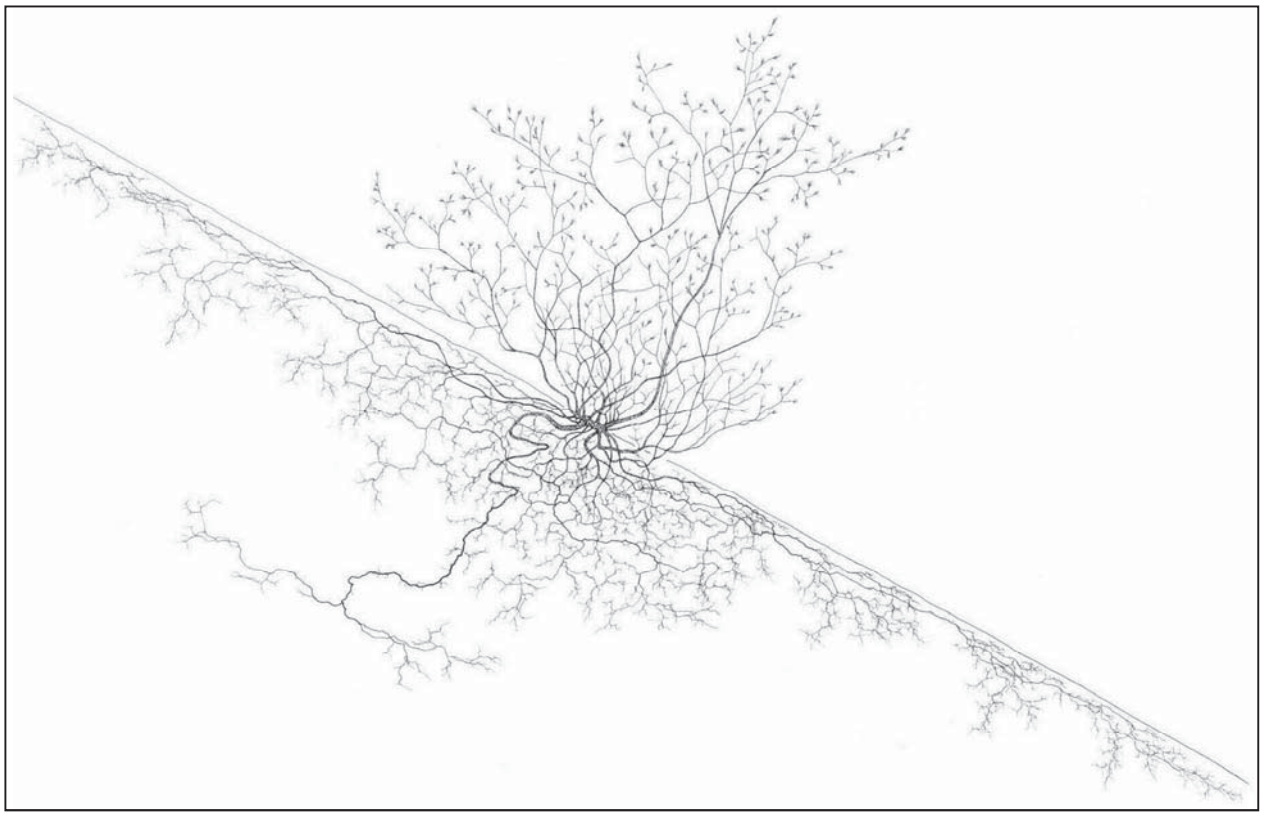


Abb. 13: *Amelanchier ovalis,* Braunlehm-Rendzina (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Im Folgenden werden noch weitere Mischstrategen benannt:

Carpinus betulus wurzelt über skelettreichem Untergrund nur flach in den Feinerde-reichen lockeren Schichten. Die Vertikalwurzeln zeigen eine starke Tendenz zur Aufzweigung in Spalten und Hohlräumen mit Feinerde, und es wird eine große Anzahl von vielfach gekrümmten, büscheligen und besenartigen Feinwurzeln ausgebildet (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Corylus avellana weist in ihrer Jugend eine deutlich hervortretende Pfahlwurzel auf, welche ihre Vorwüchsigkeit zunehmend mit dem Erstarken der Seitenwurzeln verliert. Auf steinigem Boden beendet die Pfahlwurzel ihr Tiefenstreben, ähnlich wie bei *Carpinus betulus,* mit reicher Verzweigung beim Erreichen des skelettreichen Untergrundes (ebd.).

Frangula alnus gilt als wurzelsprossbildender Flachwurzler mit hohen Feinwurzelbesatz. Über staufeuchten und humosen Böden wie Torf verliert die Polwurzel ihre Vorwüchsigkeit und biegt sich rasch um. Bei einer Ausgrabung von KUTSCHERA & LICHTENEGGER (2002) in durchlässigem Boden (Lockersediment-Braunerde) ist das nicht der Fall, hier ist die Polwurzel noch als dünner, abwärts wachsender Strang erkennbar. Dieser Aspekt und die durch Konkurrenz bedingte tiefergehende Bewurzelung innerhalb eines Gehölzbestandes lässt die Annahme zu, dass bei skelettreichen Böschungsstandorten eine größere Durchwurzelungstiefe erreicht wird (vgl. OBERDORFER 1994; ebd.).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Auf flachgründigen skelettreichen Böden entwickeln sich *Lonicera xylosteum, Ligustrum vulgare* und *Viburnum opulus* als Pfahlwurzel-Pflanze und Sprosswurzel-Pflanze bzw. einer Mischung aus beiden, d. h. neben langen Kriechtrieben und sprossbürtigen Wurzeln bilden die Arten eine gestauchte Polwurzel aus. Der Feinwurzelbesatz in den oberen humosen Bodenschichten ist bei allen drei zuvor genannten Arten hoch. Zusammen mit einer intensiven Verzweigung und einem sehr hohen Anteil an Ausläufern und Sprossen, wie zuvor bei *Cornus sanguinea* beschrieben, führt dies zu einer sehr guten Oberbodensicherung und starken Konkurrenzkraft innerhalb eines Bestands. Somit verfolgen *Cornus sanguinea, Frangula alnus, Ligustrum vulgare*, *Lonicera xylosteum* und *Viburnum opulus* die Konkurrenzstrategie der flachgründigen weitstreichenden Durchwurzelung, sie können aber aufgrund ihrer erreichten Durchwurzelungstiefe nicht als reine Flachwurzler bezeichnet werden (vgl. Abb. 14; ebd.).

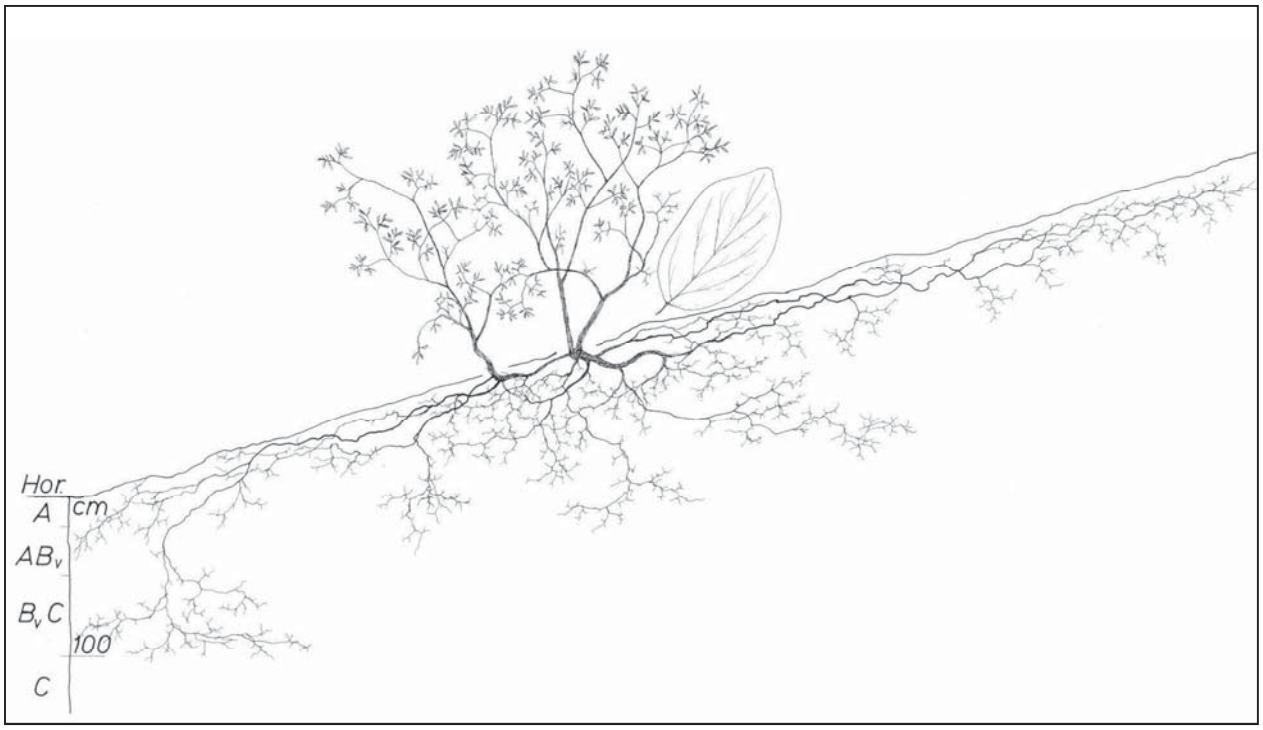


Abb. 14: *Lonicera xylosteum,* Ranker und Rendzina (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Eine weitere sehr häufig genannte Baumart, die in ihrer Jugend eine Pfahlwurzel und als erwachsenes Exemplar ein Herzsenkerwurzelsystem ausbildet, ist die *Fraxinus excelsior*. Ein weiteres wichtiges Merkmal der Wurzelausbildung von *Fraxinus excelsior* ist zudem die reiche Feinverzweigung vor allem in den oberen Bodenschichten und eine gute Tiefen- und Seitenerschließung des Bodens, weshalb die *Fraxinus excelsior* als guter Bodenfestiger vor allem auf feinerdereichen Steilhängen gilt. Unter Konkurrenzdruck innerhalb eines Bestands wurzelt sie tiefer anstelle einer starken Fein- und Seitenwurzelausbildung (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Als ebenfalls in der Jugend pfahlwurzel- und im Erwachsenenstadium herzwurzelausbildendendes Gehölz zählt *Prunus avium*. Das Herzwurzelsystem der *Prunus avium*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ist auf flachgründigen Hangstandorten weniger tiefreichend; es entwickelt sich eher tellerförmig mit großer Seitenreichweite, daher kann sie den Flachwurzlern zugerechnet werden (ebd.).

Prunus spinosa bildet zunächst eine Polwurzel aus, deren Seitenwurzeln sich im Laufe des Wachstums verdicken und Senkerwurzeln mit Wurzelsprossen zur vegetativen Vermehrung bilden. *Prunus spinosa* und auch *Rosa rubiginosa* erreichen dagegen infolge ihrer hohen mechanischen Wurzelenergie auch in steinigem Material eine sehr gute Tiefenwirkung. Beide Arten fielen u. a. SCHIECHTL (1973) bei Ausgrabungen als besonders zugfest auf. *Prunus spinosa* bildet darüber hinaus intensiv verzweigte Feinwurzelgeflechte und fördert durch Ausläufer und Wurzelsprosse die Bodenfestigung (SCHIECHTL 1973). *Rosa rubiginosa* ist als ein Tiefenwurzler ohne Ausläuferausbildung beschrieben, jedoch verfügt sie über eine dichte und starke Adventivwurzelbildung und das Wurzelsystem gilt allgemein als stark und elastisch (KIERMEIER 1988).

Rhamnus cathartica erschließt mit einer intensiven Wurzelausbildung mittlere bis mäßig tiefe Bodenschichten. Zudem bildet *Rhamnus cathartica* kriechende Achsentriebe aus, aus denen Strauchgruppen entstehen können (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Eine tiefe vertikale Wurzelausbreitung mit weitstreichenden Seitenwurzeln und eine sehr häufige Ausbildung von Adventivwurzeln zur tiefreichenden Bodenfestigung zählen zu den biotechnischen Eigenschaften von *Rosa canina* (KIERMEIER 1988; SCHIECHTL 1973). Zudem ist sie ausläuferbildend, kann im dichten Gebüschbestand auch klettern und verträgt etwas Einschüttung. Die *Rosa canina* gehört dem „bogenbildenen Typ“ (TIMMERMANN, MÜLLER 1994) an. *Rosa arvensis* bildet als kriechender und kletternder Strauch, dem sog. „Spreitzklimmer“ (ebd.), nur oberirdische Ausläufer aus. Das Wurzelsystem gilt als weitstreichend und elastisch. *Rosa glauca (rubrifolia)* gilt als konkurrenzschwach und kommt daher vor allem in lockeren Gebüschen, wie dem *Cotoneastro-Amelanchierum,* auf sehr extremen Standorten vor. Ihr tiefwurzelndes und weitstreichendes Wurzelsystem wächst auch in Spalten. *Rosa spinosissima (pimpinellifolia)* gehört dem „koloniebildenden Typ“ (ebd.) an, welcher auf weitverzweiten unterirdischen Achsen steht und mit aufrechten Sprossen truppweise ganze Flächen besiedelt. Ihr Wurzelsystem gilt als tiefgehend und dicht flachstreichend mit zahlloser Ausläuferbildung mit einem Radius von bis zu 4 m. *Rosa vosagiacea (dumalis)* gilt allgemein als Tiefwurzler und löst in höheren Berglagen das Verbreitungsgebiet der *Rosa canina* ab (KIERMEIER 1988; TIMMERMANN, MÜLLER 1994). KIERMEIER (1988) ordnet *Rosa vosagiacea* ebenso wie *R. canina, R. glauca* und *R. rubiginosa* dem Wuchstyp „Normalstrauch“ zu.

Sarothamnus scoparius bzw*. Cytisus scoparius* ist auf frisch bis mäßig trockenen, lockeren, kalkarmen, mäßig sauren Lehm, Sand- oder Steinböden verbreitet und gilt als frostempfindlicher bodenbereitender und bodenfestigender tiefwurzelnder Rohboden-Pionier (OBERDORFER 2001).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Sorbus aucuparia bildet als Jungpflanze Senkerwurzeln, und später geht die Entwicklung Richtung Herzwurzelsystem mit Senkern, wobei sie auf diesen flachgründigen Standorten eher den Flachwurzlern zugeordnet werden können (vgl. Abb. 15; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

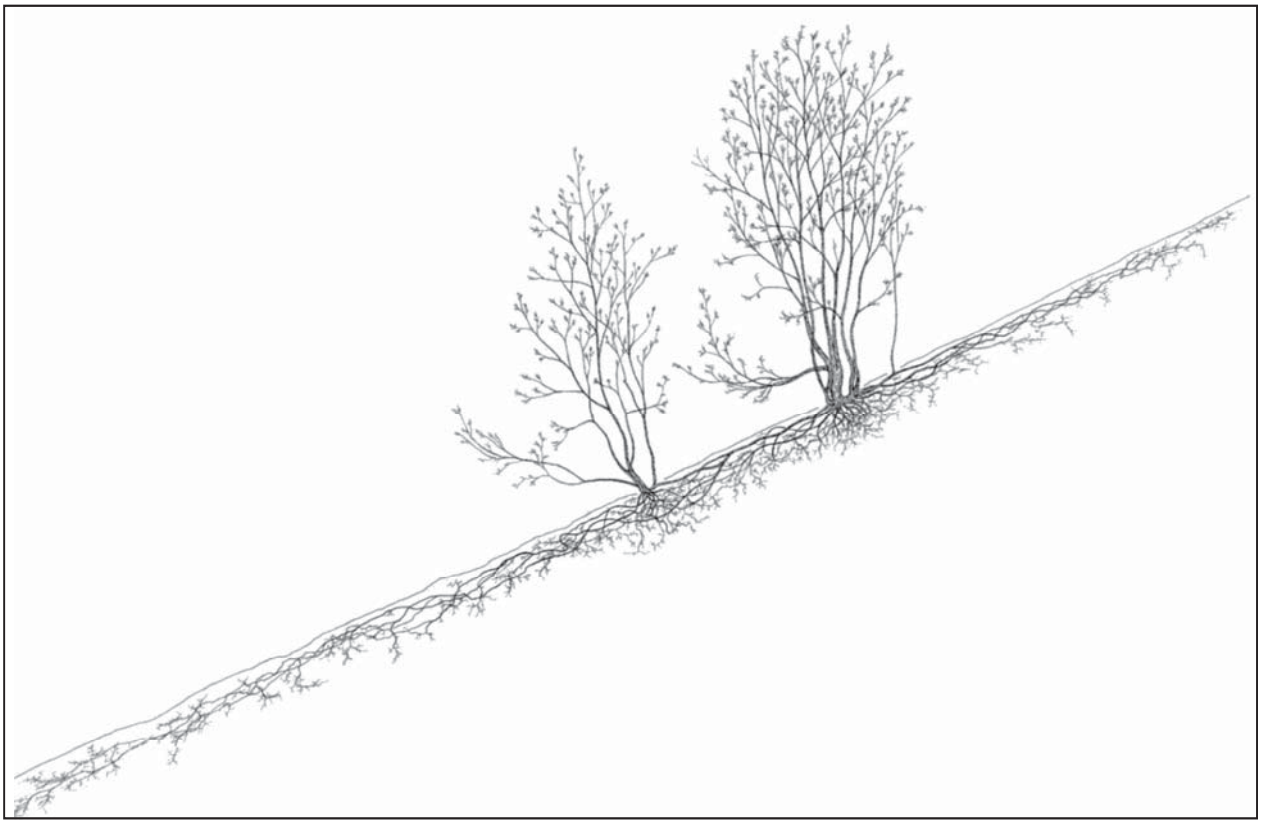


Abb. 15: *Sorbus aucuparia* auf Moder-Rendzina über Kalkschutt (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Sorbus torminalis entwickelt auf flachgründigen skelettreichen Standorten eine gestauchte Polwurzel, die sich über den verhärteten Bodenschichten in dünne Wurzelstränge (Senker) verzweigt, welche sich in die Fugen ausbreiten (vgl. Abb. 16; ebd.; KÖSTLER et al. 1968; POLOMSKI & KUHN 1998; OBERDORFER 2001).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

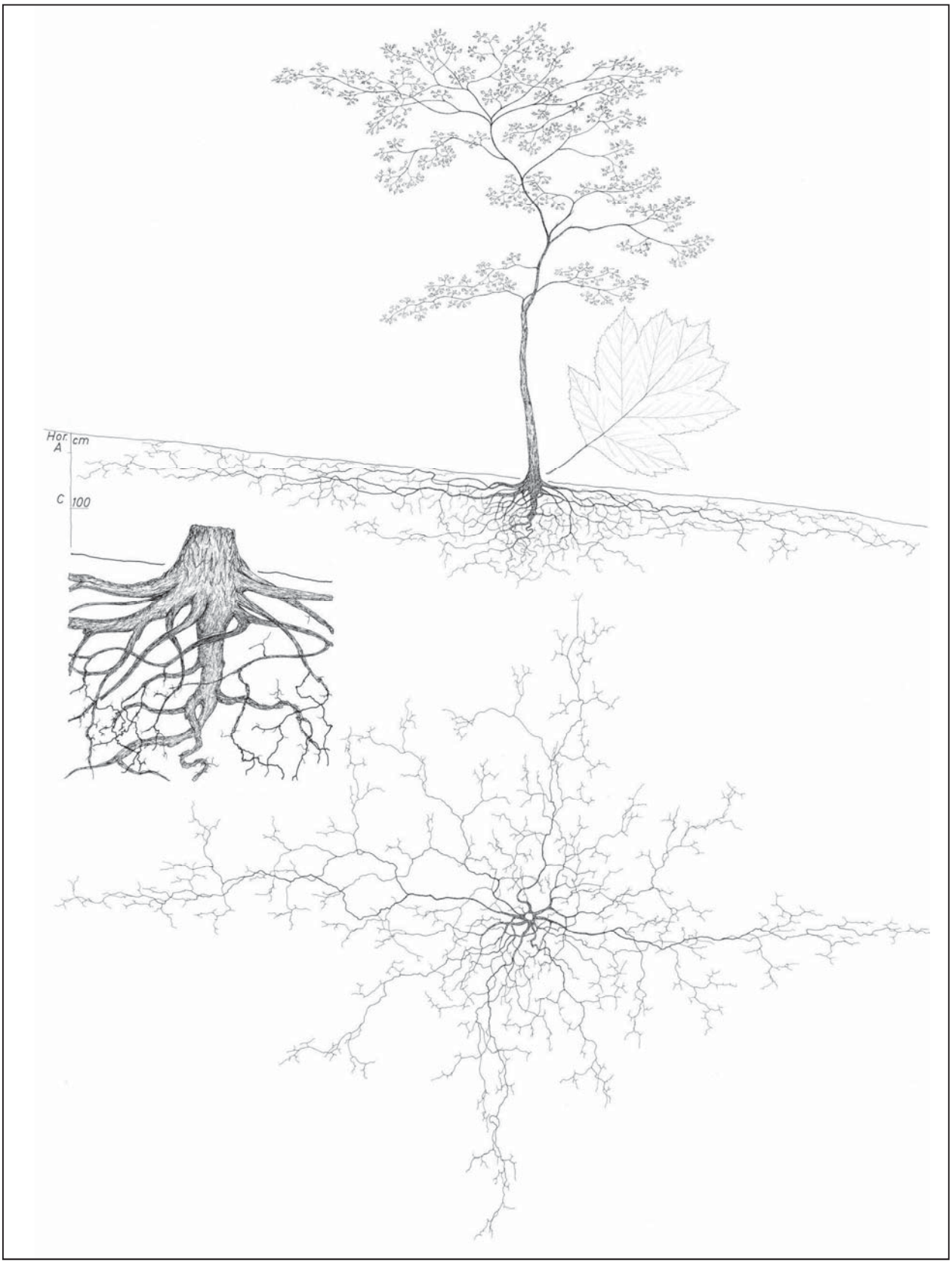


Abb. 16: ***Sorbus torminalis*** **auf Mull-Pararendzina (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).**

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Viburnum lantana bildet auf warmen durchlässigen Böden eine sehr tiefreichende Polwurzel bis zu kühleren grundfrischen Schichten aus. Bei zunehmenden wasserspeichernden feinsedimentreichen Böden werden zudem Sprosswurzeln ausgebildet. Bei mächtigen humosen Bodenschichten bildet *V. lantana* eine starke sprossbürtige Bewurzelung aus, so dass, wenn es sich bei diesen Böden um kühle feinsedimentreiche Böden handelt, von einer reinen flachgründigen Sprosswurzelpflanze gesprochen wird (vgl. ebd.). Da es sich in diesem Fall um oberbodenlose, zumeist flachgründige Böschungsstandorte handelt, kann bei der Verwendung von *Viburnum lantana* davon ausgegangen werden, dass die Polwurzel je nach Bodenwärme in mittlere oder sehr tiefe Bodenschichten eindringt.

Die beschriebenen Arten verfolgen auf natürlich gewachsenen wie auch angeschütteten Böschungen im Wesentlichen drei Wurzelstrategien: große flachgründige Raum-, tiefe vertikale und mittlere bis mäßig tiefe Bodenerschließung (vgl. Tab. 7). Innerhalb eines naturnahen Gebüsches sind in der Regel mehrere Arten, welche je nach Standortdifferenzierung auch eine oder zwei verschiedene der drei Wurzelstrategien verfolgen, vorhanden. Neben einer guten oberflächennahen Sicherung zum Erosionsschutz wird daher auch eine stabile Bodenbefestigung und Verzahnung bis in tiefe Schichten erreicht (vgl. Tab. 7).

Aufgrund des Vorkommens der vielen, mit verschiedenen Wurzelsystemen wie auch Wurzelformtypen und biotechnischen Eigenschaften ausgestatteten Gehölzarten, die sich im Gehölzbestand unter Konkurrenzdruck noch stärker herauskristallisieren, kann also davon ausgegangen werden, dass in natürlichen und naturnahen Gebüschen auf flachgründigen skelettreichen Böden in Hanglagen eine stabile nachhaltige Sicherung stattfindet (vgl. KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1997; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Die an Böschungen anzustrebende Zielvegetation sollte aus Gründen der Böschungssicherheit einem Gebüsch, welches natürlicherweise auf ähnlichen Standorten vorkommen würde, entsprechen (vgl. Kap. 4.3), da es dort in der Regel die größte Stabilität besitzt und sich dementsprechend auch am besten zur Bodenbefestigung eignet (vgl. SCHLÜTER 1990; TOBIAS 1992). Da sich aus den meisten in dieser Dissertation untersuchten Gehölzansaaten an Verkehrswegeböschungen Gehölzbestände entwickelt haben, die den natürlichen Gebüschgesellschaften dieser Standorte entsprechen oder zumindest stark ähneln, ist davon auszugehen, dass diese Böschungen über die höchste biotechnische Standsicherheit verfügen, die möglich ist. Im Laufe der Untersuchungen werden daher die in Kap. 4.3 dargestellten, auf flachgründigen skelettreichen Böden in Hanglage vorkommenden Gebüsche in Deutschland näher untersucht.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 7: Hauptwurzelstrategien im Gebüsch auf Hangstandorten - eine Auswahl (eigene Darstellung; vgl. SCHLÜTER 1990; SCHIECHTL & STERN 1992; OBERDORFER 1994; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002; STOKES 2002; WEBER 2003)

Gehölzarten	Wurzelstrategie 1 Große flachgründige Raumerschließung durch Seitenwurzelbildung sowie wurzelbürtige Sprosse (Flachwurzler)	Wurzelstrategie 2 Tiefe vertikale Bodenerschließung und Bodenfestigung (Spaltenwurzler)	Wurzelstrategie 3 Erschließung von mittleren bis mäßig tiefen Bodentiefen (Intensivwurzler)
Acer pseudoplatanus			x
Acer sp.		x	
Alnus glutinosa		x	
Amelanchier ovalis	x	x	
Carpinus betulus			x
Cornus sanguinea	x		x
Cotoneaster integerrimus	x		
Corylus avellana			x
Cytisus scoparius		x	x
Frangula alnus	x	x	
Ligustrum vulgare	x		x
Lonicera periclymenum	x		
Lonicera xylosteum	x		x
Malus sylvestris	x		
Prunus avium	x		
Fraxinus excelsior		x	
Prunus mahaleb			x
Prunus spinosa	x	x	
Rhamnus cathartica			
Rosa arvensis		x	
Rosa rubiginosa		x	
Rosa sp.	x	x	
Rubus sp.	x		x
Sambucus nigra			x
Sorbus aria			x
Tilia sp.			
Sorbus aucuparia	x		
Sorbus torminalis		x	
Ulmus sp.		x	
Ulmus minor	x	x	
Viburnum lantana		x	x
Viburnum opulus	x		x

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.6.2 Erhöhung der Böschungsstabilität

Die Wurzeln haben neben der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen (Ionen) eine weitere wichtige Funktion als Verankerung im Boden zur Festigung der Standsicherheit von Gehölzen zu erfüllen (FITTER 2002). Dies geschieht durch die Ausbildung eines komplexen Haltesystems, der sog. „Wurzel-Bodenmatrix“ (SINN k. A.) bzw. dem „root-soil bond“ (STOKES 2002), welche den Gehölzen den notwendigen Widerstand mittels Schwergewicht, Zuganker und Druckplatten gegen die durch äußere Einwirkungen ausgelösten Zug-, Druck und Torsionskräfte gibt. Innerhalb dieses Haltesystems spielen vor allem das Eigengewicht des Bodentellers infolge seiner Zusammensetzung (Wurzelsystemausbildung und Bodenstruktur) sowie Scherfestigkeit (eine Funktion aus Kohäsion und Reibung) eine wichtige Rolle. Hierbei gilt die generelle Regel: Je dichter das Wurzelnetz ist, desto größer die Standfestigkeit. Die Wurzel-Bodenmatrix bewirkt nicht nur die Standsicherheit eines Gehölzes, sondern leistet auf extremen Standorten, wie auf steilen Hanglagen, bei Einzelgehölzen und im Bestand, einen maßgeblichen Beitrag zur Erhöhung der allgemeinen Böschungssicherheit (vgl. KÖSTLER et al. 1968; SINN k. A.; STOKES 2002). Diese Eigenschaft wird bei ingenieurbiologischen Bauweisen genutzt.

Wurzeln bewirken zudem eine Auflockerung des Bodens durch Bewegung im Wind; das von den Wurzeln gebildete Röhrensystem bessert die Struktur und den Gas- und Wasserhaushalt des Bodens. Alte Wurzelröhren unterstützen durch eine bessere Erschließungsmöglichkeit von Wasser und Nährstoffen die erneute Durchwurzelbarkeit des Bodens. KÖSTLER (1968) hat anhand mehrerer Untersuchungen gezeigt, dass die „Wurzelarbeit“ (KRUEDENER 1950) mancher Baumarten für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit recht bedeutsam ist (vgl. Kap. 4.6.1). Die Bodenfruchtbarkeit wird im Wesentlichen durch die Symbiosen von Mikroorganismen mit Pflanzenwurzeln wie Knöllchenbakterien, Strahlenpilzen und Mykorrhiza-Pilzen im Bereich der Rhizosphäre gefördert. Mykorrhiza-Pilze bewirken zudem eine Erhöhung der oberirdischen Wuchsleistung und des Wurzelwachstums durch die Verbesserung der Nährstoffversorgung und Wasseraufnahme der jeweiligen Wirtspflanzen (SCHLÜTER 1996; HACKER & JOHANNSEN 2012). So bewirkt beispielsweise der Mykorrhiza-Pilz *Glomus intraradices* bei der Gattung *Cotoneaster* die Entwicklung eines höheren Wurzel- und Sprossvolumens (TSCHIRNER 2003). Eine Mykorrhizeninfektion betrifft nicht alle Wurzeln eines Gehölzes gleichmäßig. Häufig sind nur die schwächeren Nebenwurzeln verpilzt, was zu einer gewissen Einschränkung des Längenwachstums, einer Verdickung sowie stärkeren Verzweigung dieser führt (KÖSTLER et al. 1968; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Die dadurch erreichte stärkere Durchwurzelung und Vergrößerung der Wurzeloberfläche bewirkt eine Steigerung der ingenieurbiologischen Sicherungsleistung durch die damit verbundene Erhöhung der Scherfestigkeit (vgl. SCHLÜTER 1996; HACKER & JOHANNSEN 2012).

Als Kommunikationsmittel für Symbiosen und Allelopathien zwischen Bodenorganismen und Arten sowie bei Arten-Wechselbeziehungen in der Rhizosphäre dienen Wurzel-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

exsudate (vgl. Kap. 4.6.1). Auch in der Regulation von Boden-Wurzel-Wechselbeziehungen spielen diese Wurzelausscheidungen eine wichtige Rolle (vgl. SANON et al. 2009). Die Exsudate bestehen u. a. aus Zuckermolekülen, die durch die Wurzelhaare ausgeschieden werden (vgl. RIDGE & KATSUMI 2002). Durch die Verklebung von Bodenaggregaten fördern sie die Bodenstabilität im mikrobiologischen Bereich der Rhizosphäre (vgl. FLORINETH 2004; JOHANNSEN & HACKER 2009). Das Zusammenspiel von Wurzeln, Mikroorganismen und der Kombination der zuvor erwähnten biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse wird auch als erosionsmindernde „biologische Kohäsion“ (HACKER & JOHANNSEN 2012) bezeichnet (ebd.).

Mit der sukzessiven Entwicklung eines Gehölzbestands auf einem Rohbodenstandort beginnen auch Bodenbildungsprozesse. Hierdurch entstehen zusätzliche Gewichte, die durch den Biomassezuwachs von oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteilen und der Humusschichtbildung auf die Böschung einwirken. Bislang wird diese zusätzliche Auflast bei Stabilitätsberechnungen zur Ermittlung der Böschungssicherheit außer Acht gelassen, da die Erhöhung der Scherkraft durch die Wurzelbildung und die Gefügestrukturverbesserung den auf die Standsicherheit negativen Einfluss des zusätzlichen Gewichts, wie an den bestehenden evaluierten Böschungen zu sehen ist, überwiegen. Dabei gilt: Solange der Scherwiderstand (Wurzelentwicklung) der Auflast (Biomasseentwicklung) überwiegt oder gleich ist, also der Bemessungswert der Widerstände (Wd) größer oder gleich dem Bemessungswert (Ed) der Einwirkungen ist, ist die Böschung stabil. Daraus ergibt sich die Formel: Wd ≥ Ed (SCHUPPENER 1994, 2001). Zudem werden Faktoren wie die Wurzelverzahnungen und -verwachsungen zwischen Gehölzen verschiedener Arten und einer Art innerhalb eines Vegetationsbestands vernachlässigt (vgl. KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1997; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Charakteristisch für eine gute Gefügestruktur im Boden ist auch - unabhängig von der Wurzelentwicklung - eine gute Verzahnung der Bodenschichten untereinander. Im Hinblick auf die bodenmechanischen Berechnungen der Böschungsstabilität unter Berücksichtigung von bodenbiologischen und bodendynamischen Gesichtspunkten besteht allerdings noch immer Forschungsbedarf (vgl. SCHAARSCHMIDT & KONECNY 1971; PFLUG 1985b; HÄHNE 1991).

Erste bodenmechanische Berechnungen zur Bewehrungswirkung von Pflanzen bei der Stabilisierung von Böschungen hat SCHUPPENER (1994) mittels des COULOMBschen Reibungsansatzes durchgeführt. Nach Weiterentwicklung dieses Ansatzes und der Erprobung in einer Reihe von Feld- und Modellversuchen lässt sich die Verbundfestigkeit zwischen Pflanzen und Boden mit einem konstanten Wert beschreiben. Als Bemessungsgrundlage für ingenieurbiologischen Lagenbau oder auch „Lebend Bewehrte Erde“ (SCHUPPENER 1994) dient das zuvor erwähnte Teilsicherheitskonzept, welches davon ausgeht, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Bemessungswerte der Widerstände größer oder gleich denen der Einwirkungen sind. Zu den Widerständen (Scherfestig-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

keit) zählen Reibung, Kohäsion und Tragfähigkeit der Pflanzen bzw., bei Übertragung auf andere ingenieurbiologische Bauweisen, der Wurzeln. Demgegenüber stehen die Einwirkungen, welche sich zum größten Teil aus dem Eigengewicht der Böschung und der auf sie wirkenden Auflast zusammensetzen (vgl. HACKER et al. 2010). Ein Bemessungswert für die Tragfähigkeit der Pflanzen oder der Wurzeln wird erhalten, wenn den Einwirkungen auf die Böschungen die Widerstände abgezogen werden. SCHUPPENER (1994, 2001) rechnet hierbei mit einem durchschnittlichen Sicherheitswert von 1,4 zum Auszugswiderstand (vgl. Abb. 17, 18; HACKER et al. 2010; HACKER & JOHANNSEN 2012). Der Böschungswinkel wird in dieser Formel nicht weiter berücksichtigt, da er bei den abtreibenden Kräften integriert ist. Mit steigender Böschungsneigung erhöhen sich nämlich auch diese mit steigender Böschungsauflast.

$$\eta \text{ (Sicherheit)} = \frac{\text{b (Kohäsion + Reibung) + Z (Wurzeln)}}{\text{T (abtreibende Kraft mit Auflast)}}$$

$$Z = 1{,}4 \text{ (Sicherheit)} \times T - R \text{ (Reibung)} - K \text{ (Kohäsion)}$$

Abb. 17: Einfache Formel zur Berechnung der Böschungsstabilität und Tragfähigkeit der Wurzeln (verändert nach SCHUPPENER 1994, 2001; FLORINETH 2004).

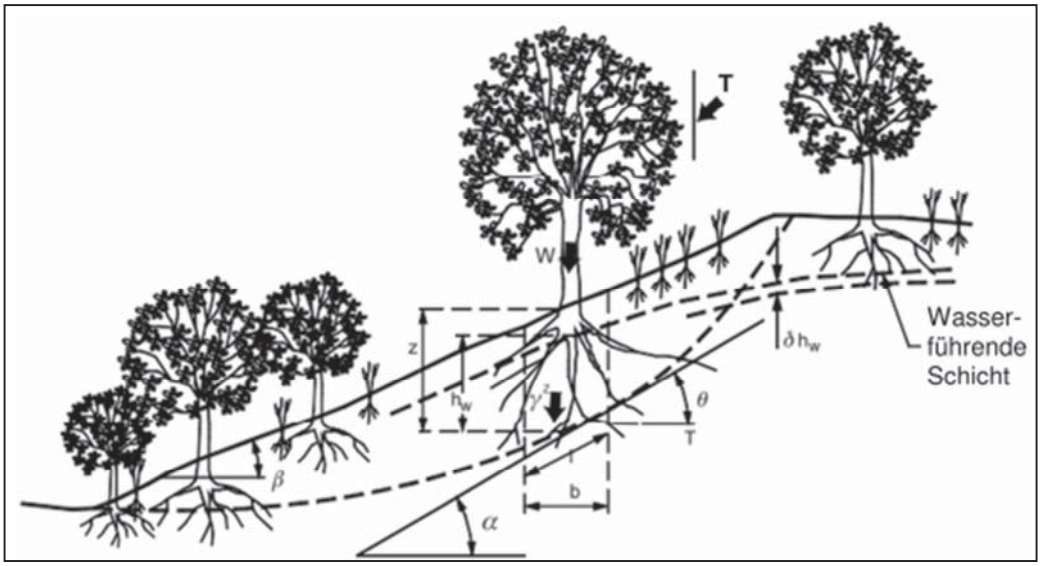


Abb. 18: Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Böschungsstabilität einer mit Gehölzen bewachsenen Böschung (Zeichnung verändert nach SUÁREZ 2011).

Weiterführende Zugversuche und Untersuchungen zum Beitrag von Pflanzen auf die Böschungssicherheit auf der Basis dieser Berechnung ergaben, dass nicht die Festigkeit des Pflanzenmaterials, sondern der Ausziehwiderstand der Pflanzen bzw. die Verbundfestigkeit zwischen Pflanzen und Boden der maßgebende Faktor ist. Durch die Verwurzelung der Pflanzen steigt die Verbundfestigkeit im Laufe der Zeit auf den vier- bis fünffachen Wert an (SCHUPPENER 1994, 2001).

Im Südosten Englands wurde die Zugfestigkeit von *Crataegus monogyna* und *Quercus robur* mittels Zugversuchen an Autobahnböschungen auf stark bindigen Tonböden un-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

tersucht. Bei den Versuchen wurde *Crataegus monogyna* ein durchschnittlicher Auszugswiderstand von 8 mPa und *Quercus robur* ein durchschnittlicher Auszugswiderstand von 7 mPa nachgewiesen (vgl. NORRIS 2005).

FLORINETH (2004) gibt minimale und maximale Auszugswiderstände von Gehölzen, vor allem von Weiden und Erlen, an. Die minimalen und maximalen dargestellten Auszugswiderstände sind sehr unterschiedlich, was u. a. an der relativ großen Alterspanne der untersuchten Gehölze zu liegen scheint (vgl. FLORINETH 2004).

Auch weitere Autoren geben mehrere Gehölzarten mit verschiedenen Bemessungswerten zum Auszugswiderstand an. Weitere Einflussfaktoren wie Alter, Standortbedingungen, Art und Größe (Länge und Durchmesser) der Wurzeln werden hierbei nicht näher betrachtet (vgl. SCHIECHTL 1973; GRAY & SOTIR 1996; OPLATKA 1998; STOKES 2002).

Für ingenieurbiologische Baumaßnahmen mittels Anpflanzung oder Ansaat bedeutet diese Steigerung der Tragfähigkeit durch zunehmende Wurzelverzahnung, dass zusätzliche Auflast, bedingt durch Biomasse (Pflanzenteile und Humusschicht), welche auf die Böschung wirkt, deutlich ausgeglichen wird. Mithilfe der Stabilitätsberechnungen von SCHUPPENER (2001) lässt sich deshalb die langfristige Standsicherheit einer durch Gehölzansaaten begrünten Böschung auf begrenzter Fläche nachweisen. Bislang sind bereits mehrere Untersuchungen zur Wurzelvernetzung oder -verknüpfung durchgeführt und teilweise Simulationsmodelle entwickelt worden, welche sich wie SCHUPPENER (1994) als Berechnungsgrundlage auf den COULOMBschen Reibungsansatz stützen (vgl. TOBIAS 1992). Neu an diesen Modellen ist der Ansatz, bei den Berechnungen zur Hangsicherheit ganze Vegetationsbestände zu betrachten (vgl. ROERING et al. 2003; van BEEK et al. 2005; SCHWARZ et al. 2008). Auf Grundlage des „Wurzelbündel Modell“ von SCHWARZ (2008) ist es möglich, die Stabilität von verschiedenen Waldstandorten an Hängen großflächig anhand der Verteilung der Bäume mittels Laser abzuschätzen. Dieses Modell kann als ein weiterer Ansatz, die auf die Wurzelsysteme einwirkenden mechanischen Wechselwirkungen zu berechnen, gelten. Im Gegensatz zu den Berechnungen von SCHUPPENER (2001) kann in diesem Modell berücksichtigt werden, dass größere Wurzeln brechen und kleinere Wurzeln bei Zugbelastung aus dem Boden gerissen werden. Bei einer Belastung brechen nicht alle Wurzeln gleichzeitig, da sie unterschiedlich lang und dick sind (SCHWARZ et al. 2008).

SCHIECHTL (1973) machte bereits in den 70er Jahren ähnliche Beobachtungen bezüglich steigender Zugfestigkeit und sinkender Scherfestigkeit bei zunehmendem Wurzeldurchmesser. Die sog. „Zugwurzeln“ (HACKER & JOHANNSEN 2012) oder „Zugankerwurzeln“ (SCHIECHTL 1973) gelten als zugfester als Stücke der übrigen Wurzelteile, da sie in tiefere Bodenschichten vordringen. In Form einer hangabwärts gerichteten „Stützwurzel“ (HÄHNE 1985a) stellen die Zugankerwurzeln beispielsweise gegen die vom Oberhang her drückenden Erdmassen so eine tiefgründige Verankerung dar (ebd.). NORRIS (2005)

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

unterscheidet bei den Zugversuchen nach ähnlichen morphologischen Wurzelausprägungen (Verzweigung, Gabelung und Länge) drei verschiedene Typen. Charakteristisch für den Wurzeltyp A ist die große Länge ohne oder mit wenigen Verzweigungen. Dieser Typ wird unter großem Kraftaufwand eher herausgezogen, als dass die Wurzel bricht. Hierbei handelt es sich eindeutig um eine Zugankerwurzel. Auch WAISEL (2002) teilt diese Beobachtungen und bescheinigt den Zugankerwurzeln einen hohen Bruchwiderstand. Die beiden anderen von NORRIS (2005) untersuchten Wurzeltypen A und B sind deutlich dünner, kürzer und verzweigter, dementsprechend sind sie besser mit dem Boden „verdübelt" (HACKER & JOHANNSEN 2012) und brechen bei jeweils unterschiedlichen Belastungsgraden eher (vgl. WAISEL & ESHEL 2002; NORRIS 2005). Solche „Dübelwurzeln" (HACKER & JOHANNSEN 2012) vernageln den Boden und übertragen Querkräfte zur Bruchfläche unter Ausnutzung der Scherfestigkeit (ebd.).

Im „Wurzelbündel Modell" von SCHWARZ (2002) wird davon ausgegangen, dass Wurzeln bei einer Dehnung um 10 % reißen. Wenn eine Bodenmassenverschiebung beispielsweise um 20 mm Breite geschieht, brechen nur die kleineren Wurzeln, deren maximale Dehnung erreicht worden ist. Größere Wurzeln bleiben intakt und somit die Böschung stabil. Innerhalb dieses Modells lassen sich so für eine beliebige Wurzelstruktur die komplexe Spannungs-Dehnungsbeziehung und die maximalen Zugkräfte berechnen. Zur Berechnung der Stabilität eines Hangwaldes wird zudem Augenmerk auf die Überlappung der Wurzelsysteme benachbarter Bäume gelegt, um die räumliche Verteilung der Bäume mit einzubeziehen (vgl. SCHWARZ et al. 2008). Zur großflächigen Abschätzung der Stabilität unter Hangwäldern scheint dieses Modell geeignet zu sein. Die bodenbiologischen und bodendynamischen Entwicklungen innerhalb der Waldbestände werden hierbei außer Acht gelassen. Dies hat bei einem sich in einer nahezu sukzessiven „Endphase" (JOHANNSEN & HACKER 2009) befindenden Waldbestand auch keine so große Relevanz wie bei den sich noch in der Boden- und Bestandsentwicklungsphase befindlichen, mittels Gehölzansaaten begrünten Rohbodenböschungen.

Wie an den vielen vorangegangenen Beispielen zu Zugversuchen und großflächigen Stabilitätsabschätzungen an bewaldeten Hanglagen und den daraus entwickelten Modellen zu sehen ist, beruhen Werte zur Berechnung eines mittels Gehölzansaaten begrünten Böschungsstandortes aufgrund der vielen mit einzubeziehenden Faktoren wie Gehölzart, -alter und Standortbedingungen häufig auf Erfahrungswerten. Möglich wäre beispielsweise bei der Formel von SCHUPPENER (1994, 2001) die Einbringung von Durchschnittswerten für verschiedene Gebüsche auf unterschiedlichen Böschungsstandorten. Des Weiteren muss in der Formel der Faktor Zeit Berücksichtigung finden, unter dem sich die sukzessive Entwicklung eines Gehölzbestandes mit ober- und unterirdischem Biomassezuwachs sowie die Bildung einer Humusschicht verbirgt. Diese zusätzlichen, die Böschungssicherheit betreffenden Auflasten werden erfahrungsgemäß, wie bereits erwähnt, durch die steigende Wurzelverzahnung der Gehölze untereinander und mit dem Boden deutlich ausgeglichen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

4.7 Ökonomische Aspekte zur Unterhaltung von biotoptypenbasierten Gehölzansaaten

In der Ausführung (Material und Arbeitskraft) ist eine Gehölzansaat als Begrünungsmethode deutlich kostengünstiger als eine Pflanzung; Kosten u. a. für eine Oberbodenandeckung entfallen hierbei völlig (OBERNOLTE 2006). Auch langfristig gesehen scheint die Ansaat zur Etablierung eines Gehölzbestands sich wirtschaftlich zu rentieren (vgl. SCHLIERER 1984; BRÜCKNER 1995; OBERNOLTE 2006).

Die Bestandsentwicklung auf einer Verkehrswegeböschung erfolgt in verschiedenen Sukzessionsrichtungen. Der größte Teil des Gebüschbestands auf einer Rohbodenböschung entwickelt sich primär progressiv, von anderen, das vitale Pflanzenwachstum beeinträchtigenden oder beeinflussenden Faktoren ungestört. An den Böschungsrändern in Fahrbahnnähe ist eine stetige Beeinflussung durch den Straßenverkehr gegeben, die sich auf die Bestandsentwicklung in Form einer diszessiven Sukzessionsrichtung auswirkt. Durch Pflegeeingriffe an der Böschung wird eine zyklische Sukzessionsrichtung in der Bestandsentwicklung eingeschlagen. Charakteristisch für diese Sukzessionsrichtung sind die stetig wiederkehrenden, die Bestandsentwicklung beeinflussenden Ereignisse (vgl. Kap. 4.3; DIERSCHKE 1994). Die Intensität einer Bestandspflege wird an Verkehrswegeböschungen im Wesentlichen durch den Erhalt der Standsicherheit und somit auch der Verkehrssicherheit bestimmt.

Die vom Bundesgerichtshof (BGH) definierte allgemeine Verkehrssicherungspflicht besagt, dass jeder - in diesem Fall die Kommunen -, der einen Verkehr eröffnet und damit Gefahrenquellen schafft, notwendige Schutzvorkehrungen gegen die daraus für Dritte resultierenden Risiken zu treffen hat. Zur Gefahrenbeseitigung müssen objektiv erforderliche und nach objektiven Maßstäben zumutbare Maßnahmen, also hier Pflegemaßnahmen, ergriffen werden (vgl. BGH-Urteil vom 21.01.1965, bestätigt durch BGH-Urteil vom 04.03.2004). Im Rahmen dieser Pflicht werden regelmäßige Straßenkontrollen gefordert, wobei davon ausgegangen werden kann, dass der Pflegeaufwand auf Einschnittsböschungen mit extremen Standortbedingungen aufgrund des relativ geringen Biomassezuwachses deutlich geringer ist als auf Böschungen mit Oberbodenandeckung und gepflanzten Beständen (vgl. FLL 2004).

Auf Böschungen in Schattlage ist generell mit einem intensiveren Pflegeeinsatz zu rechnen als auf zur Sonne exponierten Böschungen, da hier im Laufe der natürlichen Sukzession mit dem Einsetzen der Waldentwicklung zu rechnen ist (vgl. ELLENBERG 1996). Dementsprechend müssen dann die die Böschungssicherheit gefährdenden höherwüchsigen Gehölze öfter zurückgeschnitten oder auf den Stock gesetzt werden, so dass eine zyklische Sukzession einsetzen kann (vgl. Kap. 4.3; DIERSCHKE 1994). Um also langfristig eine Sträucherdominanz auf solchen Vorwaldstandorten zu erhalten, wird gemäß FGSV (2006) im Merkblatt für den Straßenbetriebsdienst - Teil Grünpflege -

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

empfohlen, alle 10 - 15 Jahre die Strauchbestände mehr oder weniger regelmäßig auf den Stock zu setzen. Für einzelne Bäume wird gezieltes Auslichten empfohlen (FGSV 2006).

Der Lichtraum an Verkehrsflächen muss durch regelmäßiges Rückschneiden entlang der Trassen verkehrssicher gehalten werden. Hierzu gibt es im Merkblatt einige Hinweise zum naturschutzgerechten Geräteinsatz. Grundsätzlich soll handgeführten Schnittgeräten stets der Vorzug gegeben werden. Jedoch können angebaute Schnittgeräte wie Freischneider in Form eines Messerbalkens oder mehreren montierten Kreissägen zum seitlichen Beschneiden von Gehölzaufwuchs mit dünnen Ästen bei langsamer Fahrt verwendet werden. Bei dickeren schräg abstehenden Ästen wird von einem Gehölzrückschnitt mit angebauten Schnittgeräten abgeraten, da hierdurch lange zerfaserte Schnittstellen entstehen, die das Eindringen von Pilzen begünstigen können. An Bundesfernstraßen sind angebaute Schnittgeräte aus diesem Grund nur an schmalen Mittelstreifen zulässig. Bei durch Rückschnitt mit Balkenschneidern entstandenen ausgefaserten dickeren Ästen ist ein Nacharbeiten mit Handgeräten notwendig (vgl. ebd.).

Weitere Pflegemaßnahmen, die den gesamten Böschungsbestand betreffen, sollen zum Schutz von Kleintieren und Insekten an Verkehrswegeböschungen abschnittsweise - in Abschnitten mit max. 50 m Länge - und das „Auf-den-Stock-setzen“ nur selektiv durchgeführt werden (vgl. ebd.).

Die Leistungen der Bestandspflege sind für Begrünungen durch Gehölzansaaten in der DIN 18918 und DIN 18919 festgelegt. Bei Gehölzansaaten auf Straßenverkehrswegeböschungen gelten zudem die ZTV La-StB und die RAS-LP 2. Im Straßenbau wird wie auch im Landschaftsbau bei der Pflege von Vegetationsflächen in Fertigstellungs-, Entwicklungs- und Unterhaltungspflege unterschieden (vgl. FGSV 2006; BMVBS 2005).

Ziel der Fertigstellungspflege ist es, mittels durchgeführter Begrünungsmaßnahmen den abnahmefähigen Zustand zu erreichen, welcher eine gesicherte Weiterentwicklung der Begrünung gewährleisten soll. In der DIN 18918 für ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen wird der abnahmefähige Zustand definiert, der in der Regel nach einer Vegetationsperiode geprüft wird. Da die Keimung bei den meisten Gehölzarten wesentlich später eintritt und länger andauert als bei Gräsern und Kräutern, ist der abnahmefähige Zustand bei einer Gehölzansaat laut DIN 18918 dann erreicht, wenn „… das Saatgut und die Mulchdecke ordnungsgemäß ausgebracht worden und beigemischte Gräser und Kräuter gleichmäßig aufgelaufen sind.“

Die Entwicklungs- und Unterhaltungspflege beinhaltet Leistungen und Maßnahmen, mittels derer das Begrünungsziel erreicht wird (DIN 18919:1990-09). Als Begrünungsziel an extremen Verkehrswegeböschungen ist die Entwicklung zu einem funktionsfähigen Gebüsch als Endbestand vorgesehen, da andere Pflanzenbestände - wie Hochwald - die Böschungsstabilität und damit die Verkehrssicherheit nicht gewährleisten können. Im

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Straßenbau verfolgt die Verwendung von Gehölzansaaten also neben dem landschaftsgärtnerischen Begrünungsziel die ingenieurbiologische Sicherung einer Böschung als Hauptaufgabe.

In der Entwicklungspflege werden alle Leistungen erbracht, die zur Erzielung eines funktionsfähigen Zustandes der Vegetation erforderlich sind. Die Dauer der Entwicklungspflege beträgt in der Regel drei Jahre. Bei der Unterhaltungspflege geht es im Anschluss darum, den funktionsfähigen Zustand des Gebüschbestands zu erhalten (FGSV 1993; 2006).

Zur Erzielung eines Endbestands können folgende Maßnahmen Umsetzung finden:

- Mahd der Ammenansaat 6 - 10 Wochen nach der Aussaat,
- ergänzende Pflanzungen und Ansaaten bei Ausfällen,
- allmähliche Unterdrückung nicht standortgerechter Pionierarten,
- gelegentliches selektives Auf-den-Stock-setzen,
- gezieltes Auslichten von Bäumen.

Die RAS-LP 2 sieht für Hecken und Feldgehölze eine nachhaltige und regelmäßige Verjüngung durch das Auf-den-Stock-setzen im Winterhalbjahr im Abstand von etwa 10 - 15 Jahren vor. Zur dauerhaften Erhaltung der Biotopfunktion soll hierbei die Verjüngung selektiv oder gruppenweise erfolgen. Punktuelles Durchwachsen von Bäumen ist dabei erwünscht (ebd.).

Laut RAS-LP 2 werden Hecken und Feldgehölze den Biotopen zugerechnet, von daher kann die durch eine Gehölzansaat etablierte der natürlichen Vegetation ähnliche Gebüschgesellschaft zur Bestimmung des Pflegeeinsatzes einem Biotoptyp zugeordnet werden (vgl. Kap. 4.3). Wenn ein bestimmter Biotoptyp in einem speziellen Sukzessionsstadium gehalten, in diesem Fall ein nordexponiertes Gebüsch im Vorwaldstadium, oder wenn ein bestimmtes Entwicklungsziel erreicht werden soll, muss gemäß RAS-LP 2 eine nachhaltige Pflege gewährleistet sein (vgl. FGSV 1993). Laut OBERNOLTE (2006) kann bei einer Gehölzansaat erst nach frühestens 10 Jahren durch gezielte Pflege eine Lenkung der Vegetationsstruktur erfolgen. Frühere Pflegearbeiten wie Wässerung, Düngung etc. sind nicht erforderlich; eine Mahd ist aufgrund der möglichen Schädigung von Gehölzkeimlingen abzulehnen (OBERNOLTE 2006).

Voraussetzung für einen geringen Pflegeaufwand ist der Verzicht auf schwer zu verdrängende Pionierarten und die sparsame Verwendung von Pioniergehölzen. Bei extremen Böschungsstandorten ist die Ergreifung besonderer Pflegemaßnahmen in der Regel nicht notwendig, da dort das Wachstum von Gehölzen aufgrund der schlechten Entwicklungsbedingungen stark begrenzt ist und sich deutlich langsamer vollzieht. Wie bereits zu Beginn des Kapitels erwähnt, erfolgt bei der Entwicklung des Bestands eine

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

fast natürliche Ausdünnung (vgl. FGSV 1983; FLL 1999; BMVBS 2005; JOHANNSEN & HACKER 2009).

Zudem wird das Höhenwachstum der unter besseren Bedingungen größer werdenden Gehölze eingeschränkt und das intensive Wurzelwachstum, das ein Kippen verhindert, verstärkt (SINN k. A.). Demnach sind auf solchen Böschungsstandorten mit Gebüsch als Zielvegetation über Jahre hinweg keine Rückschnittmaßnahmen im Rahmen der Entwicklungs- und Unterhaltungspflege zu erwarten (vgl. BRÜCKNER 1995; OBERNOLTE 2006).

Der Zusammenhang zwischen Artenzusammensetzung, Aufwuchs und Pflege von Gehölzansaaten (vgl. Kap. 2) besteht also vor allem am Böschungsstandort. So entwickeln sich beispielsweise auf sonnenexponierten, trockenen, flachgründigen Hängen bestimmte Gebüsche als sukzessives Endstadium (vgl. Kap. 4.2.). Auf zonalen Böschungsstandorten mit für Gehölze nahezu optimalen Wachstumsbedingungen ist ein erhöhter Pflegeaufwand zu erwarten, da sich hier natürlicherweise Waldgesellschaften etablieren würden. An solchen Böschungsstandorten muss an Straßenböschungen durch Pflegeeingriffe eine Vorwaldgesellschaft der sukzessiven Anfangsphase erhalten werden (vgl. Kap. 4.3). Generell gilt hierbei: Je extremer die Standortbedingungen (extrazonal) sind, desto geringer ist der Pflegeaufwand.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

5 Synergieeffekte biotoptypenbasierter Zielvegetation

Die in Kap. 4 erarbeiteten Grundlagen im Kontext mit der Funktion und Wirkung ingenieurbiologischer Bauweisen nach SCHIECHTL in ZEH (2007) lassen die Schlussfolgerung zu, dass sich die Gehölzansaat im Vergleich zu anderen Begrünungsmethoden als eine Kombinationsmöglichkeit von sicherungstechnischen, ökologischen, naturschutzfachlichen, gestalterischen und finanziellen Anforderungen bezüglich der Definition eines gemeinsamen Vegetationsziels herausgestellt hat (vgl. Abb. 19).

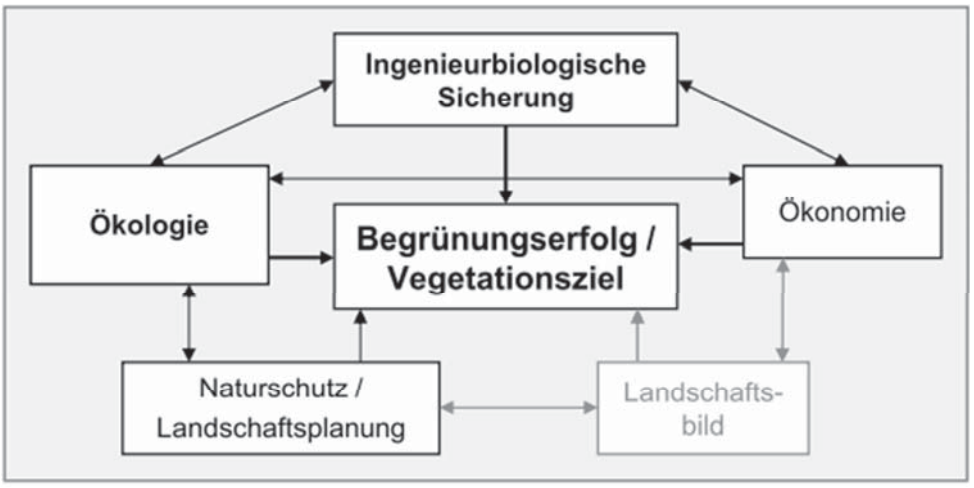


Abb. 19: Das gemeinsame Vegetationsziel und die Zusammenhänge der verschiedenen Ansprüche an Funktion und Wirkung von Gehölzansaaten (eigene Darstellung).

Der gestalterische Aspekt von angesäten Gehölzbeständen ist aus Gründen der Vollständigkeit mit aufgenommen worden und wird daher in Abb. 19 in grau dargestellt. Die ästhetischen Wirkungen von gesäten Gebüschen auf Verkehrswegeböschungen auf Nutzer und Nutzerinnen in der Landschaft können nicht durch Böschungsevaluationen erhoben werden, hierfür müssten Befragungen durchgeführt und ausgewertet werden. Aussagen zur Wirkung von Gehölzbeständen auf das Landschaftsbild an Verkehrswegeböschungen sind im Folgenden daher nur von allgemeiner Art und nicht speziell auf Gehölzbestände, die sich aus nur sich langsam entwickelnden Gehölzansaaten entwickelt haben, bezogen. Die weiteren genannten, in Abb. 19 dargestellten Ansprüche an Funktion und Wirkung von Gehölzansaaten sind mittels Fachliteratur und Böschungsevaluationen erhoben und ausgewertet worden.

Mittels Ansaat initiierte Gehölze können sich von Entwicklungsbeginn an auf die speziellen Standortbedingungen einer Böschung einstellen. Den ersten Schutz der Böschung vor Oberflächenerosion übernehmen nach der Ansaat die Begrünungshilfsstoffe (Mulch, Kleber etc.) und bis zur Gehölzentwicklung eine Zwischenbegrünung (vgl. Kap. 4.5). Die Einstellung an den Standort erfolgt innerhalb eines Bestands durch das Etablieren und den Ausfall bestimmter Arten, so dass eine pflanzensoziologische Entwicklung zu beobachten ist. Die Dominanz bestimmter Arten innerhalb eines Gebüsches wird zum ei-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

nem durch die abiotischen Standortfaktoren und zum anderen durch biotische Faktoren wie Konkurrenzen, Synergien und Allelopathien zwischen den einzelnen Arten untereinander und auch zwischen den einzelnen Individuen einer Art geprägt (vgl. Kap. 4.3). Dies lässt sich auch im unterirdischen Bereich an der Wurzelentwicklung ablesen, so sind die Wurzelausprägungen der einzelnen Arten nicht nur abhängig von den Standorteigenschaften, sondern auch von der Bestandsdichte und -zusammensetzung. Laut TOBIAS (1992) und SCHLÜTER (1996) ist die natürlicherweise auf einen bestimmten Böschungsstandort vorkommende Gebüschgesellschaft - mit Arten, die über besondere biotechnische Fähigkeiten verfügen (vgl. Kap. 4.1) - die am besten an den Standort angepasste und somit in Hinblick auf die Wurzelverzahnung die mit der höchsten Stabilität (vgl. Kap. 4.6).

Die Definition des Vegetationsziels orientiert sich in dieser Arbeit an Biotoptypen, da sie, im Gegensatz zu Pflanzengesellschaften, die vorrangig an der Zusammensetzung der Vegetation ausgerichtet sind, standortbezogen sind. Dies erleichtert die Bestimmung der biotoptypenbasierten Zielvegetation auf einem bestimmten Standort in der praktischen Anwendung. Zudem bietet die Ausrichtung nach Biotoptypen eine Verknüpfungsmöglichkeit im Rahmen des Biotopwertverfahrens mit den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftsplanung (vgl. 4.3; BMVBS 2011).

Jeder Gebüsch-Biotoptyp enthält verschiedene Gehölzarten, die im Wesentlichen drei verschiedene Wurzelstrategien verfolgen. Da in jedem Gebüsch verschiedene Gehölzarten mit ähnlichen oder gleichen Wurzelstrategien vorkommen, wird in allen naturnahen Gebüschen eine optimale Wurzelverzahnung erreicht. So verfolgen im Laubgebüsch trockenwarmer Standorte (BT), dem *Pruno-Ligustretum,* beispielsweise *Ligustrum vulgare* die Strategien 1 und 3 (Flach- und Intensivwurzler) und *Prunus spinosa* die Strategien 1 und 2 (Flach- und Spaltenwurzler). Die gleichen Wurzelstrategien ergreifen *Cornus sanguinea* (1, 3), *Rosa canina* (1, 2) und *Rhamnus cathartica* (3) in rosendominierten mesophilen Gebüschen (BMR), dem *Rhamno-Cornetum sanguineii*. Im bodensauren Faulbaumgebüsch (BSF), dem *Frangulo-Rubetum,* werden *Frangula alnus* die Wurzelstrategien 1 und 2, *Rubus plicati* die Strategie 1 und *Sambucus nigra* die Strategien 1 und 3 zugeordnet. Das bodensaure Ginstergebüsch (BSG), zugeordnet dem *Rubo plicati-Sarothamnetum,* enthält mit der Kennart *Cytisus scoparius* einen Tiefwurzler der Strategien 2 und 3 (vgl. Kap. 4.6.1).

Im Gegensatz zu natürlichen Hangstandorten sind Gehölzbestände an Verkehrswegeböschungen vielfältigen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt, die zusammen mit den natürlichen Standortfaktoren der Vegetationsentwicklung zusätzliche Anpassungsfähigkeit abverlangen. Zu den anthropogenen, die Vegetation beeinflussenden Faktoren zählen: veränderte Bodeneigenschaften, u. a. durch Verdichtung und künstliche Aufschüttungen. Des Weiteren können nutzungsbedingte Einflüsse durch den Eintrag von Schad-, Nährstoffen, Feinstäuben und Streusalzen sowie zusätzliche Hitze- und Wind-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

entwicklung benannt werden (vgl. Kap. 4.2). Solche nutzungsbedingten Einflüsse beeinflussen nicht nur die Vegetationsentwicklung, sondern wirken auch störend auf die VerursacherInnen. Zur Verminderung nutzungsbedingter Nebenwirkungen von Verkehrswegen jeglicher Art ergeben sich weitere Anforderungen an die ökologischen Funktionen einer Verkehrswegebegrünung. Als ökologische Funktionen eines naturnahen Gehölzbestands auf einer Verkehrswegeböschung lassen sich daher folgende nennen: Bodenverbesserung, Verbesserung des Mikro- und Lokalklimas, Windschutz, Immissionsschutz, Lärmschutz, Lebensraum für Tiere (vor allem Insekten und Vögel) und Biotopverbund (vgl. SCHLÜTER 1996; ZEH 2007; BLOEMER 2009). Die zuletzt genannten Aspekte gehen nahtlos in die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftsplanung über und bestätigen den Forschungsansatz, ein biotoptypenbasiertes Vegetationsziel zu verfolgen (vgl. Kap. 4.3).

Ein weiteres Anliegen des Naturschutzes ist der Erhalt und Schutz der Biodiversität. Diesem Anliegen kann bei der Gehölzansaat durch die Etablierung eines artenreichen, naturnahen Gehölzbestands mittels der Verwendung von gebietsheimischem oder zumindest regionalem Saatgut nachgekommen werden (vgl. Kap. 4.4). Das Bundesnaturschutzgesetz liefert mit den Paragrafen über den Schutz und Erhalt von Biodiversität sowie der Eigenart und Schönheit einen wichtigen Verknüpfungspunkt und die Vorlage zur Erfüllung landschaftsästhetischer und gestalterischer Ansprüche an die Begrünung von Verkehrswegeböschungen. Demnach entspricht ein naturnaher, landschaftstypischer Gehölzbestand - der sich nur durch eine Ansaat erreichen lässt, welche die natürliche Selektion von Arten im Sukzessionsverlauf zulässt - einer wertvollen heterogenen Struktur im Landschaftsbild (vgl. WÖBSE 2002). Vielfältige naturnahe Gehölzbestände an Verkehrswegeböschungen bieten daher die Möglichkeit, das Landschaftsbild durch die Schaffung neuer Strukturen und Formen zu bereichern und dabei den Verkehrsweg in die Landschaft mit einzugliedern (vgl. ZEH 2007; HACKER & JOHANNSEN 2012). Als eine weitere gestalterische Wirkung eines Gehölzbestands an Verkehrswegeböschungen kann die Vermittlung von Raum- und Geschwindigkeitsgefühl benannt werden (HACKER & JOHANNSEN 2012).

Aus Kap. 4.7 geht hervor, dass die Ausführungs- wie auch langfristige Pflegekosten von angesäten Gehölzbeständen auf Böschungen mit extremen Standortbedingungen deutlich geringer sind als von angepflanzten. Auf Böschungen mit weniger extremen Standortbedingungen, an denen sich natürlicherweise am Ende der Sukzession ein Wald einstellen würde, ist jedoch zum Erhalt der Verkehrssicherungspflicht mit höherem Pflegeaufwand und Kosten zu rechnen. Auch hierbei kann letztlich der Schluss gezogen werden, dass eine Ansaat mit dem Entwicklungsziel eines naturnahen Gebüsches die langfristig kostengünstigste Begrünungsvariante einer Verkehrswegeböschung darstellt.

Der langfristige Erhalt der Zielvegetation kann, wie bereits in Kap. 4.7 erläutert, nur mit fachgerechten regelmäßigen Pflegeeingriffen erreicht werden. Pflegemaßnahmen wie

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

das Auf-den-Stock-setzen sollten laut FGSV (2006) nur selektiv durchgeführt werden und beeinträchtigen daher die Einbindungsfunktion in das Landschaftsbild kaum. Langfristig kann die Methode der Gehölzansaat daher zu einem, in Bezug auf Landschaftsästhetik und Artendiversität, vielfältigerem Gehölzbestand beitragen (vgl. Abb. 19).

Die Ergebnisse der Literaturauswertung zeigen, dass die Begrünungstechnik der Gehölzansaat an Verkehrswegeböschungen Potenzial für eine gute Kombination von sicherungstechnischen, ökologischen, naturschutzfachlichen, ästhetischen und ökonomischen Aspekten bietet. In der Literatur wird allerdings nur über erfolgreiche Gehölzansaaten berichtet. Gescheiterte Begrünungsversuche wurden vermutlich nicht dokumentiert. Aus diesem Grund können die Ergebnisse der Literaturauswertung nur unter Vorbehalt Berücksichtigung finden. Eine Überprüfung dieser Annahme steht daher noch aus und findet in den folgenden Kapiteln anhand der Untersuchungsergebnisse der Böschungsevaluationen statt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6 Böschungsevaluationen

6.1 Aichelbergaufstieg BAB 8

Im Zuge einer Modernisierung der Bundesautobahn 8 im Streckenabschnitt Aichelberg-Grubingen entstanden Ende der achtziger Jahre große Einschnitts- und Dammböschungen. Der Aufstieg auf die Schwäbische Alb wurde auf sechs Fahrspuren einschließlich Teilverlegung ausgebaut, und es fand eine Verringerung der Steigung auf etwa 5,5 % statt. Dadurch entstanden ein bis zu 35 m tiefer Einschnitt und bis zu 30 m hohe Dammböschungen mit einer Neigung von 1 : 3. Die Begrünung mittels Ansaat erfolgte aufgrund des Bauablaufes in mehreren Abschnitten zeitlich verschoben. Nur bei den ältesten Ansaaten im oberen Bereich der Einschnittsböschungen aus den Jahren 1987/ 88 handelt es sich um Gehölzansaaten, die im Folgenden im Jahr 2008 evaluiert und ausgewertet worden sind (vgl. Abb. 20; BRÜCKNER 1995).

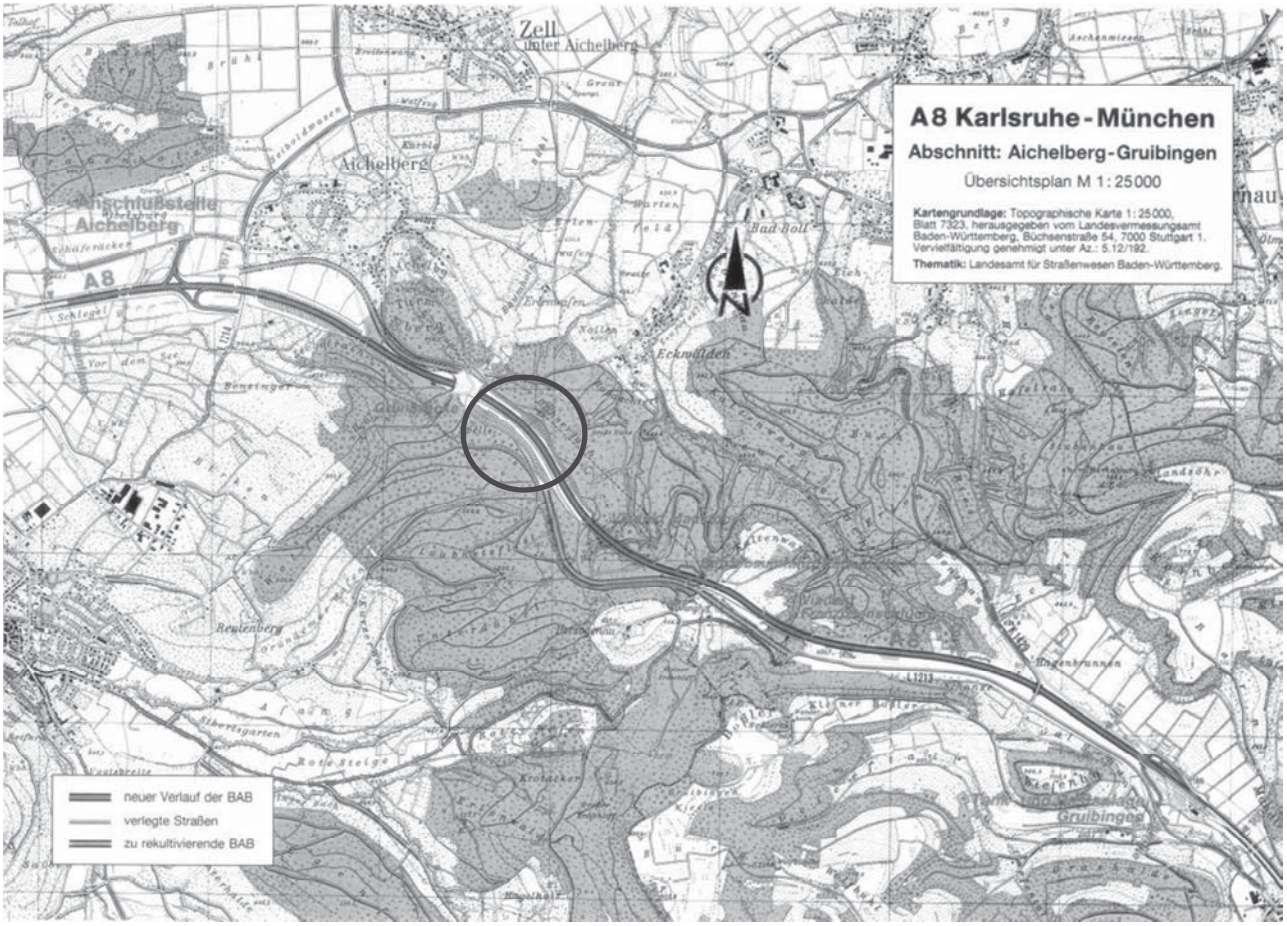


Abb. 20: Lage der Ansaatflächen Aichelberg, veränderter Maßstab (Karte verändert nach GLAßER k. A.).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die Ansaatfläche befindet sich in der Mittleren Kuppenalb, einer Untereinheit der Schwäbischen Alb an der BAB 8 Stuttgart-Ulm zwischen Aichelberg und Grubingen.

Die Schwäbische Alb bildet als hügelreicher Höhenzug mit Höhen von bis zu 1000 m eine Art Rückgrat, das Süddeutschland vom Hochrhein bis zum Frankenwald durchzieht und die größte Karstlandschaft Deutschlands darstellt. Die Mittlere Kuppenalb grenzt nach Norden deutlich mit einem vielzerlappten Albtrauf gegen das mittlere Neckarland und bildet nach Süden mit Höhen zwischen 800 und 850 m eine deutliche Stufe zur Niederen Flächenalb (650 bis 750 m hoch). Nach Westen zur Hochalb und nach Osten zum Albuch hin sind die Übergänge als eher fließend zu bezeichnen (vgl. Tab. 8; MEYNEN et al. 1961).

Abb. 21: Blick aus nord-nordwestlicher Richtung auf die Ansaatflächen (Bild GLAßER k. A.).

Als Vegetationsziel ist im oberen Bereich der nordostexponierten Böschung ein Waldmantel anzusehen, darunter in Straßennähe aus Gründen der Straßenverkehrssicherheit ein mesophiles Gebüsch (BM). An der südwestexponierten Böschung kann von einem kalkhaltigen wärmeliebenden Gebüsch (BTK) als Zielvegetation ausgegangen werden (vgl. Kap. 4.4). Die bei der Ansaat verwendeten Gehölze setzen sich aus Arten der standortbezogenen Wald- und Gebüschgesellschaften zusammen, die den Klimaxzustand darstellen. Darüber hinaus enthielt die Ansaatmischung Arten der standortbezogenen Sukzessionsstadien wie Pionier- und Vorwaldarten.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 8: Standort - Steckbrief (vgl. MEYNEN et al. 1961; OBERDORFER 1992b; DEUTSCHER WETTERDIENST 2009; LUBW 2011).

Topografie	**Expositionen**	**Größe**	**Höhenlage**
zwei sich gegenüberliegende Einschnittsböschungen	Schattenhang: Nordost Sonnenhang: Südwest	Länge: ca. 1000 m Breite: ca. 35 m	Bis ca. 650 m ü. NN
Geologie	**Boden**	**Relief**	**Alter**
Braunjura Alpha (Opalinston), Braunjura Beta (Tonsteinschichten im Wechsel mit Kalksandsteinschichten) und Braunjura Gamma (schluffiger Tonstein)	steinige und geringmächtige Kalkstein-Rendzinen mit z.T. wasserstauenden Ton- und Mergelrohböden	Flache Böschung mit Terrassierung (Böschungsneigung 1 : 3)	20 - 21 Jahre (1987/ 88)
Klima	**Temperatur**	**Niederschläge**	**Wasserhaushalt**
Entsprechend der Höhenlage thermophil / trockenwarm	Jahresmittel: 6,5° C Januar: -1,5° C Juli: 15,5° C	Zwischen 1100 mm (Traufseite) und 770 mm	je nach Exposition der Böschungen und wasserstauenden Tonschichten wechseln trockene mit frischeren bis feuchteren Hangbereichen ab
Extrazonale Zielvegetation	**Angrenzende Vegetation**	**Aufgabe und Funktion**	**Vegetation und Nutzung im Umfeld**
BTK/S und BM: Ligustergebüsch (*Pruno-Ligustretum*), Rosengebüsch (*Corylo-Rosetum*), Hartriegelgebüsch (*Rhamno-Cornetum*), Weißdorn- Schlehen-Gebüsch (*Crataego-Prunetum spinosae*)	Waldlabkraut-Hainbuchen-Traubeneichen-Wald *(Galio- Carpinetum)* Ahorn-Linden-Blockwald *(Aceri-Tilietum)* Sommerlinden-Mischwald (*Tilienion platyphylli*) PnV (potenziell natürliche Vegetation): Buchenwald (*Carici-Fagetum*)	Sicherung einer Straßeneinschnittsböschung durch die Etablierung eines Gehölzbestands	Waldflächen und forstwirtschaftliche Nutzwege Trasse der BAB 8: Beeinträchtigungen durch Einträge von Salz und Emissionen und Pflegemaßnahmen

Die überwiegende Zahl der Gehölze kann mehreren Sukzessionsstadien der angestrebten Zielvegetation zugeordnet werden. Sie sichern dadurch je nach Standortdifferenzierung die potenziell möglichen Bestandsentwicklungen weitestgehend ab (vgl. BOLLENHAGEN 2003). Dies ist vor dem Hintergrund der verschiedenen Standortverhältnisse, die insbesondere aus der unterschiedlichen Exponierung der Böschungen resultieren, notwendig. Hieraus erklärt sich auch die auffällig hohe Artenzahl von insgesamt 30 Gehölzarten, die auf den Flächen angesät wurden (vgl. Tab. 9). Die Aufbringung erfolgte im maschinellen Anspritzverfahren. Ausgebracht wurde ca. 10 - 12 Gramm Saatgut je m² Böschungsfläche. Als wachstumsfördernde Zuschlagstoffe wurden Müllschlammkompost (3 l/ m²), flüssiges Natriumalginat (0,1kg/ m²), organisch- mineralischer NPK-Dünger (0,15 kg/ m²) und Cellulose (0,21kg/ m²) auf die Fläche aufgetragen. Zum Schutz der Ansaat vor Abschwemmung, Verwehung und Austrocknung erfolgte die Ausbringung einer Mulchschicht aus Stroh (0,8 kg/ m²), welche mit Curasol (0,020 kg/ m²) verklebt wurde (BRÜCKNER 2008).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 9: Gehölzarten und Mengenanteile am Aichelberg „Ansaatmischung Brauner Jura“ (BRÜCKNER 2008).

Gehölzart	Saatgutmenge in gr/ m²
Acer campestre	0,5
Acer platanoides	1,0
Acer pseudoplatanus	1,0
Alnus glutinosa	0,25
Alnus incana	0,1
Betula pendula	0,2
Carpinus betulus	0,15
Clematis vitalba	0,05
Cornus sanguinea	1,0
Fraxinus excelsior	0,4
Ligustrum vulgare	0,5
Lonicera xylosteum	0,3
Malus sylvestris	0,3
Prunus avium	0,2
Prunus mahaleb	1,0
Prunus spinosa	1,0
Pyrus communis	0,3
Rhamnus cathartica	0,3
Rosa canina	1,0
Rosa rubiginosa	0,4
Rosa glauca	0,1
Rosa spinosissima	0,2
Rubus fruticosa	0,25
Sambucus nigra	0,05
Sambucus racemosus	0,25
Sorbus aria	0,05
Sorbus aucuparia	0,2
Tilia cordata	0,2
Tilia platyphyllos	0,3
Viburnum lantana	0,5

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 10: Gehölzbestand und -ausfall am Aichelbergaufstieg (eigene Darstellung).

Fortsetzung auf nächster Seite

Südwestexponierte Böschung	Nordostexponierte Böschung
Ansaat	**Ansaat**
	Alnus glutinosa
	Alnus incana
Acer campestre	*Acer campestre*
Acer platanoides	*Acer platanoides*
Acer pseudoplatanus	*Acer pseudoplatanus*
Betula pendula	*Betula pendula*
	Clematis vitalba
Cornus sanguinea	*Cornus sanguinea*
Fraxinus excelsior	*Fraxinus excelsior*
Ligustrum vulgare	*Ligustrum vulgare*
Lonicera xylosteum	*Lonicera xylosteum*
Malus sylvestris	*Malus sylvestris*
Prunus avium	*Prunus avium*
Prunus mahaleb	
Prunus spinosa	*Prunus spinosa*
	Pyrus communis
	Rhamnus cathartica
Rosa canina	*Rosa canina*
Rosa rubiginosa	*Rosa rubiginosa*
Rosa glauca	*Rosa glauca*
Rosa spinosissima	*Rosa spinosissima*
Rubus fruticosa	*Rubus fruticosa*
Sorbus aria	*Sorbus aria*
Sorbus aucuparia	*Sorbus aucuparia*
Tilia cordata	*Tilia cordata*
	Viburnum lantana
Diasporeneintrag	**Diasporeneintrag**
Abies alba	
Cotoneaster integerrimus	*Cotoneaster integerrimus*
Crataegus monogyna	
Cytisus scoparius	*Cytisus nigricans*
	Larix decidua
	Picea abies
Pinus sylvestris	*Pinus sylvestris*
Salix caprea	*Salix caprea*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Südwestexponierte Böschung	Nordostexponierte Böschung
Ausfall	**Ausfall**
Alnus glutinosa	
Alnus incana	
Carpinus betulus	*Carpinus betulus*
Clematis vitalba	
	Prunus mahaleb
Pyrus communis	
Rhamnus cathartica	
Sambucus racemosa	*Sambucus racemosa*
Sambucus nigra	*Sambucus nigra*
Tilia platyphyllos	*Tilia platyphyllos*
Viburnum lantana	

Nach 20 Jahren haben sich auf den Böschungen relativ lichte Strauchbestände mit einer Gesamtdeckung auf der Sonnenseite von 25 - 50 % und auf der Schattenseite von 50 - 75 % entwickelt (vgl. Abb. 22).

Abb. 22: Blick vom Sonnenhang auf die Tunneleinfahrt und den Schattenhang. Im Vordergrund dominieren Rosen und dazwischen befindet sich *Cornus sanguinea* (eigenes Bild 2008).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die Sonnenseite wird von den Rosenarten, vor allem *Rosa canina* und *R. spinosissima*, *Cornus sanguinea*, *Fraxinus excelsior* und *Cytisus scoparius*, dominiert (vgl. Abb. 22).

Betula pendula ist reichlich vertreten, wobei der Birkenbestand mit stärkerer Exponierung der Böschung Richtung Westen deutlich zunimmt. Des Weiteren ist der Bestand reichlich von *Acer campestre, Prunus avium, Prunus spinosa*, *Sorbus aucuparia* und *Crataegus monogyna* durchsetzt. *Abies alba, Acer pseudoplatanus, Cotoneaster integerrimus, Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Malus sylvestris, Pinus sylvestris, Prunus mahaleb*, *Sorbus aria* und *Salix caprea* haben hier nur ein spärliches Vorkommen. *Acer platanoides* und *Tilia cordata* kommen am Sonnenhang nur vereinzelt vor. Einzelgehölze wie *Betula pendula, Fraxinus excelsior, Salix caprea* und *Sorbus aucuparia* erreichen auf dieser Seite Wuchshöhen um etwa 2 m (vgl. Tab. 10).

Auf dem Schattenhang sind *Cornus sanguinea* mit stellenweise über 50 % und *Ligustrum vulgare* bis 50 % Deckung dominierend. Weitere sehr zahlreich verbreitete Arten sind *Acer platanoides, A. pseudoplatanus, Alnus glutinosa, Fraxinus excelsior, Prunus avium, Rubus fruticosa* und *Sorbus aucuparia*. Die gesäten Rosenarten sind auf der Schattenseite nur spärlich (*Rosa rubiginosa*) bis reichlich (*Rosa canina, R. glauca, R. spinosissima*) vertreten. Als ebenfalls reichlich lässt sich das Vorkommen von *Clematis vitalba, Cotoneaster integerrimus, Rhamnus cathartica, Sorbus aria, Salix caprea* und *Tilia cordata* bezeichnen. *Alnus incana, Betula pendula, Larix decidua, Lonicera* xylosteum und Pyrus *communis* sind neben vereinzelten Exemplaren von *Acer campestre, Malus sylvestris* und *Viburnum lantana* hier nur spärlich verbreitet. Für *Prunus mahaleb* scheint der Standort zu feucht und schattig zu sein, da diese Art nur auf der nordöstlich ausgerichteten Böschung fehlt. Die Wuchshöhen von Einzelgehölzen wie *Alnus glutinosa* und *Fraxinus excelsior* betragen 3 - 4 m*. Acer platanoides, Betula pendula, Larix decidua, Picea abies, Pinus silvestris, Salix caprea* und *Sorbus aucuparia* erreichen bis 2 m Wuchshöhe am Schattenhang (vgl. Abb. 23).

Als auffällig zu bezeichnen ist die hohe Ausfallrate von 10 der ursprünglich 30 angesäten Gehölzarten auf den südwestlich ausgerichteten Flächen (vgl. Tab. 10). Die Ausfallrate der nordöstlich exponierten Seite fällt mit 4 Arten (*Carpinus betulus, Sambucus racemosa, S. nigra, Tilia platyphyllos*) deutlich geringer aus. Die gleichen 4 Arten sind auch auf dem gegenüberliegenden Sonnenhang nicht vorhanden, weswegen davon ausgegangen werden kann, dass bei diesen Arten extremere Klimabedingungen (Trockenheit und Strahlung) den Ausfall nicht hervorgerufen haben können. Extremere Klimabedingungen können aber als Grund des Fehlens der restlichen 6 Arten der südwestexponierten Böschung angegeben werden. *Alnus glutinosa, A. incana, Clematis vitalba, Pyrus communis, Rhamnus cathartica* und *Viburnum lantana* sind in der Tat wenig trockenheits- und strahlungstolerante Arten. Die Keimlinge der *Alnus*-Arten sind frostgefährdet und die Sämlinge zudem trockenheitsgefährdet. Aus diesem Grund herr-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

schen auf dem Sonnenhang für die Keimung und Sämlinge dieser Art keine optimalen Bedingungen (vgl. MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000; Tab. 46 im Anhang).

Abb. 23: Blick vom Schattenhang auf die Tunneleinfahrt und den Sonnenhang. Im Vordergrund befinden sich *Cornus sanguinea, Cotoneaster integerrimus*, *Betula pendula, Sorbus aucuparia*, sowie *Larix decidua* (eigenes Bild 2008).

Der Ausfall der genannten 4 Arten auf beiden Seiten kann mehrere Gründe haben: Die Sämlinge von *Carpinus betulus* und *Tilia platyphyllos* gelten beispielsweise als sehr frostempfindlich, was bei der Höhenlage der Böschung ein Problem darstellen könnte. Zudem ist bei der Verwendung von *Carpinus betulus* auf Rohboden eine Bodenimpfung mit Mykorrhiza obligatorisch (vgl. Kap. 4.5.3; MEYER 1978; SCHLÜTER 1996). Das Fehlen der beiden *Sambucus*-Arten ist höchstwahrscheinlich auf die vorherrschenden Standortbedingungen (Trockenheit, nährstoffarmer kalkhaltiger Boden) zurückzuführen (vgl. MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000; BÄRTELS 2008; Tab. 46 im Anhang).

Insgesamt zeigen die Ansaatflächen einen hohen Anteil adulter Gehölze schnellwüchsiger Pionierarten wie *Alnus glutinosa*, *Cotoneaster integerrimus*, *Cornus sanguinea*, *Cytisus scoparius*, *Fraxinus excelsior*, *Ligustrum vulgare*, *Prunus sp.*, *Rosa sp.*, *Rubus fruticosa* und *Sorbus aucuparia*. Die meisten anderen ausgesäten Gehölzarten weisen ausschließlich Jungwuchs auf. Einen höheren Anteil an Jungwuchs zeigen auch die Na-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

delgehölzarten *Abies alba*, *Larix decidua*, *Picea abies* und *Pinus sylvestris*. Diese entstammen ebenso wie *Cotoneaster integerrimus*, *Cytisus scoparius* und *Salix caprea* dem Eintrag von Diasporen.

Tab. 11: Ansaatmischung und tatsächlicher Gehölzbestand der südwestexponierten Böschung (eigene Darstellung).

Fortsetzung auf nächster Seite

Aichelbergaufstieg	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Gesamter Gehölzbestand	3	-	1	3	2	1	+
Arten der Ansaatmischung							
Acer campestre	1	-	-	1	1	-	-
Acer platanoides	r	-	-	r	r	-	
Acer pseudoplatanus	+	-	-	+	+	-	-
Alnus glutinosa	-	-	-	-	-	-	-
Alnus incana	-	-	-	-	-	-	-
Betula pendula	1	-	+	1	1	+	r
Carpinus betulus	-	-	-	-	-	-	-
Clematis vitalba	-	-	-	-	-	-	-
Cornus sanguinea	2	-	-	2	2	-	-
Fraxinus excelsior	2	-	-	2	-	-	-
Ligustrum vulgare	+	-	+	+	+	+	-
Lonicera xylosteum	+	-	+	+	+	+	-
Malus sylvestris	+	-	-	+	+	-	-
Prunus avium	1	-	-	1	1	r	-
Prunus mahaleb	+	-	-	+	+	-	-
Prunus spinosa	1	-	-	1	1	-	-
Pyrus communis	-	-	-	-	-	-	-
Rhamnus cathartica	-	-	-	-	-	-	-
Rosa canina	2	-	1	1	1	1	-
Rosa rubiginosa	1	-	1	1	1	1	-
Rosa glauca	+	-	+	r	r	+	-
Rosa spinosissima	2	-	2	1	1	2	-
Rubus fruticosa	1	-	1	1	1	1	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus racemosa	-	-	-	-	-	-	-
Sorbus aria	+	-	-	+	+	-	-
Sorbus aucuparia	1	-	+	1	1	+	-
Tilia cordata	r	-	-	r	r	-	-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Aichelbergaufstieg	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Tilia platyphyllos	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum lantana	-	-	-	-	-	-	-
Diasporeneintrag							
Abies alba	+	-	-	+	+	-	-
Cotoneaster integerrimus	+	-	+	-	+	-	-
Crataegus monogyna	1	-	-	1	1	-	-
Cytisus scoparius	2	-	1	1	1	1	-
Pinus sylvestris	+	-	-	+	+	-	--
Salix caprea	+	-	+	-	-	+	r

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

Die extrem trockenen und kalkhaltigen Böschungsflächen der südwestlichen Seite sind großen Schwankungen des Wetters bedingt durch die Sonneneinstrahlung und die Windeinwirkung im Zusammenhang mit starken Niederschlägen ausgesetzt. Diese Standortbedingungen haben die Entwicklung eines Rosengebüsches *(Corylo-Rosetum)* begünstigt, da an der kollinen Höhenstufe die Verbreitung des Ligustergebüsches (*Pruno-Ligustretum)* mit den Grenzen der geschlossenen Verbreitung von *Ligustrum vulgare, Rosa rubiginosa* und *Viburnum lantana* endet. In der submontanen Stufe im kühl-humiden Klima vor allem auf kalkhaltigen Böden wird *Pruno-Ligustretum* also durch *Corylo-Rosetum* ersetzt. Ist die Böschung westlicher exponiert, würde sich erneut eine Entwicklung Richtung *Crataego-Prunetum spinosae* oder *Rhamno-Cornetum* einstellen. Je nach *Rubus*-Vorkommen könnte auch hier die Entwicklung Richtung *Pruno-Rubion radulae* gehen (vgl. Kap. 4.3; Tab. 11; OBERDORFER 1992b; WEBER 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 12: Ansaatmischung und tatsächlicher Gehölzbestand der nordostexponierten Böschung (eigene Darstellung).

Fortsetzung auf nächster Seite

Aichelbergaufstieg	Gesamtdeckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Krautschicht < 80 cm	Strauchschicht < 200 cm	Baumschicht > 200 cm
Gesamter Gehölzbestand	4	-	1	4	3	3	+
Arten der Ansaatmischung							
Acer campestre	r	-	-	r	r	-	-
Acer platanoides	2	-	r	2	1	1	r
Acer pseudoplatanus	2	-	-	2	2	-	-
Alnus glutinosa	2	-	1	1	r	1	+
Alnus incana	+	-	-	+	+	-	-
Betula pendula	+	-	+	r	+	+	-
Carpinus betulus	-	-	-	-	-	-	-
Clematis vitalba	1	-	1	1	1	-	-
Cornus sanguinea	3 - 4	-	1	2	1	3	-
Fraxinus excelsior	2	-	1	1	1	1	+
Ligustrum vulgare	3	-	2	1	2	1	-
Lonicera xylosteum	+	-	+	+	+	r	-
Malus sylvestris	r	-	-	r	r	-	-
Prunus avium	2	-	1	1	1	1	-
Prunus mahaleb	-	-	-	-	-	-	-
Prunus spinosa	r	-	-	r	r	-	-
Pyrus communis	+	-	-	+	+	-	-
Rhamnus cathartica	1	-	-	1	1	-	-
Rosa canina	1	-	1	1	1	1	-
Rosa rubiginosa	+	-	-	+	+	-	-
Rosa glauca	1	-	-	1	+	-	-
Rosa spinosissima	1	-	-	1	1	-	-
Rubus fruticosa	1	-	1	1	1	r	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus racemosa	-	-	-	-	-	-	-
Sorbus aria	1	-	-	1	1	-	-
Sorbus aucuparia	2	-	1	1	1	1	-
Tilia cordata	1	-	-	1	1	-	-
Tilia platyphyllos	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum lantana	r	-	-	r	r	-	-
Diasporeneintrag							
Cotoneaster integerrimus	1	-	1	-	1	-	-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Aichelbergaufstieg	Gesamtdeckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Krautschicht < 80 cm	Strauchschicht < 200 cm	Baumschicht > 200 cm
Cytisus nigricans	2	-	2	-	2	r	-
Larix decidua	+	-	r	+	+	r	-
Picea abies	1	-	-	1	1	-	-
Pinus sylvestris	2	-	-	2	2	-	-
Salix caprea	1	-	1	1	1	1	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

Auf den flachgründigen, großflächig trockenen und kalkhaltigen Böschungsflächen der nordostexponierten Böschung haben sich Weißdorn-Schlehen-Gebüsch *(Crataego-Prunetum spinosae)* und Hartriegel-Gebüsche *(Rhamno-Cornetum)* entwickelt. An der nord- und nordostexponierten Böschung verläuft die Bestandentwicklung aufgrund der hohen Artenanzahl von *Cornus sanguinea* eher Richtung *Rhamno-Cornetum*. Nach Osten hin lässt die Verbreitung von *Cornus sanguinea* nach und die Verbreitung von *Prunus spinosa* und weiterer Kennarten des *Crataego-Prunetum spinosae* nehmen zu (vgl. 4.3; Tab. 12; OBERDORFER 1992b; WEBER 2003).

Das Vorkommen der drei *Acer*-Arten sowie *Tilia cordata* auf den nordöstlich zugewandten Seiten zeigt die erste Entwicklung zu Waldbeständen der potenziell natürlichen Vegetation. Die *Rhamno-Cornetum* und *Crataego-Prunetum spinosae* bzw. Mesophilen Gebüsche können daher als Vorwaldgesellschaften an den Böschungen angesehen werden.

Der angesäte Gehölzbestand weist im Vergleich zu einem benachbarten gepflanzten Gehölzbestand auf der Grünbrücke gemäß seiner sukzessiven Entwicklung eine gesunde Altersstruktur mit einem ausgeglichenen Verhältnis juveniler und adulter Exemplare verschiedener Arten auf. Eine Einstufung der Gehölze in adult erfolgt, sobald eine vegetative (Wurzelbrut) und/ oder eine generative (Blüten) Vermehrung ersichtlich ist (vgl. Kap. 3).

Durch den Ausfall zahlreicher Arten der Ansaat sowie der nur langsamen Entwicklung waldnaher Bestände, die vor allem auf der südwestlich exponierten Böschung auf die extremen Standortbedingungen zurückzuführen ist, nimmt die Eingliederung in das Landschaftsbild der umgebenden Waldstrukturen am Aichelbergaufstieg eine längere Zeit in Anspruch. Die naturnahen Strukturen der Liguster-, Hartriegel- und Rosen-Gebüsche gelten als sukzessive Vorläufer der Waldentwicklung und bereichern damit langfristig und nachhaltig das Landschaftsbild. Die Zerschneidungswirkung der Autobahn wird durch die Strauchstrukturen gemindert.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die auf der Grünbrücke zur gleichen Zeit gepflanzten Gehölze sind etwa gleich hoch und entsprechen in ihrer Höhe den größten aus der Ansaat hervorgegangenen Gehölzen. Zudem ist der gepflanzte Bestand wesentlich dichter als der angesäte Gehölzbestand, was eine Naturverjüngung der Gehölzpflanzung nahezu unmöglich macht. Der gepflanzte Bestand macht dadurch einen eher homogenen Eindruck.

Die Verzahnung verschiedener Wurzelsysteme eines geschlossenen Gehölzbestands bildet die Grundlage der ingenieurbiologischen Sicherheit einer Böschung. Auf beiden Hangseiten kommt mit *Acer pseudoplatanus* eine Art vor, die als Jungpflanze ein Pfahl-, als adultes Exemplar ein flaches Herzsenkerwurzelsystem und zudem auf verdichteten skelettreichen Böden wie auf diesen Standorten ein reich feinverzweigtes Wurzelsystem ausbildet. *Acer campestre* entwickelt, mit der Ausbildung von langen Feinwurzelsträngen, ein dem Bergahorn ähnliches, aber tiefergehendes Herzwurzelsystem und ist auf der südwestlich exponierten Seite mit juvenilen Exemplaren reichlich vertreten. Auf der gegenüberliegenden Böschung dominiert dagegen *Acer platanoides* mit bis zu 25 % Gesamtdeckung. Der Spitzahorn bildet ebenso wie der Bergahorn ein Herzsenkerwurzelsystem aus, jedoch mit intensiverer Durchwurzelung. Wie der Feldahorn bildet er lange Feinwurzelstränge aus und erreicht auf Kalkschutt noch größere Tiefen als der Bergahorn.

Eine weitere auf beiden Seiten sehr zahlreich vorkommende Baumart, die in ihrer Jugend eine Pfahlwurzel und als erwachsenes Exemplar ein Herzsenkerwurzelsystem ausbildet, ist *Fraxinus excelsior*. Ein anderes wichtiges Merkmal der Wurzelausbildung von *Fraxinus excelsior* ist zudem die reiche Feinverzweigung vor allem in den oberen Bodenschichten und eine gute Tiefen- und Seitenerschließung des Bodens (vgl. Kap. 4.6.1; KÖSTLER et al. 1968; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Alnus glutinosa kommt nur auf der nordöstlich exponierten Böschung vor und gilt als eine der am tiefsten wurzelnden Baumarten. Die Schwarzerle entwickelt aus ihrer jugendlichen Pfahlwurzel rasch senkrecht oder bogenförmig nach unten strebende Herzwurzeln, welche mit flachwurzelnden Gehölzen, die sich in die Seiten erschließen, eine ideale Wurzelverzahnung ergeben.

Als ebenfalls in der Jugend Pfahlwurzel- und im Erwachsenenstadium Herzwurzelausbildendes Gehölz zählt *Prunus avium*. Die Vogelkirsche kommt auf beiden Böschungsseiten vor und ihr Herzwurzelsystem ist weniger tiefreichend, sondern entwickelt sich eher tellerförmig mit großer Seitenreichweite. *Prunus mahaleb* kommt nur auf der nach Südwesten ausgerichteten Böschung vor und bildet ein Herzwurzelsystem. Auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich anstelle der Steinweichsel mit *Rhamnus cathartica* ein Gehölz mit ähnlicher Wurzelausbildung. Der Kreuzdorn bildet kriechende Achsentriebe aus, aus denen Strauchgruppen entstehen können. Auf beiden Böschungsseiten kommt mit *Prunus spinosa* eine weitere Kirschenart vor. Die Schlehe bildet zunächst

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

eine Polwurzel aus, deren Seitenwurzeln sich im Laufe des Wachstums verdicken und Senkerwurzeln mit Wurzelsprossen zur vegetativen Vermehrung bilden (POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Prunus spinosa bildet intensiv verzweigte Feinwurzelgeflechte und fördert durch Ausläufer und Wurzelsprosse die Bodenfestigung. Auch *Rosa spinosissima* zählt zu den koloniebildenden Zwergsträucherarten. Sie bildet dichte Bestände, die nur von wenigen Ausläufern anderer Arten durchsetzt werden können. Ihre Ausläufer sind lang und reich verzweigt, so dass einzelne Kolonien, die aus einem einzigen Individuum bestehen, mehrere Quadratmeter groß werden können. Wegen ihres oberflächennahen und dichten Ausläufersystems verfügt *Rosa spinosissima* über gute biotechnische Eigenschaften zur Festigung des Oberbodens von trockenwarmen oberbodenlosen skelettreichen Böschungen. Eine tiefe vertikale Wurzelausbreitung und eine sehr häufige Ausbildung von Adventivwurzeln zur tiefreichenden Bodenfestigung zählen zu den biotechnischen Eigenschaften von *Rosa canina*, welche auf der Südwest-Böschung ebenso wie *Rosa spinosissima* sehr zahlreich vertreten ist (vgl. Kap. 4.2.1; KIERMEIER 1988; TIMMERMANN, MÜLLER 1994; POLOMSKI & KUHN 1998).

Sorbus aria und *S. aucuparia* kommen auf beiden Böschungsseiten vor und bilden als Jungpflanze Senkerwurzeln, später geht die Entwicklung Richtung Herzwurzelsystem mit Senkern, wobei sie auf diesen flachgründigen Standorten eher den Flachwurzlern zugeordnet werden können. *Sorbus aucuparia* gilt als Pionier der beiden Arten, d. h. adulte und juvenile Exemplare auf beiden Seiten sind spärlich bis reichlich vorhanden. *Sorbus aria* dagegen ist nur mit juvenilen Exemplaren in spärlicher bis reichlicher Verbreitung an beiden Böschungen präsent und entspricht dadurch der Eigenschaft als Waldpionier und Humuszehrer. Die Keimung von *Sorbus aria* hat vermutlich erst nach einsetzender Humusbildung stattgefunden.

Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang auf beiden Böschungsseiten die zahlreichen Wurzelsprosse und das intensive Feinwurzelgeflecht von *Cornus sanguinea*, das den Boden in den oberen Bodenschichten sehr weitreichend durchzieht. Auch *Ligustrum vulgare* erzielt durch einen hohen Feinwurzelanteil mit einer intensiven Verzweigung und einem sehr hohen Anteil an Ausläufern und Sprossen eine sehr gute Oberbodensicherung. Beide Arten ergeben mit mitteltiefwurzelnden Gehölzen wie die *Prunus-, Sorbus-* und Rosenarten und tiefwurzelnden Bäumen wie *Alnus glutinosa, Fraxinus excelsior, Tilia cordata* und den Ahornarten eine stabile Verzahnung bis in tiefere Bodenschichten (vgl. Kap. 4.6.1; POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Aufgrund des Vorkommens der vielen, mit verschiedenen Wurzelsystemen und biotechnischen Eigenschaften ausgestatteten Gehölzarten auf beiden Böschungsseiten kann davon ausgegangen werden, dass in den Beständen eine stabile nachhaltige Wurzelverzahnung stattgefunden hat.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Im Gegensatz zu den Flächen am Schattenhang mit einer Gesamtdeckung von deutlich über 50 % haben sich auf der Sonnenseite des Aichelbergaufstiegs infolge der extremen Standortverhältnisse relativ lückige Bestände entwickelt (Gesamtdeckung unter 50 %). Aber auch hier reicht die vegetative Bedeckung des Bodens aus, um Oberfächenerosion zu verhindern.

An den Sandstein-Bermen des Schattenhangs befinden sich einige Exemplare von *Fraxinus excelsior*, welche einen Säbelwuchs aufweisen. Dies ist ein eindeutiges Indiz dafür, dass der Böschungshang noch in Bewegung ist. Da jedoch keinerlei Rutschungserscheinungen, die die Straßenverkehrssicherheit beeinträchtigen könnten, aufgetreten sind, gilt diese Böschung durch die Wurzelverzahnungen des gut mit verschiedenen Arten durchmischten Gehölzbestands als ausreichend gesichert. Auf der nach Südwesten exponierten Böschung sind weder besondere Wuchsausprägungen noch Rutschungen erkennbar, was für den Erhalt der Böschungssicherheit spricht. Die Oberbodenbedeckung scheint auch bei Starkregenereignissen auf beiden Böschungsseiten ausreichend vor oberflächiger Erosion zu schützen, da keinerlei Erosionsauswirkungen sichtbar sind.

Die tiefen und oberflächennahen Bodenschichten können daher durch die vorkommenden Gehölzarten als gesichert gelten.

Die Bestandsentwicklung beider Böschungsseiten am Aichelbergaufstieg ist, hinsichtlich der in Kap. 5. erörterten Forschungsfrage, ob Gehölzansaaten eine Kombinationsmöglichkeit von sicherungstechnischen, ökologischen, naturschutzfachlichen, ästhetischen und ökonomischen Aspekten darstellen, als ein uneingeschränkter langfristiger Begrünungserfolg anzusehen, der auch in der Praxis überzeugen sollte.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6.2 AS Pforzheim Süd / Wurmberg BAB 8

Aufgrund der seit dem Bau der A8 zwischen Karlsruhe und Stuttgart im Jahr 1938 stark gestiegenen Verkehrsmengen wurde im Jahr 2004 mit dem 6-streifigen Ausbau der A8 zwischen Tank- und Rastanlage Pforzheim und der AS Heimsheim begonnen. Die Baumaßnahme beinhaltete neben dem Ausbau die Änderung der Straßenachsen in Lage und Höhe. Die Anzahl der Steigungen wurde deutlich reduziert und auf maximal 5 % begrenzt. Im Zuge dieser Bautätigkeit entstanden auf beiden Seiten entlang der neuen Autobahntrasse mehrere bis zu 25 m hohe Einschnittsböschungen mit Neigungen zwischen 1 : 1,5 und 1 : 2. Eine Begrünung u. a. mittels Gehölzansaat erfolgte im ersten Bauabschnitt zwischen AS Pforzheim-Süd und Raststätte Pforzheim-Ost im Juli 2006 (ARGE 2006; REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE 2009).

Abb. 24: Lage der Ansaatflächen, ohne Maßstab (Karte LUBW 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die evaluierte und ausgewertete Ansaatfläche befindet sich zwischen der BAB 8 Überführung Fürstkopf (Nieferner Straße) und einer Unterführung bei Hagenschieß in Richtung Niefern-Öschelbronn am nordöstlichen Rand des Naturraumes Schwarzwald-Randplatten (vgl. Abb. 24, 25).

Abb. 25: Blick von der südwestexponierten Böschungsseite in nordwestliche Richtung (eigenes Bild 2009).

Die Schwarzwald-Randplatten sind Übergangsbereiche zu den angrenzenden Heckengäustreifen (Naturraumnummern: 122, 123 und 125). Sie sind größtenteils vom Oberen Buntsandstein bedeckt, welcher überwiegend aus feinkörnigen, ton- und glimmerreichen Plattensandsteinen besteht. Für die Stelle des Untersuchungsgebietes an der Grenze zum Neckarbecken (123) ist ein Standortmosaik aus Oberem Buntsandstein und Unterem Muschelkalk der Gäuplatten kennzeichnend. Die evaluierten Böschungen befinden sich über Unterem Muschelkalk, auf dem sich flachgründige Rendzinen entwickelt haben (vgl. Abb. 26; MEYNEN et al. 1961; LUBW 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

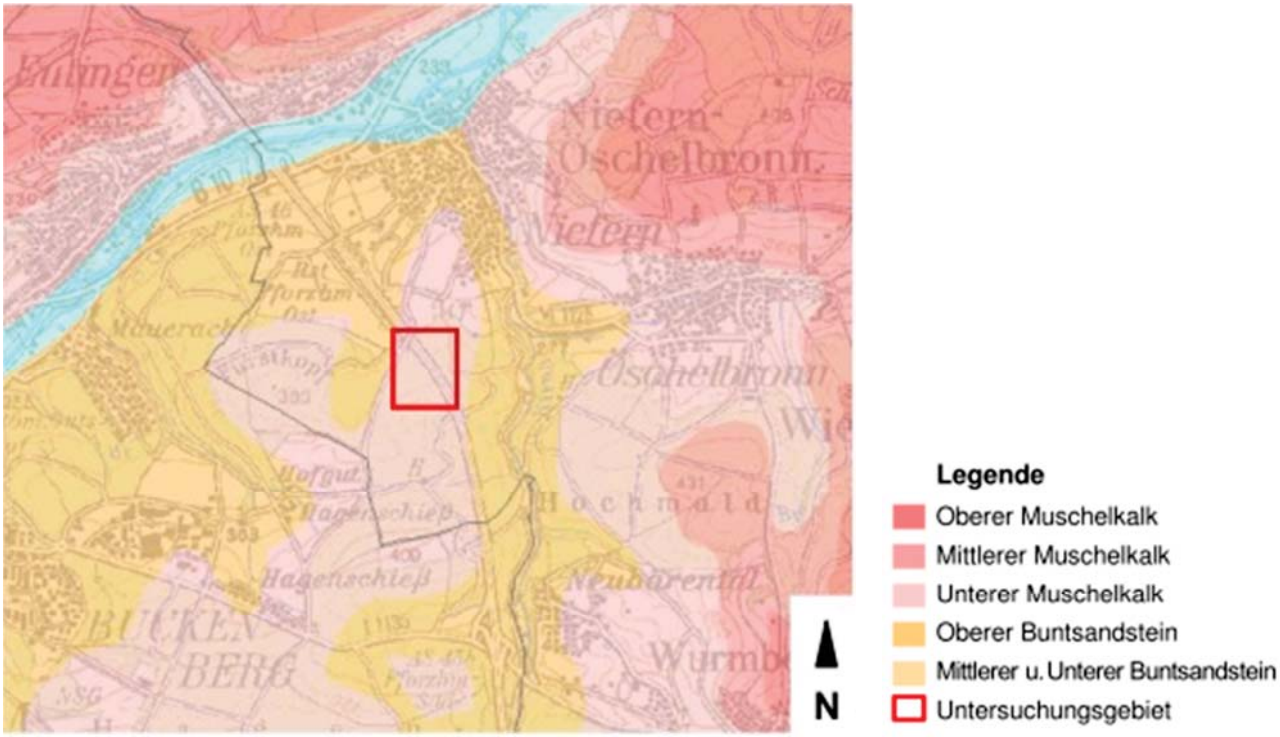


Abb. 26: Geologie der Ansaatflächen, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LUBW 2011).

Wie beim Aichelbergaufstieg handelt es sich hier um eine südwestexponierte und eine nordostexponierte Böschung (vgl. Kap. 6.1). Auf der südwestexponierten Böschung mit Nachmittagssonne kann mit der Etablierung eines wärmeliebenden Gebüsches ausgegangen werden, auf der insgesamt schattigeren Böschung kann hingegen mit einer Entwicklung zum mesophilen Gebüsch gerechnet werden.

Auf beiden Seiten wurde die gleiche Ansaatmischung aufgebracht, wobei mit der hohen Vielzahl (23 Arten) von standortgerechten Pionier- und intermediären Gehölzarten die verschiedenen Standortbedingungen und zu erwartenden unterschiedlichen Vegetationsentwicklungen berücksichtigt wurden (vgl. Tab. 14). Die überwiegende Zahl der Gehölze kann mehreren Sukzessionsstadien bzw. Pflanzengesellschaften und Biotoptypen der angestrebten Zielvegetation zugeordnet werden. Sie sichern dadurch - je nach Standortdifferenzierung - die potenziell möglichen Bestandsentwicklungen weitestgehend ab (vgl. Bollenhagen 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 13: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. OBERDORFER 1992b; BREUNING et al. 2002; AMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2009; DEUTSCHER WETTERDIENST 2009; LUBW 2011).

Topografie	**Expositionen**	**Größe**	**Höhenlage**
zwei sich gegenüberliegende Einschnittsböschungen	nordost südwest	Länge: ca. 600 m Breite: ca. 20 m und ca. 25 m (Nordostexposition) (die oberen 5 - 10 m beider Böschungen sind bepflanzt)	300 m - 360 m ü. NN
Geologie	**Boden**	**Relief**	**Alter**
Standortmosaik zwischen Unterem Muschelkalk und Buntsandstein. hier: Unterer Muschelkalk	flachgründige Kalkstein-Rendzinen	Böschung mit Terrassierung auf der nordostexponierten Seite (Böschungsneigung 1 : 1,5 Nordostexp., 1 : 2 Südwestexp.)	3 Jahre (2006)
Klima	**Temperatur**	**Niederschläge**	**Wasserhaushalt**
Entsprechend der Höhenlage thermophil / trockenwarm	Jahresmittel: 7,8° C Januar: 0,3° C Juli: 15,9° C	783 mm Jahressumme	wechselnde trockene und frischere bis feuchte (im Fuß) Böschungsbereiche
Extrazonale Zielvegetation	**Angrenzende Vegetation**	**Aufgabe und Funktion**	**Vegetation und Nutzung im Umfeld**
BTK und BMS/R: *Prunetum mahaleb* (Felsenkirschen-Gebüsch) *Roso vosagiacae-Coryletum* (Hasel-Gebüsch mit Vogesenrose) *Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch) *Crataego-Prunetum spinosae* (Weißdorn-Schlehen-Gebüsch) *Pruno-Rubetum …* (Schlehen-Gebüsche mit Brombeeren)	Waldlabkraut-Hainbuchen-Traubeneichen- Wald (*Galio-Carpinetum*) Sommerlinden-Mischwald (*Tilienion platyphylli*) Buchenwald (*Carici-Fagetum*)	Sicherung einer Straßeneinschnittsböschung durch die Etablierung eines Gehölzbestands	Waldflächen und forstwirtschaftliche Nutzwege Trasse der BAB 8: Beeinträchtigungen durch Einträge von Salz und Emissionen und Pflegemaßnahmen

Die Aufbringung erfolgte im maschinellen Anspritzverfahren. Angesät wurde ca. 10 g Gehölzaatgut je m² Böschungsfläche (insgesamt für 30.000 m²). Die Zwischenansaat bestand aus Phacelia tanacetifolia (1,9 g/ m²) und Secale cereale (3,9 g/ m²). Als wachstumsfördernde Zuschlagstoffe wurden biologisch ausgereifter Feinkompost (ohne Fremdstoffe, streufähig 3l/ m²), Bodenfestigerkonzentrat ULTRAFLOR (oder gleichwertig, 20 g/ m²), Bio-Algihum Flüssigkonzentrat (oder gleichwertig, 100 g/ m²), organischer Langzeitdünger Rosasoil (oder gleichwertig, 150 g/ m²) und Zellulose (70 g/ m²) auf die Fläche ausgebracht. Zum Schutz der Ansaat vor Abschwemmung, Verwehung und Austrocknung erfolgte die Ausbringung einer Mulchschicht aus Stroh (0,5 kg/ m²) und Zellulose (50 g/ m²), welche mit ULTRAFLOR (oder gleichwertig, 60 g/ m²) verklebt wurde (ARGE 2006).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 14: Gehölzarten und Mengenanteile an der AS Pforzheim Süd Ansaatmischung (ARGE 2006).

Gehölzart	Saatgutmenge in gr/ m²
Acer campestre	0,7
Acer platanoides	0,5
Acer pseudoplatanus	0,7
Alnus glutinosa	0,15
Amelanchier ovalis	0,7
Betula pendula	0,15
Carpinus betulus	0,3
Cornus mas	1,3
Cornus sanguinea	0,3
Euonymus europaeus	0,7
Fraxinus excelsior	0,3
Malus sylvestris	0,3
Prunus mahaleb	0,3
Pyrus communis	0,3
Rhamnus cathartica	1,5
Rosa arvensis	1,7
Rosa rubiginosa	0,7
Sambucus nigra	0,15
Sambucus racemosa	0,3
Sorbus torminalis	0,3
Tilia cordata	0,15
Tilia platyphyllos	0,15
Viburnum opulus	0,15

Tab. 15: Aufkommende Gehölze an der AS Pforzheim Süd (eigene Darstellung).

Fortsetzung auf nächster Seite

Südwestexponierte Böschung	Nordostexponierte Böschung
Ansaat	**Ansaat**
	Acer campestre
Acer platanoides	
	Acer pseudoplatanus
	Betula pendula
Cornus sanguinea	*Cornus sanguinea*
Fraxinus excelsior	*Fraxinus excelsior*
Prunus mahaleb	*Prunus mahaleb*
Rosa sp.	*Rosa sp.*
Sorbus torminalis	*Sorbus torminalis*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Südwestexponierte Böschung	Nordostexponierte Böschung
	Tilia cordata
	Tilia platyphyllos
Diasporeneintrag	**Diasporeneintrag**
	Fagus sylvatica
Picea abies	*Picea abies*
	Populus sp.
	Pinus sylvestris
	Prunus serotina
	Quercus rubra
Rosa glauca	
Robinia pseudoacacia	
Rubus fruticosa	*Rubus fruticosa*
	Salix aurita
	Salix caprea
	Salix sp.
Nicht aufgekommen	**Nicht aufgekommen**
Acer campestre	
	Acer platanoides
Acer pseudoplatanus	
Alnus glutinosa	*Alnus glutinosa*
Amelanchier ovalis	*Amelanchier ovalis*
Betula pendula	
Carpinus betulus	*Carpinus betulus*
Cornus mas	*Cornus mas*
Euonymus europaeus	*Euonymus europaeus*
Malus sylvestris	*Malus sylvestris*
Pyrus communis	*Pyrus communis*
Rhamnus cathartica	*Rhamnus cathartica*
Sambucus nigra	*Sambucus nigra*
Sambucus racemosa	*Sambucus racemosa*
Tilia cordata	
Tilia platyphyllos	
Viburnum opulus	*Viburnum opulus*

Legende: hohe Individuenanzahl

Nach 3 Jahren sind auf den Böschungen Junggehölze aufgekommen. Auf der südwestexponierten Böschung beträgt der Abstand zwischen den einzelnen Gehölzen unter 0,5 m. Der Gehölze auf der gegenüberliegenden Seite am feuchteren Hang- und Bermenfuß sind im Durchschnitt um die 0,5 m voneinander entfernt. Auf der freien Bö-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

schung allerdings kann der Abstand in der Mitte auch deutlich größer als 1 m sein. Auf beiden Böschungsseiten dominieren noch Gräser und Kräuter mit einer Gesamtdeckung bis 50 %. Gehölze sind bislang in der Gesamtdeckung der Krautschicht (unter 80 cm Höhe) nur spärlich (Mitte der nordostexponierten Seite) bis reichlich (südwestexponierte Seite) vertreten (vgl. Tab. 15).

Die südwestexponierte Böschung wird von den Rosenarten und *Sorbus torminalis* dominiert (vgl. Abb. 27). Eine genaue Unterscheidung zwischen *Rosa arvensis* und *R. rubiginosa* ist zur Zeit der Aufnahme im Sämlingsstadium nahezu unmöglich gewesen. Die Pionier- und Vorwaldarten *Cornus sanguinea, Fraxinus excelsior, Prunus mahaleb, Rosa glauca* und *Rubus fruticosa* sind spärlich vertreten. Des Weiteren kommen nur einzelne Exemplare von *Acer platanoides*, *Picea abies* und *Robinia pseudoacacia* auf der Böschung vor (vgl. Tab. 16).

Abb. 27: Mulchschichtreste und Sämlinge von *Rosa* sp. und *Sorbus torminalis* an der südwestexponierten Seite (eigenes Bild 2009).

Das Vorkommen von *Rosa glauca* lässt sich möglicherweise durch nicht beabsichtigte Verunreinigungen des ursprünglichen Rosen-Saatgutes erklären. Für die zahlreichen in der Ansaat enthaltenen, aber in der Böschung nicht vorhandenen Arten scheint der Standort aufgrund seiner Exponierung zu extrem zu sein, oder das Saatgut keimt erst, wenn sich die Böschung in einem fortgeschritteneren Sukzessionsstadium befindet.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dies könnte beispielsweise bei *Euonymus europaeus,* der als Humuszehrer gilt, der Fall sein. Möglicherweise können auch ungünstige Lager- oder Klimabedingungen sowie der späte Aussaatzeitpunkt im Juli 2006 das Saatgut unbrauchbar gemacht haben. Ausgetrocknete Samen von *Carpinus betulus* unterliegen beispielsweise durch die dadurch hart gewordenen Schalen einer doppelten Keimhemmung. Eine weitere Erklärung für das Ausbleiben der Hainbuche ist auch hier das Fehlen der obligatorischen Bodenimpfung mit Mykorrhizen bei der Ansaat, sofern diese nicht im biologisch ausgereiften Feinkompost vorhanden waren (vgl. Kap 4.5.3). Saatgut von *Tilia platyphyllos* neigt dazu, bei Nässe nach der Aussaat zu verrotten, allerdings können *Tilia*-Samen noch jahrelang im Boden ungekeimt verharren. Die späte Aussaat im Juli spricht gegen die direkte Keimung von *Malus sylvestris, Prunus* und *Pyrus-Arten,* da diese Arten bei höheren Bodentemperaturen einer Keimhemmung unterliegen. Das Fehlen von *Alnus glutinosa, Betula pendula*, der *Sambucus*- Arten und der *Tilia*-Arten könnte auf die bei der Keimung vorherrschenden Standortbedingungen (Trockenheit, direkter oder fehlender Lichteinfall) zurückgeführt werden, zudem sind die Sämlinge einiger der genannten Arten sehr trockenheitsgefährdet (vgl. BÄRTELS 1996; POLOMSKI & KUHN 1998; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000).

Am Böschungsfuß der südwestexponierten Seite befindet sich im feuchteren Bereich des Straßengrabens ein dichter Bestand von *Myricaria germanica*, welcher sich vermutlich durch Diasporeneintrag etabliert hat (vgl. Abb. 25).

Auf der nordostexponierten Seite im Bereich des Böschungsfußes dominiert *Fraxinus excelsior* mit einer reichlichen Anzahl von Individuen. Das Gleiche gilt für die *Salix*-Arten im Bermenfußbereich. *Picea abies* kommt in gleicher reichlicher Deckungsintensität in der Mitte der Böschung vor. Die spärliche Ausbreitung von *Rubus fruticosa* beschränkt sich auf Bereiche des Böschungs- und Bermenfußes, die von *Tilia cordata* nur auf den Bermenfuß und die von *Sorbus torminalis* nur auf den Böschungsfuß, während *Pinus silvestris, Populus tremula* und *Fagus sylvatica* mit gleicher Intensität die trockeneren mittleren Bereiche der Böschung bedecken. Des Weiteren kommt vereinzelt nur am Böschungsfuß *Rosa* sp. vor. *Acer pseudoplatanus, Betula pendula, Cornus sanguinea, Prunus mahaleb, Tilia platyphyllos, Prunus serotina* und *Quercus rubra* sind ebenfalls vereinzelt in trockeneren mittleren Bereichen der Böschung verbreitet (vgl. Abb. 28).

Pinus silvestris, Populus tremula, Fagus sylvatica, Prunus serotina und *Quercus rubra* sind nicht in der ursprünglichen Ansaatmischung vorhanden gewesen und durch Diasporeneintrag auf die Böschung gekommen (vgl. Tab 17).

Im Gegensatz zur flacheren südwestexponierten Böschung sind auf der gegenüberliegenden Böschung keinerlei Mulchschichtreste zu erkennen. Dies und der Aspekt, dass eine vermehrte Gehölzentwicklung am Böschungsfuß stattgefunden hat, sprechen für die zumindest teilweise Rutschung der Mulchschicht mit Ansaat. Möglicherweise sind

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

aufgrund der höheren Böschungsneigung (1 : 1,5) im Vergleich zur gegenüberliegenden Böschung (1 : 2) nicht genügend oder nicht ausreichend wirksame Kleber, Erosionsschutzfaser oder Feinfasermulch verwendet worden. Nach den Abb. 7 und 8 in Kap. 4.5 hätten insgesamt weniger Kleber - 12,5 g/ m² anstelle von 20 g/ m² beim ersten und 22,5 g/ m² anstelle von 60 g/ m² beim zweiten Arbeitsgang - ausgereicht, jedoch wären mit 166 g/ m² anstelle von 70 g/ m² mehr Feinfasermulch (Zellulose) und mit 23 g/ m² mehr Erosionsschutzfasern (Zellulose) benötigt gewesen. Wenn es sich beim Kleber ULTRAFLOR um eine Kunststoff-Dispersion und beim Produkt Bio-Algihum um ein Alginat handelt, sind mit insgesamt 80 g/ m² und 100 g/ m² nach DIN 18918 jeweils die angegebene Höchst- und Mittelmenge verwendet worden. Die Aufwandmenge dieser verwendeten Kleber kann daher als Ursache für eine Mulchschichtrutschung ausgeschlossen werden. Möglicherweise haben die an der steileren Böschung befindlichen Steinschlagschutznetze die Ansaatrutschung mit hervorgerufen. Wenn sie sich vor der Ansaat auf der Böschung befunden haben, könnten sie die Aufbringung behindert haben; sind sie erst nach der Ansaat an die Böschung genagelt worden, könnte die Rutschung durch die Aufbringung mit ausgelöst worden sein. Darüber hinaus ist eine negative Auswirkung der Metallnetze auf die weitere Wachstumsentwicklung der vorhandenen Gehölze, bedingt durch das Einwachsen der Erosionsschutznetze in den Stamm, denkbar. Mitauslöser der Ansaatrutschung könnten zudem auch extreme wechselnde Wetterbedingungen gewesen sein wie die große Trockenheit im April 2007 und die starken Niederschläge in den darauf folgenden Monaten (vgl. DEUTSCHER WETTERDIENST 2009).

Ohne eine schützende Mulchschicht neigen Samen bestimmter Arten wie *Carpinus betulus* dazu, beim Austrocknen einer weiteren Keimhemmung zu unterliegen. Des Weiteren benötigen Keimlinge und Sämlinge von *Alnus glutinosa,* den *Sambucus*-Arten und den *Tilia*-Arten feuchte und schattige Bedingungen (vgl. BÄRTELS 1996; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000; Tab. 17), die ohne Mulchschicht im mittleren Hangbereich nicht gegeben sind, wobei dort bereits - vermutlich noch bei bestehender Mulchschicht - vereinzelt Sämlinge von *Tilia platyphyllos* aufgelaufen sind.

Die extrem trockenen, kalkhaltigen Böschungsflächen der südwestlichen Seite würden für die Entwicklung eines wärmeliebenden Gebüsches (BTK/S) wie des Rosen-Gebüsches (*Roso vosagiacae-Coryletum),* Felsenkirschen-Gebüsches (*Prunetum mahaleb*) oder Schlehen-Gebüsches *(Pruno-Ligustretum)* sprechen. Für eine sukzessive Entwicklung in Richtung *Pruno-Ligustretum* fehlt allerdings die Kennart *Ligustrum vulgare,* die nicht in der Ansaatmischung vorhanden war. Als Kennarten beim Rosen-Gebüsch sind *Rosa dumalis* und *Corylus avellana* angegeben, wobei beide Arten in der Ansaatmischung nicht vorhanden waren. Anstelle der *Rosa dumalis* hat sich *Rosa glauca* auf der Böschung etabliert und dominiert diese mit den weiteren Rosenarten *Rosa arvensis* und *R. rubiginosa.* Zudem ist als weitere Kennart *Sorbus aucuparia* angegeben, welche in diesem Fall durch *Sorbus torminalis* mit ihrem sehr zahlreichen Vorkom-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

men auf der Böschung ersetzt wird. Auch *Sorbus aucuparia* kam nicht in der Ansaatmischung vor. Beim *Prunetum mahaleb* sind neben der Art *Prunus mahaleb,* die auf der Böschung spärlich vorkommt, noch weitere Arten wie *Sorbus torminalis, Quercus petraea* und *Acer monspessulanum* angegeben. *Sorbus torminalis* kommt, wie bereits erwähnt, sehr zahlreich vor, anstelle von *Acer monspessulanum* wurde ein Exemplar von *Acer platanoides* auf der Böschung gefunden. *Quercus petraea* kommt als Großgehölz weder in der Ansaatmischung noch auf der Böschung vor (vgl. OBERDORFER 1992b; WEBER 2003). Als Zielvegetation kann aufgrund der starken Präsenz von *Rosa glauca* anstelle des *Roso vosagiacae-Coryletum* eher das *Rosa glauca-Coryletum*-Gebüsch erwartet werden (vgl. Tab. 16; OBERDORFER 1992b)

Abb. 28: Sämlinge von *Cornus sanguinea* und *Tilia platyphyllos* an der nordostexponierten Seite (eigenes Bild 2009).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 16: Gehölzvorkommen an der südwestexponierten Böschung (eigene Darstellung).

AS Pforzheim Süd südwestexponiert	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Gesamter Gehölzbestand	2	-	-	1	1	-	-
Arten der Ansaatmischung							
Acer campestre	-	-	-	-	-	-	-
Acer platanoides	r	-	-	r	r	-	
Acer pseudoplatanus	-	-	-	-	-	-	-
Alnus glutinosa	-	-	-	-	-	-	-
Amelanchier ovalis	-	-	-	-	-	-	-
Betula pendula	-	-	-	-	-	-	-
Carpinus betulus	-	-	-	-	-	-	-
Cornus mas	-	-	-	-	-	-	-
Cornus sanguinea	+	-	-	+	+	-	-
Euonymus europaeus	-	-	-	-	-	-	-
Fraxinus excelsior	+	-	-	+	+	-	-
Malus sylvestris	-	-	-	-	-	-	-
Prunus mahaleb	+	-	-	+	+	-	-
Pyrus communis	-	-	-	-	-	-	-
Rhamnus cathartica	-	-	-	-	-	-	-
Rosa sp.	2	-	-	2	2	-	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus racemosa	-	-	-	-	-	-	-
Sorbus torminalis	2	-	-	2	2	-	-
Tilia cordata	-	-	-	-	-	-	-
Tilia platyphyllos	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum opulus	-	-	-	-	-	-	-
Diasporeneintrag							
Picea abies	r	-	-	r	r	-	-
Rosa glauca	+	-	-	+	+	-	-
Robinia pseudoacacia	r	-	-	r	r	-	-
Rubus fruticosa	+	-	-	+	+	-	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 17: Gehölzvorkommen an der nordostexponierten Böschung (eigene Darstellung).

AS Pforzheim Süd nordostexponiert	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Gesamter Gehölzbestand	1	-	-	1	1	-	-
Arten der Ansaatmischung							
Acer campestre	+	-	-	+	+	-	-
Acer platanoides	-	-	-	-	-	-	-
Acer pseudoplatanus	r	-	-	r	r	-	-
Alnus glutinosa	-	-	-	-	-	-	-
Amelanchier ovalis	-	-	-	-	-	-	-
Betula pendula	r	-	-	r	r	-	-
Carpinus betulus	-	-	-	-	-	-	-
Cornus mas	-	-	-	-	-	-	-
Cornus sanguinea	r	-	-	r	r	-	-
Euonymus europaeus	-	-	-	-	-	-	-
Fraxinus excelsior	1	-	-	1	1	-	-
Malus sylvestris	-	-	-	-	-	-	-
Prunus mahaleb	r	-	-	r	r	-	-
Pyrus communis	-	-	-	-	-	-	-
Rhamnus cathartica	-	-	-	-	-	-	-
Rosa sp.	r	-	-	r	r	-	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus racemosa	-	-	-	-	-	-	-
Sorbus torminalis	+	-	-	+	+	-	-
Tilia cordata	+	-	-	+	+	-	-
Tilia platyphyllos	r	-	-	r	r	-	-
Viburnum opulus	-	-	-	-	-	-	-
Diasporeneintrag							
Fagus sylvatica	+	-	-	+	+	-	-
Populus sp.	+	-	-	+	+	-	-
Picea abies	1	-	-	1	1	-	-
Pinus sylvestris	+	-	-	+	+	-	-
Prunus serotina	r	-	-	r	r	-	-
Quercus rubra	r	-	-	r	r	-	-
Rubus fruticosa	1	-	-	1	1	-	-
Salix aurita	1	-	-	1	1	-	-
Salix caprea	r	-	-	r	r	-	-
Salix sp.	1	-	-	1	1	-	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Auf den flachgründigen, in der Mitte großflächig trockenen und kalkhaltigen Böschungsflächen der nordostexponierten Böschung wird sich, vom Standort her gesehen, ein mesophiles Gebüsch wie das Hartriegel-Gebüsch *(Rhamno-Cornetum),* Weißdorn-Schlehen-Gebüsch *(Crataego-Prunetum spinosae)* oder je nach Brombeervorkommen ein Schlehen-Gebüsch mit Brombeeren (*Pruno-Rubetum)* entwickeln. Für eine sukzessive Entwicklung in Richtung *Crataego-Prunetum spinosae* oder *Pruno-Rubetum* fehlen allerdings die Kennarten *Prunus spinosa* und beim zuerst genannten zudem *Crataegus monogyna.* Beide Arten waren nicht in der Ansaatmischung vorhanden. Als Zielvegetation ist daher eher eine *Rhamno-Cornetum* Gesellschaft zu erwarten, also ein mesophiles Gebüsch mit Rosendominanz (BMR) (vgl. Kap. 4.3). Allerdings fehlt bislang die Kennart *Rhamnus cathartica*, die sich aus dem aufgebrachten Saatgut noch entwickeln könnte. Als Assoziationstrennarten für das *Rhamno-Cornetum*-Gebüsch werden *Acer campestre* und *Lonicera xylosteum* angegeben. *Acer campestre* kommt auf der Böschung vor, wobei *Lonicera xylosteum* nicht in der Ansaatmischung vorhanden war (vgl. Tab 17; OBERDORFER 1992b, 1992a).

Die Eingliederung in das Landschaftsbild und die umgebenden Waldstrukturen wird aufgrund der durch die Ansaat bedingten langsamen Gehölzentwicklung und der zumindest teilweise abgerutschten Ansaat mit Mulchschicht vor allem an der nordostexponierten Böschung eine längere Zeit in Anspruch nehmen. Derzeit wird das Erscheinungsbild von niedriger Gras- und Krautvegetation ohne sich herausbildende Gehölze geprägt. Die sich entwickelnden naturnahen Strukturen der Hartriegel- und Rosen-Gebüsche sind sukzessive Vorläufer der Waldentwicklung und bereichern damit langfristig und nachhaltig das Landschaftsbild. Die Zerschneidungswirkung der Autobahn wird durch die entstehenden Strauchstrukturen gemindert.

Über die Durchwurzelung der Böschungen und Verzahnungen zwischen den verschiedenen Wurzelsystemen können aufgrund des geringen Alters und der langsamen Entwicklung der Gehölzbestände bislang noch keine endgültigen Aussagen getätigt werden. Aufgrund der regelmäßigen und dichten Gehölzabstände auf der nach Südwesten exponierten Böschung lässt sich lediglich die Aussage machen, dass sich dort ein gut verzahnter stabiler Gehölzbestand entwickeln wird. Für die nordöstlich exponierte Böschung kann diese Aussage nicht endgültig bestätigt werden, da der Gehölzbestand der mittleren Böschungsbereiche zum Zeitpunkt der Aufnahme noch sehr lückig ist. Durch sich noch auf der Böschung befindendes Saatgut, den Anflug von Samen und von Tieren verbreitetes Saatgut werden sich diese Lücken im Bestand wahrscheinlich schließen.

Auf beiden Böschungsseiten sind *Acer*-Arten vertreten. *Acer pseudoplatanus ist* auf der nordwestexponierten Böschungsseite verbreitet und bildet als Jungpflanze ein Pfahlwurzelsytem aus, als adultes Exemplar hat *Acer pseudoplatanus* ein flaches Herzsenker- und auf verdichteten skelettreichen Böden, wie auf diesen Standorten, ein reich feinver-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

zweigtes Wurzelsystem. *Acer campestre,* ebenfalls nur auf dieser Seite vertreten, bildet zudem lange Feinwurzelstränge aus. Auf der nach Südwesten exponierten Böschung kommt nur *Acer platanoides* vor. Er entwickelt ähnlich wie der *Acer pseudoplatanus* ein Herzsenkerwurzelsystem, jedoch mit noch intensiverer Durchwurzelung. Wie der *Acer campestre* bildet er lange Feinwurzelstränge aus und erreicht auf Kalkschutt noch größere Tiefen als der *Acer pseudoplatanus*. Eine auf beiden Seiten vorkommende Baumart, die in ihrer Jugend eine Pfahlwurzel und als erwachsenes Exemplar ein Herzsenkerwurzelsystem ausbildet, ist *Fraxinus excelsior*. Als ein weiteres wichtiges Merkmal ihrer Wurzelausbildung lässt sich zudem die reiche Feinverzweigung vor allem in den oberen Bodenschichten und eine gute Tiefen- und Seitenerschließung des Bodens nennen, weshalb *Fraxinus excelsior* als guter Bodenfestiger vor allem auf feinerdereichen Steilhängen gilt. *Prunus mahaleb* kommt auf beiden Böschungsseiten vor und bildet ein Herzwurzelsystem. *Rosa rubiginosa* bildet ein tiefes vertikales Wurzelsystem aus und erreicht infolge ihrer hohen mechanischen Wurzelenergie auch in steinigem Material eine sehr gute Tiefenwirkung. *Sorbus torminalis* gilt als Tiefwurzler, wobei die Seitenwurzeln über den Kronenrand hinausragen. Auf flachgründigen Böden verkümmert die Pfahlwurzel und sie verzweigt sich in dünne Wurzelstränge, die in die verhärteten Schichten eindringen. *Cornus sanguinea* bildet zahlreiche Wurzelsprosse und ein intensives Feinwurzelgeflecht aus, das den Boden in den oberen Bodenschichten sehr weitreichend durchzieht. Die Art ergibt mit mitteltiefwurzelnden Gehölzen wie die *Prunus-, Sorbus-* und Rosenarten und tiefwurzelnden Bäumen wie *Fraxinus excelsior, Tilia cordata* und den Ahornarten eine stabile Verzahnung bis in tiefere Bodenschichten (vgl. Kap. 4.6.1, POLOMSKI & KUHN 1998; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002).

Aktuell sind auf beiden Böschungsseiten keine schwerwiegenden Erosionserscheinungen an der Oberfläche vorhanden. Jedoch hat möglicherweise eine Rutschung der Mulchschicht auf der nordostexponierten Böschung stattgefunden. Auf der nach Südwesten exponierten Seite haben sich einige kleine Rinnen, ausgelöst durch oberflächlichen Regenwasserabfluss, gebildet. Insgesamt sind beide Böschungen dennoch in einem stabilen Zustand.

Aufgrund der sich noch in der sukzessiven Anfangsphase befindlichen Vegetationsbestände kann bezüglich des Begrünungserfolgs noch kein abschließendes Statement gegeben werden, jedoch sind vor allem auf der südwestexponierten Böschungsseite eindeutig positive Entwicklungstendenzen in Richtung Zielvegetation zu erkennen. Um ein abschließendes Fazit abgeben zu können, wäre es sinnvoll, nach etwa 5-jähriger Sukzessionszeit eine erneute Flächenaufnahme durchzuführen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6.3 Bernser Landwehr BAB 2

Im Zuge der Verbreiterungsmaßnahmen der BAB 2 wurden 2008 mehrere Böschungsabschnitte mittels Gehölzansaaten begrünt. Die evaluierten Böschungen befinden sich auf einem Abschnitt der BAB 2 an der Fahrtrichtung Duisburg in Höhe der Bernser Landwehr, Gemeinde Auetal, im Landkreis Schaumburg zwischen der Unterführung der K 71 und bis zu dem Punkt, an dem die B 83 zur Autobahn (276 + 9 km) parallel verläuft. Abschnitt I befindet sich direkt an der Unterführung der K 71 (273 + 8 km). Böschung I a ist nordexponiert, I b südexponiert. Der nordexponierte Böschungsabschnitt II befindet sind in Höhe 273 + 9 km. Abschnitt III ist ebenfalls nach Norden ausgerichtet und liegt bei 275 + 4 km. Abschnitt IV a ist nordexponiert, IV b südexportiert; sie befinden sich bei 276 + 6 km - 276 + 9 km und 276 + 5 km - 276 + 6 km.

Bei den mittels Gehölzansaat begrünten Flächen handelt es sich um mit Kalkschotter (ca. 15 cm Schichtmächtigkeit) abgedeckte Dammböschungen über Pararendzinen und Parabraunerden. Das Klima ist hier mild atlantisch geprägt (vgl. Abb. 29).

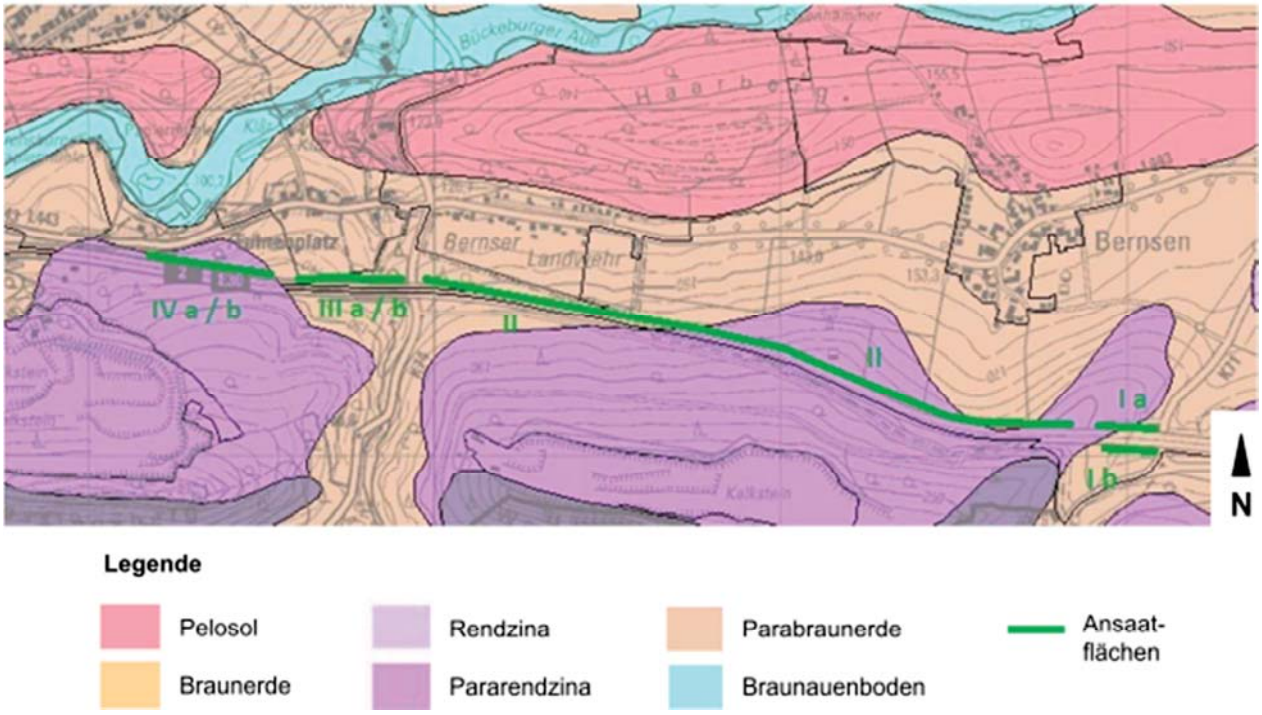


Abb. 29: Lage der Ansaatflächen mit Bodenlandschaften, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LBEG 2011).

Als Zielvegetation sollte sich an den südexponierten Böschungsseiten ein „Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte“ (BTK) und an den nordexponierten Seiten ein „Mesophiles Weißdorn-/Schlehengebüsch“ (BMS) oder ein „Mesophiles Rosengebüsch“ (BMR) einstellen. Ein BTK würde sich an dieser Stelle aus dem *Pruno-Ligustretum* Gebüsch und ein BM aus den *Rhamno-Cornetum*, *Pruno-Rubetum* oder *Crataego-Prunetum spinosae* Gebüschgesellschaften entwickeln (vgl. Kap. 4.3).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 18: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; LBEG 2011; LÜBKER 2011; NLWKN 2011).

Topografie	**Expositionen**	**Größe**	**Höhenlage**
Dammböschungen unterhalb der Trasse	Nord Süd (I b und IV a)	Länge Steckenabschnitt insgesamt: ca. 3 km, Fläche: 20 000 m²	Höhe 100 - 150 m
Geologie	**Boden**	**Relief**	**Alter**
Löss, Keupergestein	mit Kalkschotter angeschüttete, Pararendzinen und Parabraunerden; teilweise Oberbodenandeckung (Flächen I a und b)	Neigung 1 : 1,5 und steiler	3 Jahre Ansaat 2008 Aufnahme 2011
Klima	**Temperatur**	**Niederschläge**	**Wasserhaushalt**
Atlantisch geprägt	Jahresmittel: 7,8° C Januar: 0,3° C Juli: 15,9° C	800 - 850 mm/ Jahr	Wechselnder trockener bis frischer Kalkstandort
Extrazonale Zielvegetation	**Angrenzende Vegetation**	**Aufgabe und Funktion**	**Vegetation und Nutzung im Umfeld**
BTK und BMS/R: Ligustergebüsch (*Pruno-Ligustretum*), Hartriegelgebüsch (*Rhamno-Cornetum*), Schlehen- Gebüsche mit Brombeeren *(Pruno-Rubetum)*, Weißdorn- Schlehen-Gebüsch (*Crataego-Prunetum spinosae*)	Hainbuchen-Traubeneichen- Wald (*Carpinetum*) Sommerlinden-Mischwald (*Tilienion platyphylli*) Buchenwald (*Carici-Fagetum*) Schlehengesellschaften *(Prunetalia spinosae*)	Begrünung einer Straßenböschung durch die Etablierung eines Gehölzbestands	Waldflächen, Straßen und forstwirtschaftliche Nutzwege

Die Böschungen I a und I b wurden vor der Ansaat mit Oberboden (15 - 25 cm Schichtdicke) angedeckt. Die restlichen Böschungen sind oberbodenlos mittels Nassansaat und Zuschlagstoffen begrünt worden. Unmittelbar vor der Gehölzansaat wurde im Juli 2008 eine standortgerechte Rasenansaat (RSM 7.2.1 - Landschaftsrasen-Trockenlagen ohne Kräuter) auf allen Böschungen durchgeführt. Auf den Rohbodenböschungen wurden u. a. 60 g/ m² NPK- Dünger, 80 g/ m² Langzeitdünger, 80 g/ m² Bodenverbesserer, 100 g/ m² Erosionsschutzfasern aus Zellulose und 50 g/ m² Mulchstoff Strohhäcksel sowie 30 g/ m² Bodenfestiger mit auf die Böschungen aufgebracht (ANONYMUS 2008a).

Danach folgte im August 2008, auf die bestehende Mulchschicht und RSM, die Gehölzansaat mit 6 verschiedenen Arten (vgl. Tab. 19). Auf den Rohbodenböschungen wurden bei diesem Arbeitsgang weitere Zuschlagstoffe wie 50 g/ m² Startdünger, 100 g/ m² organischer Langzeitdünger, 100 g/ m² Mulchstoff Zellulose, 300 g/ m² Mulchstoff Strohhäcksel und erneut 30 g/ m² organischer Kleber mit aufgebracht (ANONYMUS 2008b).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 19: Ansaatmischung (ANONYMUS 2008b).

Gehölzart	Saatgutmenge in gr/ m²
Betula pendula	2,5
Carpinus betulus	2,85
Cornus sanguinea	3,5
Cytisus scoparius	1,5
Lonicera xylosteum	0,25
Rosa rubiginosa	1,4

Tab. 20: Kartierte Gehölze auf den Flächen I a (nordexponiert) und I b (südexponiert) mit Oberbodenauftrag (Gräser- und Kräuterdominanz) (eigene Darstellung).

Fläche I a		Fläche I b	
Ansaat	**Deckung**	**Ansaat**	**Deckung**
Neue Arten		**Neue Arten**	
Acer campestre	r		
		Cytisus nigricans	3
Rubus idaeus	1		
Nicht aufgekommen		**Nicht aufgekommen**	
Betula pendula		*Betula pendula*	
Carpinus betulus		*Carpinus betulus*	
Cornus sanguinea		*Cornus sanguinea*	
Cytisus scoparius		*Cytisus scoparius*	
Lonicera xylosteum		*Lonicera xylosteum*	
Rosa rubiginosa		*Rosa rubiginosa*	
Gesamtdeckung Vegetation	5	**Gesamtdeckung Vegetation**	5

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

An den mit Oberboden angedeckten Böschungen I a und b sind u. a. aufgrund der guten Nährstoffversorgung die Gehölze der Konkurrenzkraft der Gräser und Kräuter aus der Ansaat nicht gewachsen. Auf beiden Böschungsseiten beträgt die Deckung der gesamten Vegetation annähernd 100 %. Auf der nordexponierten Böschung dominieren Gräser und Kräuter deutlich. Lediglich ein juveniler Feldahorn und ein Himbeerstrauch mit mehreren Ausläufern wurden kartiert (vgl. Abb. 30). An der südexponierten Seite tritt als Strauch *Cytisus nigricans* flächendeckend auf, für den an sonnigen trockenwarmen Standorten in der Parabraunerde optimale Bedingungen herrschen (vgl. Tab. 19, 20; Abb. 31; OBERDORFER 2001). An beiden Böschungsseiten führt die hohe Kräuter- und Gräserdominanz bedingt durch die optimalen Standortbedingungen zum Komplettausfall der sich im Vergleich langsam entwickelnden Gehölze aus der Ansaatmischung (vgl. Abb. 30, 31; Kap. 4.1).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 30*: Acer campestre* in der Fläche I a (links, eigenes Bild 2011).

Abb. 31: *Cytisus nigricans* in der Fläche I b (rechts, eigenes Bild 2011).

Tab. 21: Kartierte Gehölze auf der Fläche II (nordexponiert) ohne Oberbodenauftrag (eigene Darstellung).

Ansaat	Deckung
Betula pendula	r*
Cornus sanguinea	r
Rosa rubiginosa	r°
Neue Arten	
Acer campestre	+°
Acer pseudoplatanus	1
Fraxinus excelsior	r
Populus tremula	+*
Salix caprea	r*
Salix sp. (evtl. *caprea*-Hybrid)	1*
Nicht gefunden	
Carpinus betulus	
Cytisus scoparius	
Lonicera xylosteum	
Gesamtdeckung Vegetation	3 - 4

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt im oberen Hangbereich, ° - Vermehrt im Böschungsfuß

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

An der oberbodenlosen nordexponierten Böschung II sind aus der Ansaatmischung vereinzelt *Betula pendula*, *Cornus sanguinea* und *Rosa rubiginosa* anzutreffen, wobei sich die Verbreitung der Rose auf den Böschungsfuß und die der Birke auf den oberen Hangbereich konzentriert. Ebenfalls im oberen Hangbereich sind durch Diasporeneintrag Weiden und Pappeln gewachsen. Auf der gesamten Böschung sind zudem zahlreiche Bergahorn-Sämlinge verbreitet, welche durch Windverbreitung aus den benachbarten Wäldern stammen (vgl. Abb. 32). Feldahorn ist vereinzelt im Böschungsfuß auszumachen. *Carpinus betulus*, *Cytisus scoparius* und *Lonicera xylosteum* als weitere Arten der Ansaatmischung konnten bei der Kartierung nicht ausfindig gemacht werden (vgl. Tab. 21).

Abb. 32: *Acer pseudoplatanus*-Sämlinge in der Fläche II (eigenes Bild 2011).

Die Fläche III b ist ein kleiner Bereich in der Fläche III a, der sich aufgrund der Standortbedingungen von der gesamten Fläche III a unterscheidet. Hier scheinen nach Auswertung der Vegetationskartierung die Wasser- und Nährstoffverhältnisse schlechter zu sein als auf der großen Fläche III a, d. h. die Standortbedingungen für die Pflanzen sind hier extremer (vgl. Tab. 22; Abb. 33, 34).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 22: Kartierte Gehölze auf den Flächen III a und III b (beide nordexponiert) ohne Oberbodenauftrag (eigene Darstellung).

Fläche III a		Fläche III b	
Ansaat	**Deckung**	**Ansaat**	**Deckung**
Betula pendula	r		
Carpinus betulus	1°		
Cornus sanguinea	1°	*Cornus sanguinea*	+
Rosa rubiginosa	r	*Rosa rubiginosa*	1
Neue Arten		**Neue Arten**	
Acer campestre	1		
Acer platanoides	r		
Acer pseudoplatanus	2	*Acer pseudoplatanus*	+
Fraxinus excelsior	1	*Fraxinus excelsior*	+
Prunus avium	+		
Robinia pseudoacacia	r°		
Rubus fruticosa	1		
Salix caprea.	2 (1 / 2°)		
Salix sp. (Hybrid: evtl. *smithiana*)	+°		
Salix viminalis	r°		
Salix x rubens	+°		
Nicht aufgekommen		**Nicht aufgekommen**	
		Betula pendula	
		Carpinus betulus	
Cytisus scoparius		*Cytisus scoparius*	
Lonicera xylosteum		*Lonicera xylosteum*	
Gesamtdeckung Vegetation	3	**Gesamtdeckung Vegetation**	2

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt im oberen Hangbereich, ° - Vermehrt im Böschungsfuß

Aus der Ansaatmischung haben sich in Fläche III a *Cornus sanguinea* und *Carpinus betulus* zahlreich verbreitet, wobei *Cornus sanguinea* vor allem im oberen und unteren Hangbereich und *Carpinus betulus* vermehrt nur im Böschungsfuß vorkommt. Das Hainbuchenvorkommen im Böschungsfuß spricht für eine Besiedlung von Mykorrhiza-Pilzen aus angrenzenden Bodenbereichen, da auch auf diesem Standort bei der Ansaat keine Bodenimpfung durchgeführt wurde. *Betula pendula* und *Rosa rubiginosa* sind auf der gesamten Böschung nur vereinzelt anzutreffen. *Cytisus scoparius* und *Lonicera xylosteum* wurden hier nicht kartiert (vgl. Tab. 22).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Durch Diasporeneintrag von benachbarten Waldflächen (vgl. Abb. 33, 34) haben sich *Acer pseudoplatanus* flächendeckend sowie *Acer campestre-* und *Fraxinus excelsior*-Sämlinge zahlreich etabliert. Auch *Rubus fruticosa* ist zahlreich anzutreffen. *Acer platanoides* und *Prunus avium* sind nur spärlich bis vereinzelt verbreitet. *Salix caprea* kommt vor allem flächendeckend am Böschungsfuß vor. Weitere Weidenarten, wie *Salix viminalis* und Weidenhybride, finden sich nur vereinzelt am Böschungsfuß. *Robinia pseudoacacia* kommt ebenfalls vereinzelt am unteren Böschungsbereich vor (vgl. Tab. 22).

Die Fläche III b ist deutlich spärlicher bewachsen als Fläche III a. Aus der Ansaat haben sich *Rosa rubiginosa* zahlreich und *Cornus sanguinea* vereinzelt eingefunden. *Betula pendula, Carpinus betulus, Cytisus scoparius* und *Lonicera xylosteum* sind hier ausgefallen (vgl. ebd.). Durch Diasporeneintrag sind vereinzelt *Acer pseudoplatanus und Fraxinus excelsior* auf die Fläche gekommen. Für die Rose scheinen hier im Gegensatz zu Fläche III a optimalere Standortbedingungen zu herrschen.

Abb. 33: Blick aus westlicher Richtung auf die Ansaatflächen III. Im Vordergrund in der Mitte befindet sich die karge Fläche III b (eigenes Bild 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 34: Blick aus östlicher Richtung auf die Ansaatfläche III a (eigenes Bild 2011).

Auf der südexponierten Fläche IV a herrschen aufgrund der direkten Sonneneinstrahlung und der Ausrichtung zur BAB noch extremere Bedingungen, vor allem in Bezug auf Trockenheit, Strahlung und Hitzeentwicklung, als auf allen anderen kartierten Böschungsflächen. Die Gesamtdeckung der spärlichen Vegetation liegt von daher deutlich unter 25 %. Bis auf ein vereinzeltes, durch Diasporen eingetragenes Junggehölz der Art *Prunus serotina* ist keine weitere Gehölzentwicklung auf der Böschung festgestellt worden.

Auf der nordexponierten Böschungsfläche IV b ist die Vegetation mit einer Gesamtdeckung von etwa 25 - 50 % verzeichnet worden (vgl. Abb. 35).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 23: Kartierte Gehölze auf den Flächen IV a (südexponiert) und IV b (nordexponiert) ohne Oberbodenauftrag (eigene Darstellung).

Fläche IV a		Fläche IV b	
Ansaat	**Deckung**	**Ansaat**	**Deckung**
		Betula pendula	r
		Cornus sanguinea	1°
		Rosa rubiginosa	+
Neue Arten		**Neue Arten**	
		Acer campestre	1
		Acer platanoides	r
		Acer pseudoplatanus	2
		Fagus sylvatica (nur direkt am östl. Waldrand)	1
		Fraxinus excelsior	1
		Robinia pseudoacacia (nur direkt am Übergang zum westl. Gehölzstreifen)	2
		Salix caprea	r
		Salix sp. (Hybrid: *smithiana*?)	r
		Prunus avium	+
Prunus serotina	r		
Nicht gefunden		**Nicht gefunden**	
Betula pendula			
Carpinus betulus		*Carpinus betulus*	
Cytisus scoparius		*Cytisus scoparius*	
Lonicera xylosteum		*Lonicera xylosteum*	
Cornus sanguinea			
Rosa rubiginosa			
Gesamtdeckung Vegetation	2	**Gesamtdeckung Vegetation**	3

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt im oberen Hangbereich, ° - Vermehrt im Böschungsfuß

Aus der ursprünglichen Ansaatmischung kommen *Cornus sanguinea*-Sämlinge reichlich vor allem im Böschungsfuß und oberen Hangbereich vor. *Rosa rubiginosa* hat auf der gesamten Böschung ein spärliches Vorkommen und *Betula pendula* kommt nur vereinzelt vor. Durch Diasporeneintrag haben sich sehr zahlreiche Sämlinge von *Acer pseudoplatanus* sowie *Robinia pseudoacacia* etabliert, wobei *Robinia pseudoacacia* flächendeckend nur direkt am westlichen Gehölzstreifen in unmittelbarer Nähe zu adulten Robinienbeständen vorkommt. Als reichlich über die gesamte Fläche verteilt haben sich Sämlinge der Arten *Acer campestre* und *Fraxinus excelsior. Fagus sylvatica*-Sämlinge haben nur direkt am östlichen Waldrand ein reichliches Vorkommen. Als spärlich kann das Vorkommen von *Prunus avium* bezeichnet werden. *Acer platanoides*, *Salix caprea* und *S. caprea*-Hybriden kommen auf der gesamten Böschung nur vereinzelt vor. Als

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

bislang ausgefallene Arten der Ansaatmischung lassen sich *Carpinus betulus, Cytisus scoparius* und *Lonicera xylosteum* benennen. Der Teilausfall von *Carpinus betulus* ist vermutlich auf die durch die Gräser und Kräuter bedingte Dominanz und auf das Fehlen einer Inokulation des Rohbodens mit obligater Mykorrhiza des Standortes bei der Ansaat zurückzuführen (vgl. Kap. 4.5.3). Das nicht gekeimte *Carpinus betulus*-Saatgut könnte auch einer Keimhemmung unterliegen, Spätfrösten oder auch Tierfraß zum Opfer gefallen sein (vgl. Kap. 4.4; Anhang Tab. 46). Das Saatgut von *Cytisus scoparius* hat vermutlich gar nicht erst gekeimt, da der Besenginster nur in bodensauren Gebüschen (BSG) vorkommt und kalkhaltige Standorte meidet. Das durchgängige Verbreitungsareal von *Lonicera xylosteum* endet am Rand der nordwestdeutschen Tiefebene und kommt im Bereich der Nordseeküste natürlicherweise nicht vor (BFN 2012). Die klimatischen Bedingungen an der Bernser Landwehr könnten daher für die Keimung und Entwicklung von *Lonicera xylosteum* bereits nicht mehr optimal sein.

Abb. 35: Blick aus östlicher Richtung auf die Ansaatfläche IV b (eigenes Bild 2011).

Die Gehölzauswahl der Ansaatmischung für alle Böschungsflächen kann sich mit nur sechs verschiedenen Arten, wobei davon *Cytisus scoparius* nicht standortgerecht ist, an keinem klaren Vegetationsziel orientiert haben.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Hinzu kommt die Tatsache, dass vor der eigentlichen Gehölzansaat bereits eine Ansaat mit Landschaftsrasen durchgeführt wurde, wobei dieses Vorgehen aus Gründen der zu erwartenden Gräserdominanz von Fachleuten abgelehnt wird (vgl. Kap. 4.5; BLOEMER 2003; BMVBS 2005). Ähnliches gilt für eine Gehölzansaat mit Oberbodenauftrag (vgl. Kap. 4.1.2; ebd.).

Dass trotz der geringen Anzahl von geeigneten Gehölzarten in der Ansaatmischung an den meisten evaluierten Böschungsflächen eine Gehölzentwicklung stattfindet und ein Entwicklungstrend zu einem mesophilen Gebüsch zu erkennen ist, kann vor allem dem Eintrag von Diasporen aus den benachbarten Waldflächen zugerechnet werden. So kommen beispielsweise die die mesophilen Gebüsche (BM) begleitenden Arten wie *Acer* sp., *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* und *Rubus fruticosa* auch in den angrenzenden Gehölzbeständen vor. Die für diese Gebüsche typischen Arten, wie *Prunus spinosa, Euonymus europaeus, Viburnum opulus* etc., sowie mehrere Rosen- und Wildobstarten waren in der ursprünglichen Ansaatmischung nicht vorhanden.

Auf der südexponierten Fläche IV a müsste sich den Standortbedingungen gemäß eigentlich ein „Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte“ (BTK) einstellen. Eine Entwicklung in Richtung Gehölzbestand ist aber bislang nicht erkennbar.

Die auf den Rohböden aufgebrachten Zuschlagstoffe vermögen für die Gehölzkeimung und das -wachstum auf den nordexponierten Flächen ausgereicht haben, jedoch augenscheinlich nicht für die extremeren Standortbedingungen auf der südexponierten Böschungsfläche IV a.

Tab. 24: Vergleich der Zuschlagstoffe der Begrünung Bernser Landwehr mit den Empfehlungen von BLOEMER für Gehölzansaaten (eigene Darstellung; vgl. BALDER 1998; BLOEMER 2003; ANONYMUS 2008a, b; vgl. Kap. 4.5).

Zuschlagstoffe	Empfehlungen BLOEMER	Begrünung Bernser Landwehr		
		Rasenansaat	Gehölzsaat	insgesamt
Startdünger N-P-K-Mg 12-12-17-2	0 - 30 g/ m²	60 g/ m²	50 g/ m²	110 g/ m²
Organ. Langzeitdünger	350 g/ m²	80 g/ m²	100 g/ m²	180 g/ m²
Kleber auf Polybutadienbasis	10 g /m² (Saat) + 18 g/ m² (beim Mulchen)	30 g/ m²	30 g/ m²	60 g/ m²
Bodenverbesserungsstoffe	150 g /m²	80 g/ m²	-	80 g/ m²
Organ. Erosionsschutzfaser auf Holzbasis	35 g/ m²	-	-	-
Organ. Feinfasermulch auf Zellulosebasis	120 g/ m²	100 g/ m²	100 g/ m²	200 g/ m²
Mulchstoffe (zur Mulchung mit anschließender Verklebung)	mind. 500 g/ m² (Stroh)	300 g/ m² (Strohhäcksel)	300 g/ m² (Strohhäcksel)	600 g/ m²

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Beim Vergleich der Empfehlungen von BLOEMER (2003) mit den bei der Begrünung des Bernser Landwehr tatsächlich angewendeten Zuschlagstoffen fällt auf, dass mit insgesamt 110 g/ m² Startdünger anstelle von 0 - 30 g/ m² deutlich mehr verwendet wurde. Laut DIN 18918 sollen mit der Angabe von 30 - 50 g/ m² ebenfalls deutlich weniger NPK Mg-Dünger verwendet werden. Beim organischen Langzeitdünger ist das Gegenteil der Fall, hier wurden 180 anstelle von 350 g/ m² verwendet. Die DIN 18918 empfiehlt für Gräser, Kräuter und Leguminosen eine deutlich geringere Menge an mineralischem Mehrnährstoffdünger (30 - 45 g/ m²) mit Langzeit-Stickstoff. Zusammen mit den Richtwerten für organisch-mineralischen NPK-Dünger und organischen NPK-Dünger werden Mengen zwischen 100 bis 155 g/ m² erreicht, die deutlich unter der am Bernser Landwehr verwendeten Mengen und den Empfehlungen BLOEMERs liegen. Kleber wurde im Vergleich zu BLOEMERs Empfehlungen etwas zu großzügig, Bodenverbesserungsstoffe, Erosionsschutzfaser und Feinfasermulch etwas zu geringfügig bemessen. Bei der DIN 18918 sind beim Kleber deutlich höhere Richtwerte angegeben, bei Mulchstoffen sind die Angaben ähnlich.

Hierbei lassen sich folgende Schlussfolgerungen, die den Ausfall der angesäten Gehölze an der Fläche IV betreffen, ziehen. Mit insgesamt 110 g/ m² Startdünger wurde die Entwicklung der zuvor aufgebrachten Landschaftsrasenansaat massiv gefördert, welche vermutlich nach ihrer Entwicklungsexplosion 1 - 2 Jahre die Fläche dominiert hat, bis die Nährstoffvorräte aufgebraucht und nicht mehr genügend Wasserreserven erreichbar waren. Danach folgten ein Entwicklungseinbruch der Sukzession und ein nahezu totaler Ausfall der angesäten Vegetation (vgl. Abb. 36).

Eine ähnliche Beobachtung machte MARZINI (2011) an einer Begrünungsversuchsanlage der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau an einer südexponierten Autobahnböschung bei Würzburg. Bei diesem Beispiel verursachten auf dem Böschungsabschnitt eingebrachte Schafswollestränge die Überdüngung, die zu einem anschließenden Massenwuchs und letzten Endes zum Absterben von über 90 % der Gräser bei einer Hitzewelle führte (MARZINI 2011; vgl. Abb. 36).

Zudem bewirken Gramineen bei einer Ansammlung dichter Streumassen wie beim Massenwuchs - aufgrund ausbleibenden Schnitts oder Beweidung - eine Autintoxikation, welche sich auf die Entwicklung anderer Arten stark hemmend auswirkt. Eine auf diesem Standort noch mögliche Gehölzentwicklung wird demnach durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren wie die Wirkung bestimmter Blattinhaltsstoffe der Gräser als auch die Veränderung des Gaswechsels, der Feuchte, des Nährstoffhaushalts sowie die damit verbundene Umgestaltung der Bodenmikroflora und -fauna unterdrückt (STEUBING & SCHWANTES 1992).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 36: Massenwuchs (links) neben für den Standort u. a. geeigneten Vegetationsentwicklungen (verändert nach MARZINI 2011).

Die Fragestellung der Böschungsstabilität durch Gehölzansaaten muss im Folgenden anhand dieser Böschungsflächen am Bernser Landwehr nicht näher untersucht werden, da es sich hierbei um stabile Böschungen mit keinerlei sichtbaren Erosionsproblemen handelt.

Trotz fachlicher Mängel bei der Gehölzauswahl, der Anzahl an Gehölzarten sowie der Beisaat (Landschaftsrasen) entwickeln sich auf den meisten Rohbodenflächen der Bernser Landwehr Gehölze, die einen vielversprechenden Begrünungserfolg andeuten. Auch an diesen Böschungsflächen kann aufgrund der sich noch in der sukzessiven Anfangsphase befindlichen Vegetationsbestände bezüglich des endgültigen Begrünungserfolgs noch kein abschließendes Fazit gegeben werden. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, hier nach etwa 5-jähriger Sukzessionszeit eine erneute Flächenaufnahme durchzuführen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6.4 Heidkopftunnel Westportal BAB 38

Die evaluierten Ansaatflächen befinden sich vor dem Westporttal auf der niedersächsischen Seite des Heidkopftunnels an der BAB 38. Die als Verkehrsprojekt „Deutsche Einheit Nr. 13“ (DEGES 2011) neugebaute BAB 38 zweigt von der BAB 7 südlich von Göttingen ab und verläuft als sog. Südharzautobahn über Heiligenstadt, Leinefelde-Worbis, Nordhausen, Sangerhausen, Lutherstadt Eisleben in den Raum Halle (Saale) und Leipzig. Die 219 km lange Autobahn wurde im Dezember 2009 komplett freigegeben.

Mit 1724 m ist der Heidkopftunnel der längste Tunnel dieser Strecke und durchquert die Grenze zwischen den Bundesländern Thüringen und Niedersachsen, er wurde bereits im Dezember 2006 für den Verkehr freigegeben (vgl. ebd.).

Der Tunneleingang befindet sich im Buntsandstein, die im Vorfeld gelegenen Böschungsflächen über Kalksteinrendzina (vgl. Abb. 37).

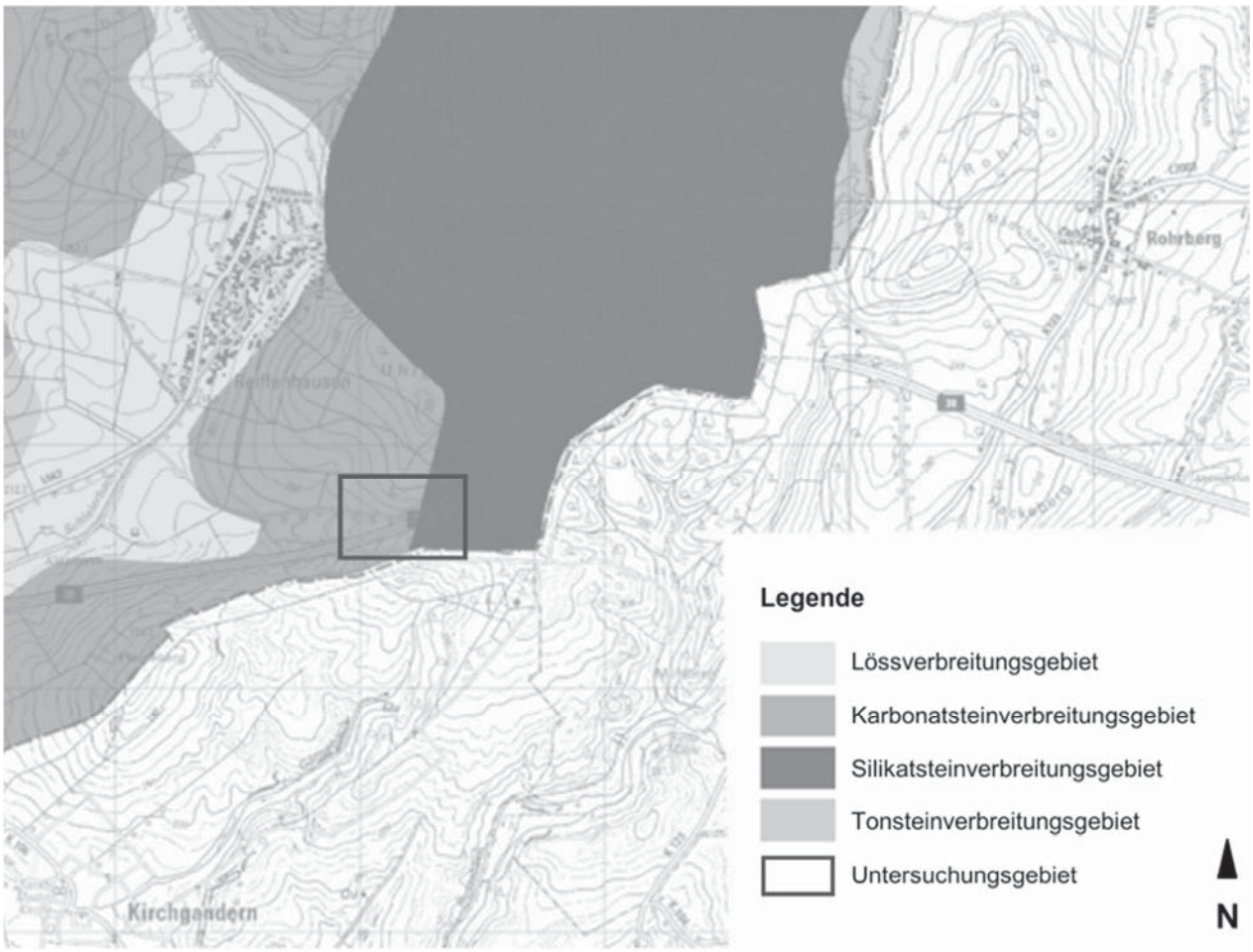


Abb. 37: Lage der Ansaatflächen mit Bodenlandschaften, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LBEG 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 25: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; LBEG 2011; LÜBKER 2011; NLWKN 2011).

Topografie	**Expositionen**	**Größe**	**Höhenlage**
Einschnittsböschungen oberhalb der Trasse, Tunneleingangsbereich	Süd-Ost Süd- West Nord- West (2x)	2 x 24000 m² Ansaat I: Höhe < 7m Ansaat II: 50 m Länge mit 2 befahrbaren Bermen	Höhe: 300 - 350 m (kollin)
Geologie	**Boden**	**Relief**	**Alter**
Buntsandstein und Muschelkalkablagerungen	Am Tunneleingang: Buntsandsteinbankett Im weiteren Tunnelvorfeld: Kalksteinrenzina auf Kalkschotter	Neigung 1 : 2 - 1 : 1,5	5 Jahre (2006)
Klima	**Temperatur**	**Niederschläge**	**Wasserhaushalt**
Subatlantisch	Jahresmittel: 8,7° C Januar: 0,5° C Juli: 16,9° C	657 mm/ Jahr	Trockener Kalkstandort und trockener - wechselfeuchter Buntsandstein
Extrazonale Zielvegetation	**Zonale Vegetation**	**Aufgabe und Funktion**	**Vegetation und Nutzung im Umfeld**
BTK/S, BM und BS: *Pruno- Ligustretum* (Ligustergebüsch), *Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch) *Pruno-Rubetum* (Schlehen- Gebüsche mit Brombeeren), *Crataego-Prunetum spinosae* (Weißdorn-Schlehen- Gebüsch), *Rubo plicati-Sarothamnetum* (Faltenbrombeer-Besenginster-Gebüsch), *Rubetum …* (Waldgeißblatt-Brombeer-Gebüsche), *Frangulo-Rubetum* (Brombeeren-Faulbaum-Gebüsch)	Hainbuchen-Traubeneichen- Wald (*Carpinetum*) Sommerlinden-Mischwald (*Tilienion platyphylli*) Buchenwald (*Carici-Fagetum*)	Begrünung einer Straßenböschung durch die Etablierung eines Gehölzbestands	Grünland, Hecken, Wald, Straßen und wirtschaftliche Nutzwege

Als Zuschlagstoffe für beide Nassansaaten wurden jeweils 150 g Zellulose, 75 g Natrium-Alginat (flüssiger Bodenverbesserungsstoff), 400 g Strohhäcksel (Mulch), 30 g Kunststoffkleber, 30 g mineralischer Startdünger NPK Mg (12/12/17/2) sowie 150 g organischer Langzeitdünger (aus mikrobieller Biomasse, org. Masse mit mind. 80 % Nährstoffgehalt 8/2/2 und organisch gebundenen Stickstoff) pro 1 m² Fläche verwendet. Beide Ansaatmischungen enthielten jeweils insgesamt 25 g/ m² Gehölzsaatgut und eine Beisaat mit 2 g *Avena sativa,* 2 g *Bromus secalinus,* 2 g *Festuca rubra,* 2 g *Lolium perenne* und 2 g *Phacelia tanacetifolia* (ARGE k. A.).

Bei der ausgeführten Ansaat I am südostexponierten Tunnelvorfeld handelte es sich um eine Artenmischung für warme trockene kalkhaltige Standorte. So enthielt Ansaatmischung I mit 2 g *Acer campestre*, 2 g *Carpinus betulus,* 3 g *Prunus spinosa*, 2 g *Pyrus*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

communis, 2 g *Rosa canina,* 2 g *R. rubiginosa* und 2 g *Viburnum lantana* standortgerechte und gebietstypische Arten (vgl. ebd.).

Ansaatmischung II, die sog. „Leinetal Nassansaat“ für die evaluierte nordwestexponierte Böschungsfläche über Kalksteinrendzina auf Kalkschotter (Karbonatsteinverbreitungsgebiet), enthielt 2,5 g *Acer campestre,* 2 g *Alnus glutinosa,* 2,5 g *Carpinus betulus,* 2 g *Cornus sanguinea*, 1,5 g *Prunus avium* und 2,5 g *Pyrus communis* (ebd.).

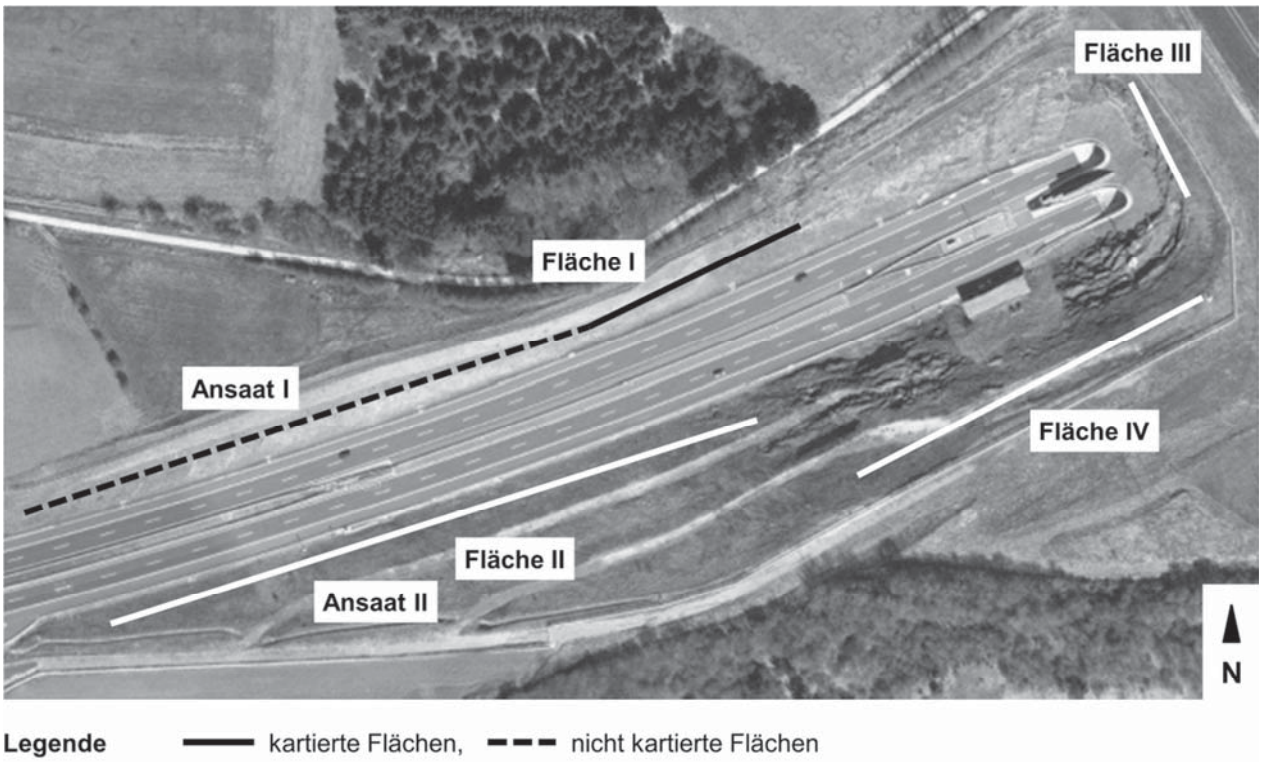


Abb. 38: Lage der kartierten Flächen, ohne Maßstab (Luftbild verändert nach GOOGLE MAPS 2012a).

Die kartierten Flächen III und IV befinden sich über Buntsandstein (Silikatsteinverbreitungsgebiet) in unmittelbarer Nähe zur Tunneleinfahrt (vgl. Abb. 37, 38). Hier ist aus Gründen der Straßenverkehrssicherheit keine Ansaatmischung aufgebracht worden.

Die südostexponierte, mittels Ansaat begrünte Böschung konnte aufgrund der stark eingeschränkten Zugänglichkeit nur zum Teil kartiert werden (vgl. Abb. 38, 39). Fläche I befindet sich größtenteils über Kalksteinrenzina auf Kalkschotter, lediglich der östliche Bereich der kartierten Fläche befindet sich im Übergang zum Buntsandsteinbankett (vgl. Abb. 37, 38). Ab hier nimmt das Vorkommen von *Populus tremula* und *Salix caprea* zu und von *Rosa canina* und *R. rubiginosa* deutlich ab. Vermehrt an der oberen Böschungskante ist hier flächendeckend *Rubus idaeus* verbreitet (vgl. Tab. 26).

An der Böschungsoberkante der gesamten Fläche I sind *Prunus spinosa*, *Fraxinus excelsio*r und *Prunus avium* reichlich verbreitet. *Cornus sanguinea* und *Pyrus communis* kommen hier spärlich und *Crataegus laevigata* nur vereinzelt vor.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 26: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach Südosten exponierten Böschungsfläche I am Heidkopftunnel (eigene Darstellung).

Heidkopftunnel	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	2	-	-	2	2	2	-
Arten der Ansaatmischung I							
Acer campestre	-	-	-	-	-	-	-
Carpinus betulus	-	-	-	-	-	-	-
Prunus spinosa	r / 1*	-	-	r / 1*	+	r	-
Pyrus communis	+*	-	-	+	-	+	-
Rosa canina	+ - 1*^	-	-	+ - 1	+	+	-
Rosa rubiginosa	+ - 1*^	-	-	+ - 1	+	+	-
Viburnum lantana	-	-	-	-	-	-	-
Etablierte Arten durch Diasporeneintrag und Ansaat II							
Betula pendula	+	-	-	1	-	1	-
Cornus sanguinea	+*	-	-	+	-	+	-
Crataegus laevigata	r*	-	-		+	r	-
Fraxinus excelsior	1* / +	-	-	1* / +	+	+	-
Pinus sylvestris	r	-	-	r	-	r	-
Populus tremula	2´	-	-	2	-	2	-
Prunus avium	1* / r	-	-	1* / r	r	r	-
Rubus idaeus	+*´	-	+	-	+	-	-
Salix caprea	1 - 2´	-	-	1 - 2	-	1 - 2	-
Salix viminalis	+	-	-	+	-	+	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt an der oberen Böschungskante, ^ - Vermehrt im mittleren westlichen Bereich der Böschung, ´ - Vermehrt im östlichen Bereich der Böschung

Insgesamt sind auf der Böschungsfläche I *Salix caprea* und *Populus tremula* durch Diasporeneintrag reichlich bis sehr zahlreich vertreten. Die beiden Rosenarten haben hier ein spärliches bis reichliches Vorkommen. *Betula pendula, Fraxinus excelsior* und *Salix viminalis* kommen nur spärlich vor. Als vereinzelt wurde das Vorkommen von *Prunus avium, Pinus sylvestris* und *Prunus spinosa* kartiert. Himbeere und Brombeere, Esche, Weißdorn, Kiefer und Hanfweide sind durch Diasporeneintrag aus den benachbarten Gehölzbeständen auf die Fläche gekommen. *Acer campestre, Carpinus betulus* und *Viburnum lantana* befanden sich zwar in der Ansaatmischung, sind jedoch in Fläche I nicht aufgekommen. Möglicherweise ist das Saatgut auf der südostexponierten Fläche I nach der Ausbringung ausgetrocknet, denn bei allen ausgefallenen Arten kann eine

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

sekundäre Keimhemmung durch Trockenheit auftreten (vgl. Tab. 46 im Anhang). Der Ausfall von *Carpinus betulus* könnte auch auf eine fehlende Mykorrhiza-Inokulation zurückzuführen sein, wobei bei der Ansaatmischung zusammen mit dem organischen Langzeitdünger mikrobielle Biomasse in den Rohboden eingebracht wurde (vgl. ARGE k. A.).

Abb. 39: Blick in westliche Richtung auf den Übergangsbereich zwischen Kalksteinrenzina und Buntsandsteinbankett der Fläche I (eigenes Bild 2011).

Den Standortbedingungen nach zu urteilen würde sich natürlicherweise auf dieser Böschung ein wärmeliebendes Gebüsch auf kalkhaltigen Standorten (BTK) einstellen. Das vermehrte Vorkommen der Pioniergehölze *Populus tremula* und *Salix caprea* lässt darauf schließen, dass sich ohne Ansaat vor allem auf den von Buntsandstein beeinflussten Bereichen zunächst ein naturnahes Sukzessionsgebüsch (BRS) einstellen würde. Die nordwestexponierte Böschungsfläche II befindet sich ausschließlich über Kalksteinrenzina. Die Gesamtvegetation mit 50 - 75 % Deckung ist im Vergleich zur gegenüberliegenden Böschung als sehr dicht zu beurteilen (vgl. Tab. 27; Abb. 40).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 27: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach Nordwesten exponierten Böschungsfläche II am Heidkopftunnel (eigene Darstellung).

Heidkopftunnel	Gesamt-deckung	senile und tote Ge-hölze	adulte Gehölze	Juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	4	-	+	2 - 3	3	1 - 2	-
Arten der Ansaatmi-schung II							
Acer campestre	+	-	-	+	+	r	-
Alnus glutinosa	-	-	-	-	-	-	-
Carpinus betulus	+	-	-	+	+	-	-
Cornus sanguinea	1	-	-	1	1	-	-
Prunus avium	+*	-	-	+	+	-	-
Pyrus communis	1	-	-	1	1	-	-
Etablierte Arten durch Diasporeneintrag und Ansaat I							
Acer pseudoplatanus	1*	-	-	1	+	+	-
Betula pendula	1	-	-	1	-	1	-
Clematis vitalba	1°^	-	1	-	1	-	-
Crataegus laevigata	+ - 1*	-	-	+ - 1	+	+	-
Crataegus monogyna	r*	-	-	r	r	-	-
Fraxinus excelsior	+*	-	-	+	-	+	-
Populus tremula	r	-	-	r	-	r	-
Prunus spinosa	2	-	-	2	1	1	-
Rosa canina	1 - 2^	-	-	1 - 2	-	1	-
Rosa rubiginosa	1 - 2^	-	-	1 - 2	-	1	-
Rubus fruticosa	+*	-	+	r	r	-	-
Salix caprea	r	-	-	r	-	r	-
Sorbus aucuparia	+	-	-	+	r	+	-
Viburnum lantana	1	-	-	1	1	+	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt an der oberen Böschungskante, ° - flächendeckend, ^ - Vermehrt an den besonnteren steinigen Bereichen der Böschung (an den Bermen)

Rosa rubiginosa und *R. canina* sind reichlich bis sehr zahlreich vor allem an den beiden sonnenbegünstigten Bermen vertreten (vgl. Tab. 27; Abb. 41). Das Gleiche gilt für *Clematis vitalba,* die an den Bermen sogar flächendeckend vorkommt (vgl. Tab. 27; Abb. 42).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 40: Blick in Fläche II. Vorne befinden sich Rosen und *Pyrus communis* (eigenes Bild 2011).

Abb. 41: Rosendominanz an den Bermen in Fläche II (eigenes Bild 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 42: Blick auf die obere Berme in Fläche II. Im Vordergrund befinden sich *Clematis vitalba, Pyrus communis* und Rosen (eigenes Bild 2011).

Cornus sanguinea, Pyrus communis, Betula pendula und *Viburnum lantana* sind auf der gesamten Böschungsfläche II reichlich vertreten. *Acer campestre, Carpinus betulus* und *Sorbus aucuparia* kommen hier spärlich vor. Die beiden Pionierarten *Populus tremula* und *Salix caprea* sind auf dieser Fläche über Kalksteinrenzina nur noch vereinzelt vorkommend (vgl. Tab. 27).

Vermehrt an der oberen Böschungskante der Fläche II haben *Crataegus laevigata* ein reichliches und *Rubus fruticosa, Fraxinus excelsior* und *Prunus avium* ein spärliches Vorkommen. *Crataegus monogyna* tritt nur vereinzelt auf. Durch Diasporeneintrag sind Weißdornarten, Brombeere, Esche und Waldrebe auf die Fläche II gelangt. Die in der Ansaat enthaltende *Alnus glutinosa* konnte nicht festgestellt werden. Da die Art zur Keimung einen feuchten Boden in schattiger Lage benötigt, könnte es sein, dass die die Mulchschicht zur Erfüllung dieser Keimungsbedingungen nicht ausgereicht hat. Zudem sind die recht dünnwandigen Samen empfindlich und könnten bei der maschinellen Ausbringung verletzt worden sein (vgl. Tab. 46 im Anhang).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Auf der Fläche II würde sich natürlicherweise den Standortbedingungen und den bereits etablierten Arten nach zu urteilen ein rosendominiertes mesophiles Gebüsch (BMR) wie ein Hartriegelgebüsch (*Rhamno-Cornetum sanguineii)* einstellen (vgl. Tab. 27) .

Tab. 28: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach südwestexponierten Böschungsfläche III über der Tunneleinfahrt am Heidkopftunnel (eigene Darstellung).

Etablierte Arten durch Diasporeneintrag	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	4			4	2	2	-
Betula pendula	+	-	-	+	r	+	-
Fraxinus excelsior	r*	-	-	r	r	r	-
Pinus sylvestris	r*	-	-	r	r	r	-
Populus tremula	2	-	-	2	1	2	-
Rubus idaeus	1*°	-	1	+	1	-	-
Salix caprea	2	-	-	2	1	2	-
Salix sp.	r	-	-	r	r	r	-
Salix viminalis	+ - 1	-	-	+ - 1	+	1	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt an der oberen Böschungskante, ° - flächendeckend

Tab. 29: Vegetationsaufnahme am 04.07.2011 der nach nordwestexponierten Böschungsfläche IV im direkten Tunnelvorfeld des Heidkopftunnels (eigene Darstellung).

Etablierte Arten durch Diasporeneintrag und Ansaatmischung II	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	3	-	-	3	3	-	-
Betula pendula	1	-	-	1	1	-	-
Fraxinus excelsior	r*	-	-	r	r	-	-
Pinus sylvestris	+*	-	-	+	+	-	-
Populus tremula	2	-	-	2	2	-	-
Prunus avium	r*	-	-	r	r	-	-
Prunus spinosa	1*	-	-	1	1	-	-
Rosa canina	+ - 1*^	-	-	+ - 1	+	-	-
Rosa rubiginosa	+ - 1*^	-	-	+ - 1	+	-	-
Salix caprea	1	-	-	1	1	-	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, * - Vermehrt an der oberen Böschungskante, ^ - Vermehrt im östlichen Bereich der Böschung (Übergang zur Fläche II)

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Mit *Populus tremula* und *Salix caprea* als sehr zahlreich vertretende Arten auf den beiden Buntsandsteinflächen III und IV im unmittelbaren Tunnelvorfeld stellt sich ohne Ansaat eine klassische saure Vorwaldgesellschaft - das naturnahe Sukzessionsgebüsch (BRS) - ein. Als weitere für dieses Gebüsch typische Pionierarten sind *Salix viminalis* (zumindest in Fläche III) reichlich und *Betula pendula* spärlich bis reichlich vertreten. An den oberen Böschungsrändern der Fläche III ist ein flächendeckendes Vorkommen von *Rubus idaeus* erwähnenswert. Des Weiteren sind vereinzelte Exemplare von *Fraxinus excelsior und Pinus sylvestris* aufgenommen worden (vgl. Tab. 28).

Auf der Fläche IV sind mit dem spärlichen bis reichlichen Vorkommen von *Rosa canina* und *R. rubiginosa* Übergangsbereiche an der oberen Böschungskante und am östlichen Ende der Aufnahmefläche zur Kalksteinrendzina erkennbar. Auch die reichliche Verbreitung von *Prunus spinosa* und das vereinzelte Vorkommen von *Prunus avium* und *Fraxinus excelsior* an der Böschungsoberkante ist ein Indiz dafür (vgl. Tab. 29).

Die Entwicklung einer Vorwaldgesellschaft birgt für die Straßenverkehrssicherheit Gefahren, da gerade *Populus tremula* als baumförmiges Pioniergehölz sehr schnellwüchsig ist. Um ein mögliches Umkippen der Zitterpappeln zu vermeiden, ist eine regelmäßige Pflege notwendig (vgl. Kap. 4.3, 4.7; Abb. 43).

Das zahlreiche Aufkommen der für diesen Standort gebüschtypischen Gehölze auf den Kalksteinböschungen lässt die Schlussfolgerung zu, dass hier mittels Etablierung eines naturnahen Gebüsches die Standort- und Verkehrssicherheit langfristig erreicht werden könnte (vgl. Kap. 4.6). Zudem sind hier augenscheinlich keinerlei oberflächliche Erosionsspuren zu erkennen. Zum Schutz des Bodens vor Oberflächenerosion reicht die Vegetationsentwicklung mit einer Gesamtdeckung von über 25 % aus.

Auf den der natürlichen Sukzession überlassenen Buntsandsteinböschungen an der Tunneleinfahrt kann die Böschungssicherheit, wie bereits erwähnt, langfristig ohne Pflegeingriff nicht gewährleistet werden. Seit Bau des Tunnels im Jahr 2005 sind bereits im Winter 2010/11 nach 5-jähriger Sukzessionszeit erste Rückschnittsmaßnahmen mithilfe einer Spezialfirma erfolgt (ROHLOFF 2011). Sicherlich wäre hier eine Ansaat mit einem bodensauren Besenginstergebüsch (BSG) als Vegetationsziel langfristig eine kostengünstigere Variante (vgl. Kap. 4.3), obwohl beim Einsatz des eher konkurrenzschwachen *Cytisus scoparius* langfristig auch Pflegeeingriffe zur Beseitigung von Baumaufwuchs notwendig sein werden (vgl. PREISING et al. 2003).

DUTHWEILER (1967) schlägt basierend auf seinen Praxiserfahrungen zur Sicherung von Steilböschungen auf Silikatgesteinen vor, zunächst die Quelllinsen über den Tonlinsen mittels eines Faschinendräns zu entwässern. Eine Kombination mit Heckenbuschlagen aus *Salix viminalis* sowie adventivwurzelbildenden Arten der Gehölzansaat ist hierbei sinnvoll. Anschließend soll eine Gehölzansaat aus *Cytisus scoparius, Rubus idaeus, Rubus fruticosa, Alnus glutinosa* und *Sambucus racemosa* bzw. *S. nigra* durchgeführt

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

werden. Die Beisaat sollte vor allem aus *Agrostis capillaris, Lupinus perennis* und *Teucrium scorodonia* bestehen. Mit seinem tiefgehenden, extensiven Wurzelwerk übernimmt *Cytisus scoparius* zunächst für 5 - 7 Jahre die erste Sicherungsfunktion. Danach breitet sich auf dem ersten Humus eine Decke aus Rotstraußgras aus. Der konkurrenzschwache Besenginster friert dann meist zurück und das Gestein ist dann meist soweit verwittert, dass eine Gehölzanpflanzung möglich wäre (DUTHWEILER 1967). Das von DUTHWEILER (1967) letzten Endes erreichte Vegetationsziel ist ein Baumstadium (Wald), welches über ein Strauchstadium mit *Cytisus scoparius* und ein Vorwaldstadium eingeleitet werden würde.

Abb. 43: Blick über das naturnahe Sukzessionsgebüsch der Fläche III auf die Tunneleinfahrt. Im Vordergrund befindet sich Junggehölzaufwuchs der die Verkehrssicherheit gefährdende *Populus tremula* (eigenes Bild 2011).

Im Fall der Tunneleinfahrt am Heidkopf soll ein Baumstadium aus Gründen der Verkehrssicherheit verhindert werden, so dass als Vegetationsziel das bodensaure Besenginstergebüsch erhalten werden soll. Dies kann nur, wie bereits erwähnt, durch regelmäßige Pflege erreicht werden. Zudem sollte die Beisaatmischung keine konkurrenzstarken, Gehölze verdrängenden Arten wie *Agrostis capillaris* enthalten.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

An den beiden Kalksteinböschungen im Vorfeld der Heidkopf-Tunneleinfahrt kann aufgrund der sich bereits entwickelten Gehölze von einem Begrünungserfolg ausgegangen werden. Auch hier befinden sich die Vegetationsbestände noch in der sukzessiven Anfangsphase, so dass es empfehlenswert wäre, hier nach etwa 5-jähriger Sukzessionszeit eine erneute Flächenaufnahme durchzuführen, um dann ein abschließendes Statement zum Begrünungserfolg geben zu können.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6.5 Langelsheim / Astfeld B 82

Die evaluierte Böschungsfläche liegt ca. 10 km nordwestlich von Goslar im nördlichen Harzvorland an der Bundestraße 82 bei Astfeld in Richtung Langelsheim von km 0+867,869 bis km 9+120 (vgl. Abb. 44, 45).

Es handelt sich hierbei um eine hauptsächlich nordexponierte skelettreiche Einschnittsböschung mit z. T. oberflächlich anstehenden Schieferplatten auf tonig verwitterndem Silikatgestein und Parabraunerdeschichten (vgl. Abb. 44; Tab. 29).

Die Bodenbedingungen im Zusammenspiel mit Exposition und den subatlantischen Klimafaktoren bedeuten für den Wasserhaushalt wechselnde trockene und frischere Bereiche und können bei Austritt von Quellwasser sogar wechselnasse Bereiche hervorrufen (vgl. ebd.; Tab. 29).

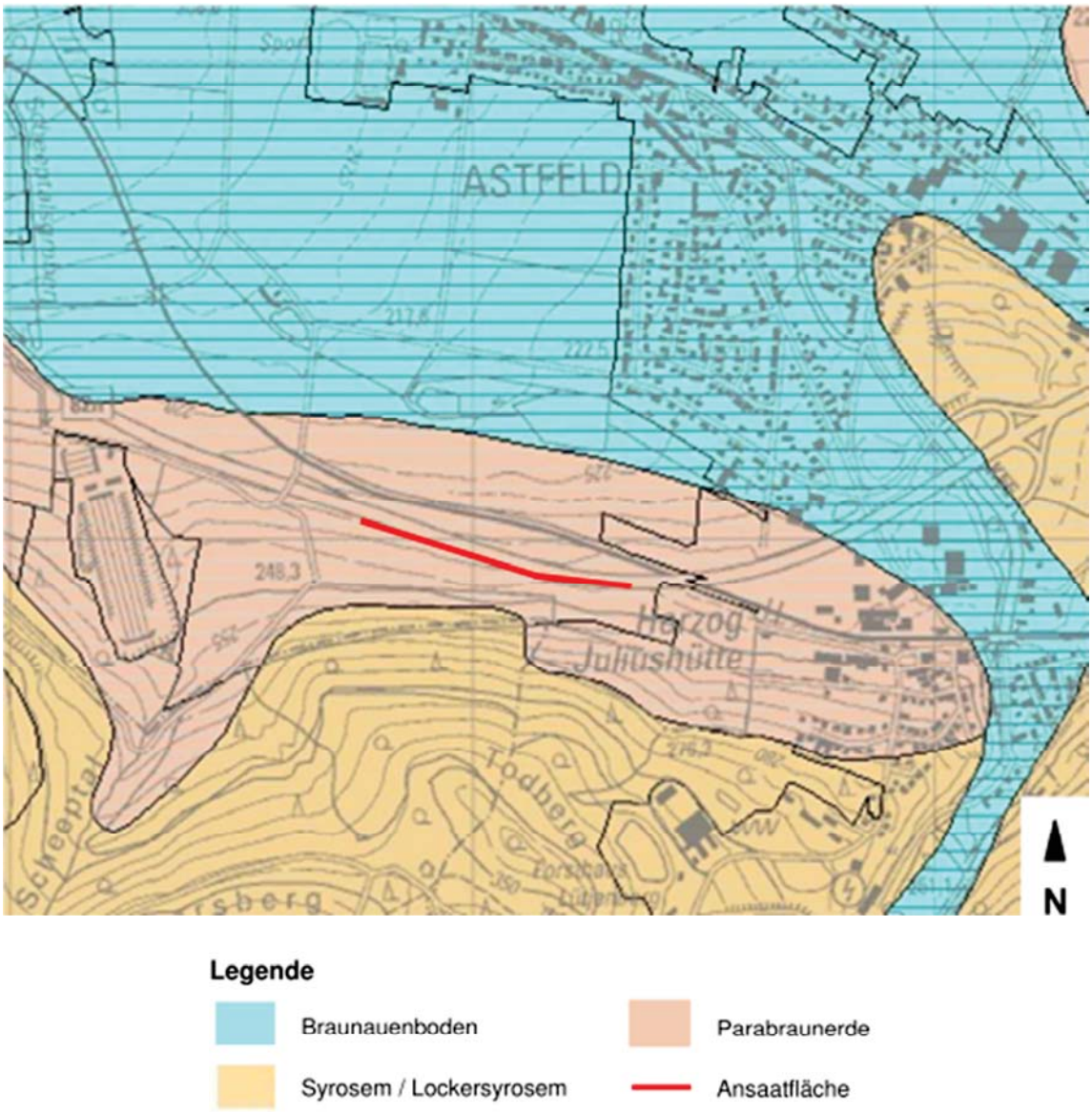


Abb. 44: Lage der Ansaatfläche mit Bodenlandschaften, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach LBEG 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

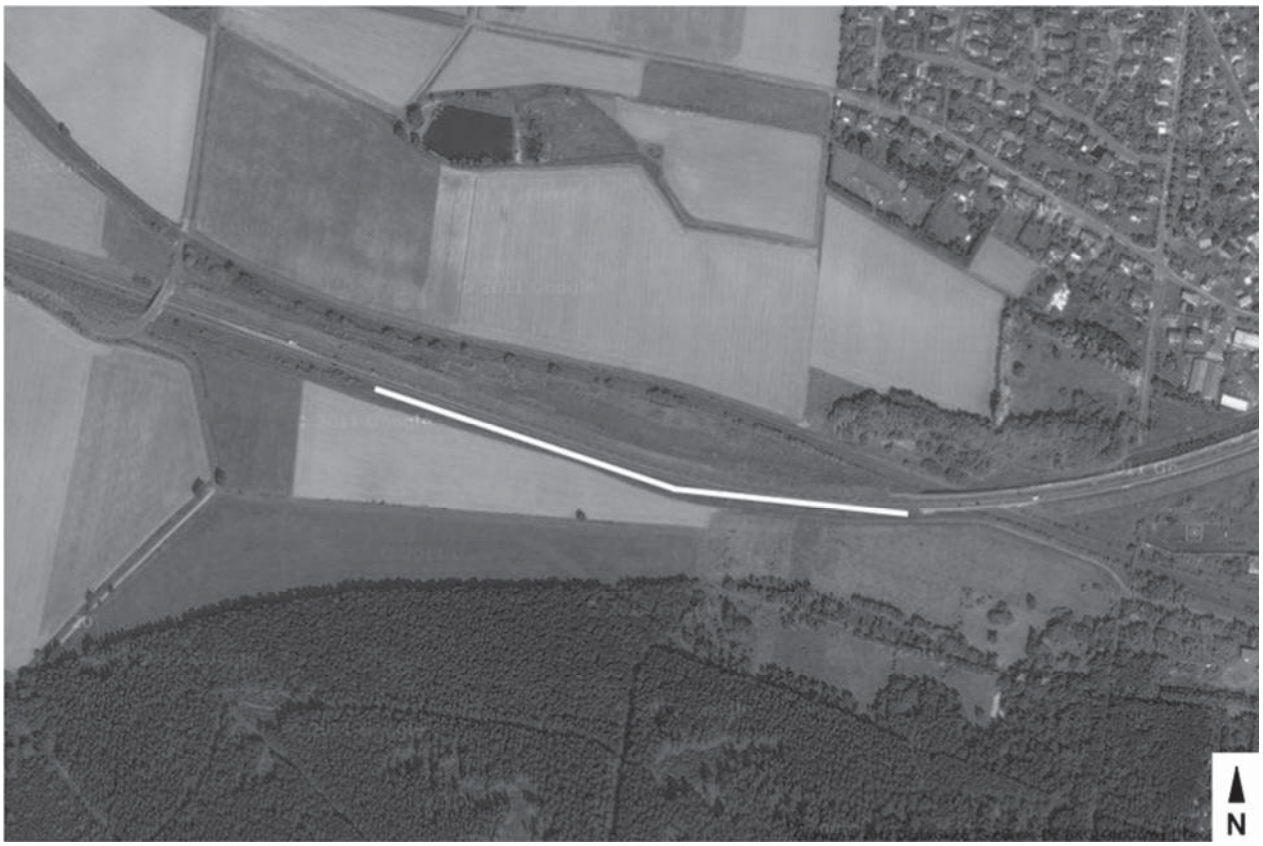


Abb. 45: Lage der kartierten Fläche, ohne Maßstab (Kartenausschnitt verändert nach GOOGLE MAPS 2012b).

Die Rohbodenbegrünung mittels Gehölzansaat wurde im Herbst des Jahres 2004 durchgeführt und war zum Zeitpunkt der Evaluation ca. 7 Jahre alt (vgl. Tab. 29).

Die Aufbringung erfolgte durch das Nassansaatverfahren. Ausgebracht wurde ca. 15 g Saatgut je m² Böschungsfläche (insgesamt für 4800 m²). Die Beisaat bestand aus 8 g/ m² Ammengräserzusatz RECUCOMP S-AR, 4 g / m² Kräuterzusatz RECUCOMP S-P und 8 g / m ² Leguminosensaatgut (genaue Artenangaben können der Ausschreibung leider nicht entnommen werden). Als Zuschlagstoffe wurden 50 g/ m² Startdünger N-P-K-Mg (12-12-17-2), 300 g/ m² organischer Langzeitdünger, 10 g/ m² Kleber auf Polybutadienbasis bei der Ansaat sowie 380 g/ m² Bodenverbesserungsstoffe, bestehend aus 150 g/ m² organischen Zuckerphosphoramid und 150 g/ m² Betonit, 40 g/ m² organische Erosionsschutzfaser auf Holzbasis und 40 g/ m² organischer Feinfasermulch auf Zellulosebasis, auf die Fläche ausgebracht. Zum Schutz des Saatgutes erfolgte Nassmulchung nach DIN 18918 durch Applikation im hydraulischen Anspritzverfahren. Bestandteile der Mulchung waren 300 g/ m² organische Mulchfaser auf Strohbasis, 200 g/ m² Stroh-Baumwollfaser-Mischung und 15 g/ m² Kleber auf Polybutadienbasis (NLStBV-GS 2004).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Basierend auf den Arten der Ansaatmischung müsste sich als Zielvegetation an der schwach sauren nordexponierten Böschung ein mesophiles Rosengebüsch (BMR) oder ein mesophiles Haselgebüsch (BMH) einstellen (vgl. Tab. 31).

Tab. 30: Standort - Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; LBEG 2011; LÜBKER 2011; NLWKN 2011).

Topografie	**Expositionen**	**Größe**	**Höhenlage**
Einschnittsböschung oberhalb der Trasse	Nord (-ost)	4.800 m² Länge: 450 m Höhe: 10 - 20 m	Höhe 200 - 250 m (kollin)
Geologie	**Boden**	**Relief**	**Alter**
Tonschiefer, Buntsandstein und Muschelkalkablagerungen	Skelettreicher Lehm mit anstehenden Schieferplatten	Neigung 1 : 2 - 1 : 1,5	7 Jahre (2004)
Klima	**Temperatur**	**Niederschläge**	**Wasserhaushalt**
Subatlantisch	Jahresmittel: 8° C Januar: -0,5° C Juli: 16,5° C	650 - 800 mm/ Jahr	wechselnde trockene, frischere bis feuchte Bereiche
Extrazonale Zielvegetation	**Zonale Vegetation**	**Aufgabe und Funktion**	**Vegetation und Nutzung im Umfeld**
BMR / H: Hartriegelgebüsch (*Rhamno-Cornetum*) Submontanes bis montanes Hasel-Gebüsch *(Senecioni-ovati-Coryletum*)	Buchen-Traubeneichen-Wald (*Luzulo-Queretum*) Buchenwald - Buchenmischwald *(Luzulo-Fagetum)*	Begrünung einer Straßenböschung durch die Etablierung eines Gehölzbestands	Grünland, Straßen und forstwirtschaftliche Nutzwege

Nach Betrachtung der Ergebnisse der Vegetationskartierung vom 08.06.2011 kann von einem Komplettausfall der Ansaat gesprochen werden (vgl. Abb. 46).

Durch Diasporeneintrag haben sich *Salix caprea* sehr zahlreich und *Picea abies*, *Populus tremula* und *Betula pendula* reichlich auf der Böschung ausgebreitet, aber keines von diesen Gehölzen mit Ausnahme der beiden adulten Exemplare von *Betula pendula* kann aus der ursprünglichen Ansaatmischung stammen. Bei den Birken kann daher bereits eine erste Naturverjüngung auf der Böschung stattgefunden haben. Die auf der Böschung vereinzelt kartierte *Pinus sylvestris* ist ebenfalls durch Diasporeneintrag von den benachbarten Waldbeständen auf die Fläche gekommen.

Das vermehrte Vorkommen dieser Pioniergehölze lässt darauf schließen, dass sich auf dem schwach sauren Tonschiefer auch ohne Ansaat zunächst ein naturnahes Sukzessionsgebüsch (BRS) einstellen würde (vgl. Abb. 47).

Die Deckung der gesamten Vegetation beträgt nicht mehr als 50 %. Da aber keinerlei Spuren von Oberflächenerosion zu erkennen sind, gilt sie auch ohne Gehölze der Zielvegetation als stabil. Von daher muss hier die Fragestellung der Böschungsstabilität durch Gehölzansaaten nicht näher thematisiert werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 31: Vegetationsaufnahme vom 08.06.2011 der angesäten Böschung (eigene Darstellung).

Langelsheim	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	3		+	2	3	+ (6 Ind.)	r (1 Salix caprea)
Arten der Ansaatmischung							
Acer campestre	-	-	-	-	-	-	-
Acer pseudoplatanus	-	-	-	-	-	-	-
Alnus glutinosa	-	-	-	-	-	-	-
Betula pendula	1	-	r (2 Ind.)	1	1	r	-
Carpinus betulus	-	-	-	-	-	-	-
Cornus sanguinea	-	-	-	-	-	-	-
Corylus avellana	-	-	-	-	-	-	-
Crataegus monogyna	-	-	-	-	-	-	-
Euonymus europaeus	-	-	-	-	-	-	-
Fagus sylvatica	-	-	-	-	-	-	-
Fraxinus excelsior	-	-	-	-	-	-	-
Lonicera xylosteum	-	-	-	-	-	-	-
Malus sylvestris	-	-	-	-	-	-	-
Prunus padus	-	-	-	-	-	-	-
Quercus robur	-	-	-	-	-	-	-
Rosa canina	-	-	-	-	-	-	-
Rubus fruticosa	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sorbus aucuparia	-	-	-	-	-	-	-
Ulmus carpinifolia	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum opulus	-	-	-	-	-	-	-
Diasporeneintrag							
Salix caprea	2	-	+	2	2	+	r
Pinus sylvestris	r	-	-	r	r	-	-
Picea abies	1	-	-	1	1	-	-
Populus tremula	1	-	-	1	1	+	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 46: Blick auf die evaluierte Böschung in südöstliche Richtung (eigenes Bild 2011).

Abb. 47: Durch Diasporeneintrag eingetragene aufgekommene Pionierarten: *Salix caprea, Populus tremula, Picea abies* und *Betula pendula* (eigenes Bild 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Nun geht es hauptsächlich darum, den Ausfall der Gehölzansaatmischung zu analysieren. Von der Ansaat selber sind nach 6,5 Jahren keinerlei Spuren (Sämlinge, Saatgut oder Hilfsstoffe) mehr zu erkennen.

Die Ansaat könnte entweder nicht gekeimt oder direkt nach der Keimung vertrocknet sein. Eine Abspülung der Ansaat in den Böschungsfuß ist augenscheinlich nicht erfolgt, da in den Jahren nach der Ansaat keinerlei Gehölzaufwuchs stattgefunden hat (BRIEGEL 2011). Möglicherweise ist die Ansaat durch Tierfraß zerstört worden. Wild ist durch einen Schutzzaun von der Fläche ausgegrenzt, jedoch könnten Vögel oder Nagetiere sich am Saatgut und den Keimlingen zu schaffen gemacht haben. Dass sie jedoch das ganze Saatgut vernichtet haben, ist höchst unwahrscheinlich. Haselnüsse, Eicheln und Bucheckern, die bei der Ansaat händisch auf die Böschung gebracht worden sind, sind andererseits für Nagetiere ein bevorzugtes Fressen. Zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme wurden keinerlei Tiere oder Tierspuren entdeckt, was bei dem derzeitigen Nahrungsangebot auf den Flächen nicht sonderlich erstaunlich ist. Anders verhält es sich an der BAB 17 im Raum Dresden, hier sind Eicheln und Haselnüsse händisch mit in eine Gehölzansaat gebracht wurden. 7 Jahre später wurden dort zahlreiche Wühlgänge entdeckt und *Corylus avellana* war auf allen angesäten Flächen nicht aufgelaufen. *Quercus petrea* wurde nur vereinzelt kartiert (vgl. NITSCHKE 2008).

Für die Keimung und für die Keimlinge möglicherweise ungünstige klimatische Bedingungen, die zum Zeitpunkt der Aussaat geherrscht haben, können keine Aussagen getroffen werden, da sich dieser leider nicht mehr rekonstruieren lässt. Da die Aussaat ebenso wie die benachbarten angewachsenen Pflanzungen im Herbst stattgefunden hat, ist die Tatsache, dass direkt nach der Ausbringung ungünstige klimatische Klimabedingungen wie Trockenheit geherrscht haben, eher unwahrscheinlich (BRIEGEL 2012).

Möglicherweise war auch das Saatgut falsch- oder überlagert. Der derzeitige Spontanaufwuchs von Weiden, Pappeln, Birken, Kiefern und Fichten und die benachbarten Gehölzpflanzungen belegen jedoch, dass es sich um einen geeigneten Gehölzstandort handelt, der somit für eine Gehölzsaat eignet gewesen wäre. Dies legt den Schluss nahe, dass es sich bei der Ansaatmischung um eine fehlerhafte Rezeptur mit falschen Komponenten und/ oder Aufwandmengen gehandelt haben muss.

Im Folgenden werden die Rezeptur-Empfehlungen von BLOEMER (2003) für einen Standort wie Langelsheim und die tatsächlich verwendeten Komponenten mit Aufwandmengen verglichen (vgl. Tab. 32).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 32: Vergleich der Rezeptur-Komponenten der Begrünung Langelsheim mit den Empfehlungen von BLOEMER für Gehölzansaaten (eigene Darstellung; vgl. Kap. 4.5, BLOEMER 2003; NLStBV-GS 2004).

Komponenten	Empfehlungen BLOEMER	Begrünung Langelsheim
Gehölzsaatgutmischung	10 - 15 g/ m²	15 g/ m²
Ammengräserzusatz	5 g/ m² (laut ZTV La-StB 05: keine Rasengräser)	8 g/ m²
Kräuterzusatz	-	4 g/ m²
Leguminosensaatgut	5 g/ m²	8 g/ m²
Startdünger N-P-K-Mg 12-12-17-2	0 - 30 g/ m²	50 g/ m²
Organ. Langzeitdünger	350 g/ m²	300 g/ m²
Kleber auf Polybutadienbasis	10 g /m² (Ansaat) + 18 g/ m² (beim Mulchen)	10 g/ m² (Ansaat) + 15 g/m² (beim Mulchen)
Bodenverbesserungsstoffe	150 g/ m² (Zuckerphosphoramid/ Bentonitmehl)	150 g/ m² (Organ. Zuckerphosphoramid) + 150 g/ m² (mineralische Komponente)
Organ. Erosionsschutzfaser auf Holzbasis	35 g/ m²	40 g/ m²
Organ. Feinfasermulch auf Zellulosebasis	120 g/ m²	40 g/ m²
Mulchstoffe (zur Mulchung mit anschließender Verklebung)	mind. 500 g/ m² (Stroh)	300 g/ m² (organ. Mulchfaser auf Strohbasis) + 200 g/ m² (Stroh-Baumwollfaser-Mischung)

Beim dargestellten Vergleich fällt auf, dass in Langelsheim mit 20 g/ m² deutlich mehr Beisaaten verwendet wurden, als von BLOEMER (2003) mit 10 g/ m² empfohlen werden. Über die genaue Artenzusammensetzung der Beisaaten liegen leider keine Unterlagen vor, jedoch sollten keine konkurrenzstarken Gräser und Kräuter verwendet werden, wie sie in Langelsheim möglicherweise als Kräuterzusatz eingesetzt wurden.

Des Weiteren sind in Langelsheim mit 50 g/ m² mehr Startdünger verwendet worden als die vorgeschlagenen max. 30 g/ m² von BLOEMER (2003). Laut DIN 18919 (30 – 50 g/ m²) sind 50 g/ m² noch im Rahmen der Richtwerte. Zu beachten ist jedoch auf weniger bindigen Standorten wie in Langelsheim, dass mineralische Startdünger nur zurückhaltend eingesetzt werden sollten, um eine frühzeitige Ausspülung zu verhindern (BLOEMER 2003).

Die Bemessung des organ. Langzeitdünger entspricht nahezu Bloemers Empfehlungen, jedoch wurden mit 300 g/ m² doppelt so viele Bodenverbesserungsstoffe verwendet wie empfohlen. Zudem empfiehlt BLOEMER (2003) mit 120 g/ m² ebenso wie die DIN 18918 mit 100 - 250 g/ m² anstelle von 40 g/ m² deutlich mehr organ. Feinfasermulch auf Zellulosebasis zu verwenden. Die Mengenangaben-Empfehlung für die Mulchschicht mit 500 g/ m² Stroh deckt sich weitestgehend mit den verwendeten Mulchstoffen in Langelsheim und der DIN 18918 (vgl. ebd.; NLStBV-GS 2004). BLOEMER (2003) empfiehlt den Einsatz von Kleber auf Polybutadienbasis (Kunststoffemulsion), wie in Langelsheim

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

angewendet. Auch in der DIN 18918 sind bei Kunststoffkleber für die Ansaat von Gräsern, Kräutern und Leguminosen vergleichbare Aufwandmengen angegeben. Nachfolgende Untersuchungen von EPPEL (2009) ergaben, dass sich Kleber auf Kunststoffbasis als keimungshemmend erweisen. Lediglich die Kunststoffdispersion „Ultrafloor“ erreichte gute Keimungsraten. Weiterhin sind die guten Keimungserfolge der natürlichen Bodenfestiger auf Basis von Alginaten hervorgehoben worden (EPPEL 2009). Flüssig-Alginate werden in der DIN 18918 ebenfalls als Kleber aufgeführt.

Nach der Gegenüberstellung der Komponenten-Mengenangaben lässt sich der Schluss ziehen, dass die mengenmäßig großzügig bemessene Beisaat, bestehend aus Ammengräsern, Kräutern und Leguminosen, vor allem durch verhältnismäßig viel Startdünger und Bodenverbesserungsstoffe optimale Wachstumsbedingungen kurz nach Ausbringung der Ansaat erfahren haben muss. Somit wurde eine Konkurrenzsituation geschaffen, der die Gehölzkeimlinge nicht gewachsen waren (vgl. Kap. 4.1.2, 4.5, 6.3). Die derzeitige Situation an der Böschung sieht anders aus. Die Gesamtdeckung der Vegetation wurde mit drei bewertet. Momentan ist die Konkurrenzkraft der Gehölze auf diesem Standort höher zu bewerten, was sich anhand des Spontanaufwuchses einiger Gehölze belegen lässt.

Letzten Endes kann die Summierung mehrerer ungünstiger Faktoren zum kompletten Ausfall der Ansaat geführt haben. Die ohnehin gegenüber der Beisaat konkurrenzschwachen Gehölze könnten bereits vor der Keimung gefressen, die Keimlinge angefressen worden sein. Wenn dann noch für geschwächte Keimlinge ungünstige Witterungsbedingungen geherrscht haben, ist ein Begrünungsmisserfolg der Gehölze unausweichlich.

Abiotische Faktoren wie die nach Ausbringung der Ansaat herrschenden Wetterverhältnisse lassen sich nicht bei der Planung berücksichtigen. Was allerdings berücksichtigt werden kann, sind der Ausbringungszeitpunkt und die Standortbedingungen. Auf die Standortbedingungen kann mit einer fachlich richtigen Komponenten-Rezeptur reagiert werden.

Biotische Faktoren wie Standortkonkurrenzen durch Gräser und Gehölze sowie Fraßfeinde lassen sich ebenfalls bis zu einen bestimmten Punkt kontrollieren. Bei Standortkonkurrenzen durch andere Pflanzen kann mit einer geeigneten Beisaatmischung und die Gehölzentwicklung fördernden Komponenten-Rezeptur, wie der Einsatz von mehr Langzeitdünger anstelle von Startdünger, reagiert werden. Nagetiere und Vögel sollten nicht durch ein entsprechendes Nahrungsangebot wie großes Saatgut (Nüsse) auf die Flächen gelockt werden, zumal Buchen und Eichen als Bäume 1. Ordnung aus verkehrssicherungstechnischen Gründen eigentlich nicht an Verkehrswegeböschungen gehören. Das Vegetationsziel an Verkehrswegeböschungen stellen

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

u. a. - wie bereits in Kap. 4.3 festgestellt - keine Waldgesellschaften dar, sondern Gebüsche und Vorwaldgesellschaften.

An der Bundesstraßenböschung bei Langelsheim hat die Gehölzansaat das erwartete Vegetationziel noch nicht einmal ansatzweise erreicht. Hier kann abschließend von einem kompletten Ausfall des Begrünungserfolges oder einem Begrünungsmisserfolg gesprochen werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

6.6 Autobahnkreuz Leipzig Süd BAB 38 / B 2

Die evaluierten Böschungsparzellen (b 1.1 und g 1.1) befinden sich am Bundesautobahnkreuz Leipzig Süd an der B 2 und der BAB 38. Die Böschung der Versuchsfläche g 1.1 ist ost- bis südostexponiert und die Fläche b 1.1 nach Nordosten ausgerichtet (vgl. Abb. 48).

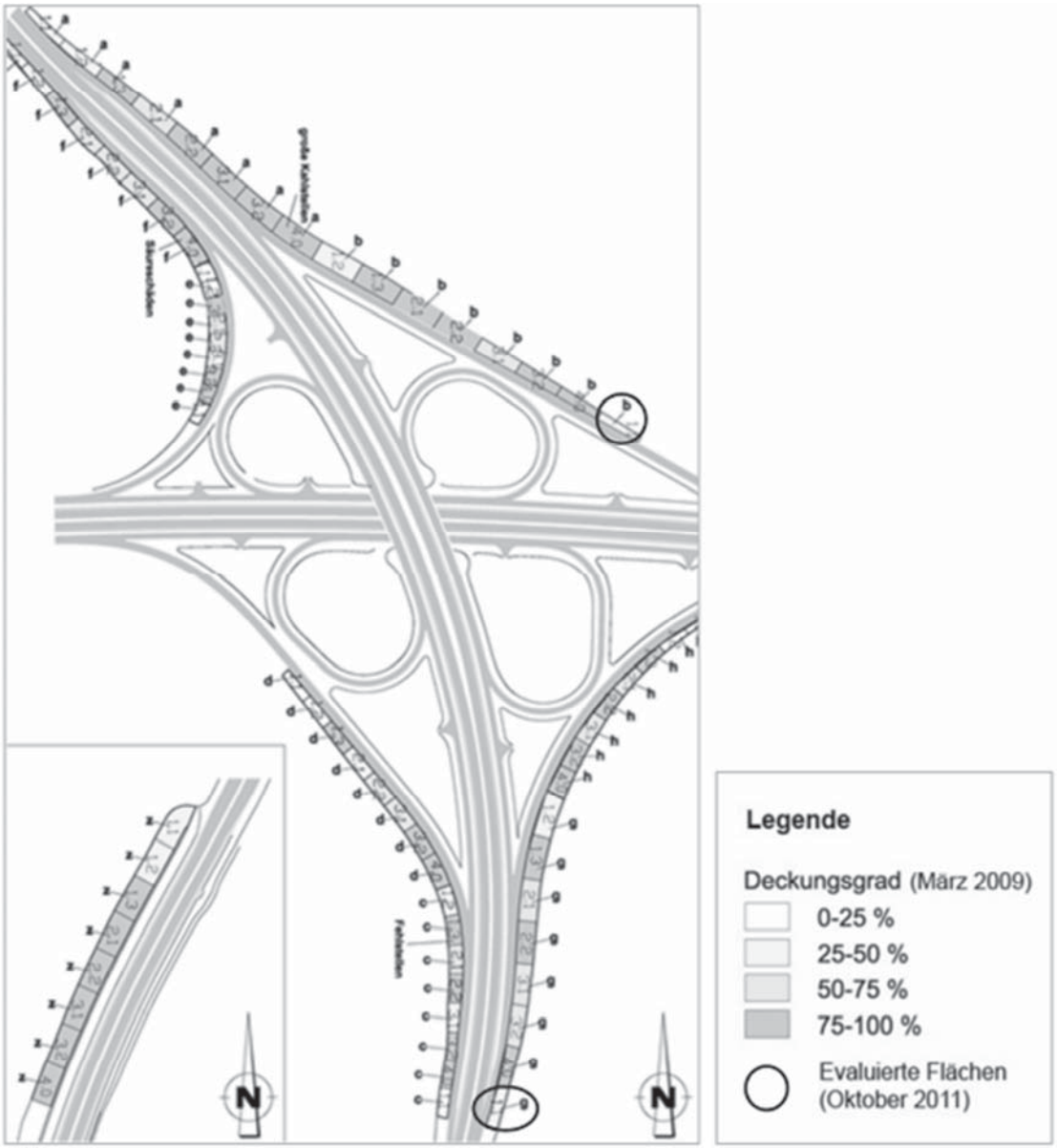


Abb. 48: A 38 Leipzig Süd – Lageplan des Autobahnkreuzes mit den Versuchsfeldern des Autobahnamtes Sachsen (verändert nach JOHANNSEN 2010).

Die aufgeschüttete Autobahntrasse wurde mit tertiären Sanden aus dem Braunkohletagebau aufgebaut. Dabei wurde der Sand stark verdichtet. Die hier vorgestellten, mittels Gehölzansaaten im Jahr 2006 begrünten Flächen sind Teil eines Begrünungsversuches von stark sauren Kippensanden (pH-Wert 2 - 3) des Autobahnamts Sachsen. Als Erosionsschutzschicht der Oberfläche wurde bei den Gehölzansaaten eine 30 cm mächtige

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Vegetationstragschicht aus Kalkschotter eingebaut. Weitere Funktionen dieser Kalkschotterschicht sind, neben der Regulierung des pH-Werts, die Verhinderung weiterer durch Sauerstoff bedingter Versauerungsprozesse der tertiären Schicht. Die Gehölzansaat wurde als Hydroansaat ausgeführt. Als Zwischenbegrünung wurden *Avena sativa, Bromus secalinus, Lolium multiflorum* und *Secale multicaule* verwendet. Pro m² wurden folgende Begrünungshilfsstoffe verwendet: 2,5 l teilkompostierter Rindenhumus (Körnung bis 20 mm, pH-Wert von mind. 5), 150 g Zellulose, 20 g Kunststoffkleber, 100 g Flüssig- oder 4 g Trockenkonzentrat Natrium-Alginat, 30 g NPK-Dünger 12-12-17 (chloridfrei) und 50 g Rizinus-Schrot (JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2006).

Tab. 33: Standort- Steckbrief (eigene Darstellung; vgl. MEYNEN et al. 1961; JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2006).

Topografie	**Expositionen**	**Größe**	**Höhenlage**
Aufgeschüttete Trasse, Dammböschungen	Nord-Ost, (Süd-)Ost	einzelne Parzellen	Höhe 100 m
Geologie	**Boden**	**Relief**	**Alter**
Tertiäres Material	Stark saurer Sand, Deckschicht aus kalkhaltigem Schotter	Neigung 1 : 2 - 1 : 1,5	5 Jahre (2006)
Klima	**Temperatur**	**Niederschläge**	**Wasserhaushalt**
Kontinental	Jahresmittel: 9° C Januar: -0,5° C Juli: 18° C	550 – 600 mm/ Jahr	wechselnde trockene und frischere Bereiche
Extrazonale Zielvegetation	**Zonale Vegetation**	**Aufgabe und Funktion**	**Vegetation und Nutzung im Umfeld**
BTK/ S und BMR: Ligustergebüsch (*Pruno-Ligustretum*) Hartriegelgebüsch *(Rhamno-Cornetum)*		Begrünung und Sicherung einer Straßenböschung durch die Etablierung eines Gebüsches, das nur die Tragschicht durchwurzelt.	Grünland, Straßen und forstwirtschaftliche Nutzwege

Auf der südostexponierten Versuchsfläche herrschen über dem 30 cm mächtigen Kalkschotter Standortbedingungen, welche zunächst bei Aufbringung einer entsprechenden Ansaatmischung die Entwicklung eines „Laubgebüsches trockenwarmer Kalkstandorte“ (BTK) begünstigen würde. Aufgrund der im Untergrund sich stark ändernden Standortbedingungen (pH-Wert und Verdichtung) ist im späteren Verlauf der Sukzession eher die Entwicklung zu einem „Laubgebüsch trockenwarmer Silikatstandorte“ (BTS) mit kalk- und säuretoleranteren Arten zu rechnen. An der nordostexponierten Fläche mit gleichem Bodenaufbau könnte sich ein mesophiles Rosengebüsch (BMR) einstellen. Aufgrund der sich stark ändernden Bodenbedingungen ist auch hier eher mit einer Entwicklung von Gebüschtypen mit Arten einer großen Standortamplitude, wie *Carpinus betulus*, *Cornus sanguinea, Rosa canina, Sorbus aucuparia* und *Prunus spinosa,* zu rechnen.

Ohne entsprechende Ansaat würde sich auf den Böschungen ein sukzessionsnahes Gebüsch (BRS) mit Pionierarten wie *Betula pendula, Populus tremula* und *Salix caprea*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

einstellen. Solche baumwüchsigen Arten und großwüchsigen Sträucher sind aus Gründen der Straßenverkehrssicherheit an diesem künstlichen Böschungsstandort zu vermeiden.

Tab. 34: Kartierung der Versuchsfläche 1.1 g in (Süd-)Ost Exposition (eigene Darstellung).

Leipzig Süd (Aufn. 18.10.2011)	Gesamt-deckung	senile und tote Gehölze	adulte Gehölze	juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	3		+	2	2	+ (6 Ind.)	
Arten der Ansaatmischung							
Cornus sanguinea	1	-	-	1	-	-	-
Frangula alnus	-	-	-	-	-	-	-
Ligustrum vulgare	-	-	-	-	-	-	-
Lonicera xylosteum	1	-	-	1	-	-	-
Rosa canina	1	-	-	1	-	-	-
Rosa rubiginosa	1	-	-	1	-	-	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus racemosa	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum lantana	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum opulus	1	-	-	1	-	-	-
Diasporeneintrag							
Salix caprea	1°		+	1	-	-	-
Pinus sylvestris	r	-	-	r	-	-	-
Picea abies	1	-	-	1	-	-	-
Populus tremula	1	-	-	1	-	-	-
Betula pendula	1^	-	-	1	-	-	-
Ononis spinosa	1*	-	1	-	-	-	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend, ° - Böschungsrand, ^ - Böschungsfuß, * - Berme

Die evaluierte Böschungsfläche g 1.1 ist südöstlich exponiert und hat eine Steigung von 1 : 2,5. Die Böschungshöhe beträgt etwa 6 m und die Flächenbreite ca. 20 m. Die Deckung der gesamten Vegetation liegt unter 50 %. Etwas mehr als die Hälfte der Vegetation machen juvenile Gehölze aus. So sind *Cornus sanguinea, Lonicera xylosteum, Rosa canina, R. rubiginosa* und *Viburnum opulu*s aus der Ansaatmischung reichlich auf der Böschung vertreten. Die weiteren Arten der Ansaatmischung, wie *Frangula alnus, Ligustrum vulgare, Sambucus nigra, S. racemosa* und *Viburnum lantana,* sind ausgefallen (vgl. Tab. 34; Abb. 49).

Durch Diasporeneintrag hat sich auf der gesamten Fläche reichlich Jungwuchs von *Picea abies* und *Populus tremula* ausgebreitet. Auch kommen einige Exemplare von

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Salix caprea am oberen Böschungsrand vor. Als ebenfalls reichlich lässt sich die Verbreitung von *Betula pendula* am Böschungsfuß und *Ononis spinosa* auf der Berme beschreiben (vgl. Tab. 34; Abb. 49).

Um Aussagen über die Böschungsstabilität und Verzahnungen machen zu können, wurden im Rahmen eines Studienprojektes Wurzelausgrabungen durchgeführt.

Abb. 49: Blick auf die Versuchsfläche g 1.1 in südlicher Richtung. Vorne (links) auf der Berme befindet sich ein flächendeckender Bestand von *Ononis spinosa* (eigenes Bild 2011).

Ein ausgegrabener *Cornus sanguinea* wächst ca. 1,80 m vom Böschungsfuß entfernt. Er hat eine Wuchshöhe von 50 cm und seine Wurzeln weisen ein Tiefenstreben von ca. 30 cm auf. Dies entspricht der Stärke der aufgebrachten Kalkschotterschicht. In das tertiäre verdichtete Material dringen die Wurzeln nicht vor. Der Ausbreitungsradius der Wurzeln beträgt max. 190 cm und lässt sich grob in zwei Teile gliedern. Direkt unter der Pflanze befindet sich ein sehr dichtes Geflecht mit vielen Feinwurzeln, im weiteren Umfang der Pflanze erstrecken sich oberflächenah Ausläufer, wobei sich hauptsächlich eine ca. 1,5 cm starke Wurzel hervorheben lässt. Eine deutliche Verzahnung der Hauptausläuferwurzel mit den Wurzeln einer benachbarten *Rosa canina* ist zu erkennen. Der hier gemessene pH-Wert liegt bei 8,2. Die ausgegrabene *Rosa canina* steht etwa 30 cm oberhalb des *Cornus sanguinea* und ca. 2 m entfernt vom Böschungsfuß. Sie ist 90 cm hoch und die Wurzeltiefe beträgt ebenfalls 30 cm. In der Breite erstreckt sich die Wurzel über 190 cm. Das Wurzelsystem der *Rosa canina* ist hauptsächlich durch vier längere Ausläufer mit einer Stärke von jeweils ca. 1 cm geprägt. Diese sind spärlich mit Fein-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

wurzeln besetzt und weisen, wie bereits beschrieben, eine deutliche Verzahnung mit den Wurzeln des *Cornus sanguinea* auf (vgl. Abb. 50, 52).

Die Rosenausläufer verlaufen dabei in tieferen Schichten der Hartriegelausläufer und fungieren so als die Böschung sichernde Zugwurzeln (vgl. ebd.). *Rosa canina* und *Cornus sanguinea* sind eine auf der Untersuchungsfläche häufig vorkommende Gehölzkombination (vgl. Abb. 52). Beide Arten sind vor allem in Schlehengesellschaften wie in wärmeliebenden und auch mesophilen Gebüschen stark (BT, BMR) verbreitet.

Auffällig bei den Abb. 52 ist, dass die ebenfalls im Jahr 2006 ausgesäte *Rosa canina* in der Wachstumsentwicklung deutlich weiter ist als der *Cornus sanguinea.* Nach WEBER (2003) übernehmen die bewehrten Sträucher wie die Rosen eine Schutzfunktion vor Fraßschäden von Wildtieren gegenüber unbewehrten Gehölzen. In diesem Fall wächst also der Hartriegel im Schutz der größeren Rose auf. Bei näherer Betrachtung des Wurzelwachstums in Relation zur Gehölzgröße fällt auf, dass sich die Wurzeln des *Cornus sanguinea* eher flachgründig ausgebreitet haben und im Laufe der fortschreitenden Sukzession mit der Ausläuferbildung beginnen werden (vgl. Abb. 50, 51). Die Rosenwurzeln streben bis zur sauren verdichteten Sandschicht in die Tiefe und bilden im unteren Bereich der Deckschicht flächige Ausläufer. In Oberflächennähe im oberen Bereich der Deckschicht über den Rosenwurzelausläufern haben sich Ausläufer von *Cornus sanguinea* etabliert. So wird ein großflächiger Bereich in allen Ebenen der Deckschicht erschlossen und gefestigt. Das oberflächennah ausgebildete Feinwurzelfilz von *Cornus sanguinea* bietet zudem noch eine gute Sicherung gegen Oberflächenerosion (vgl. Abb. 50).

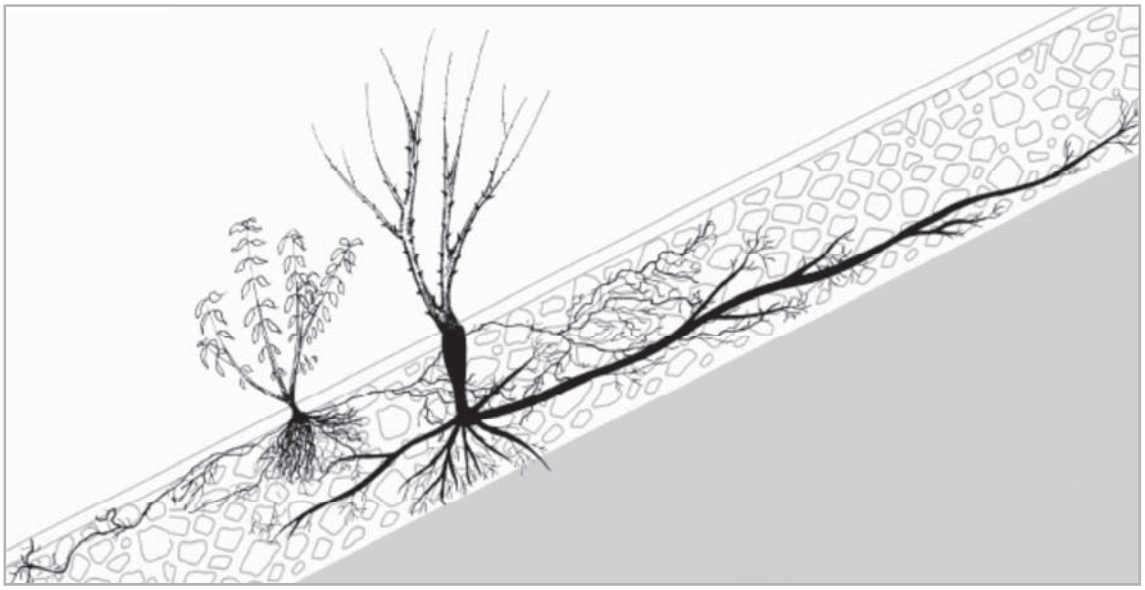


Abb. 50: Wurzelverzahnung von *Cornus sanguinea* und *Rosa canina* an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung verändert nach SEILER 2012).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

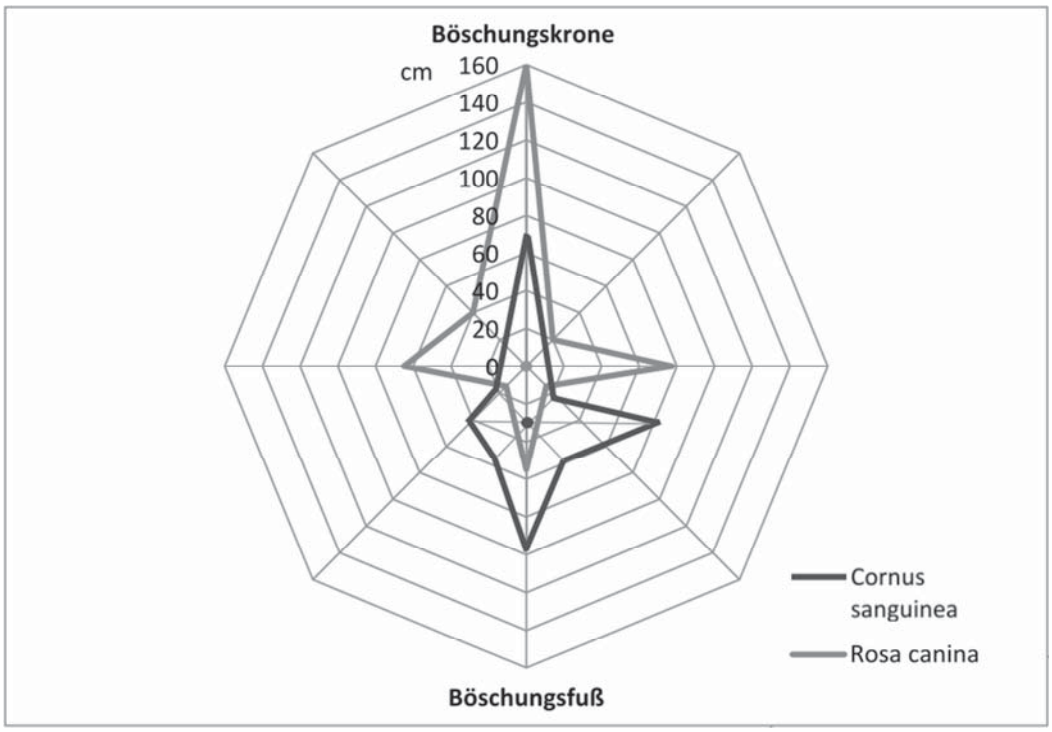


Abb. 51: Netzdiagramm der Wurzelverzahnung von *Cornus sanguinea* und *Rosa canina* in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht in Südostexposition (Zeichnung verändert nach SEILER 2012).

Abb. 52: Oberirdische Ansichten von zwei ähnlichen *Cornus sanguinea*-*Rosa canina*-Verzahnungen an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (eigene Bilder 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Im oberen Bereich der Böschung befindet sich ein *Viburnum opulus,* der von der Projektgruppe ausgegraben und untersucht wurde. Er steht ca. 4,40 m über dem Böschungsfuß. Seine Wuchshöhe beträgt 30 cm. Es handelt sich hierbei um ein sehr juveniles Exemplar. Die Wurzeln erstrecken sich in eine Tiefe von bis zu 30 cm und haben eine Ausbreitung von 20 cm. Der Wurzelballen verfügt über einen hohen Besatz an Feinwurzeln (vgl. Abb. 53). Wie von KUTSCHERA & LICHTENEGGER (2002) bereits beschrieben, wurzelt er auf wärmeren, etwas oberbodentrockenen Böden, wie auf diesem Standort, mitteltief. Die Sämling-Polwurzel ist typischerweise in etwa 5 cm Tiefe zur Seite umgebogen, was seine ursprüngliche Neigung zum flachen Ausbreiten der Wurzeln noch erahnen lässt (vgl. Abb. 54; KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Eine großflächige Verzahnung der Wurzeln mit dem umliegenden Erdreich ist aufgrund der noch nicht ausgebildeten Kriechtriebe bislang noch nicht vorhanden (vgl. ebd.).

Ein ebenfalls zur Untersuchung ausgegrabener *Lonicera xylosteum* befindet sich 2,80 m über dem Böschungsfuß. Er hat einen Höhenwuchs von ca. 85 cm. Das Wurzelsystem ist im Wesentlichen durch drei längere Hauptwurzeln geprägt, die einen Tiefenwuchs von ca. 30 cm aufweisen und biotechnisch als Zugwurzeln wirken. Auffällig ist hierbei, dass die Wurzeln ausschließlich den Hang hinauf wachsen und nicht hinab. Die Polwurzel verläuft aufgrund der am Böschungsfuß stattfindenden Eisenausfällung hangaufwärts oberhalb der verdichteten sauren Sandschicht zu weniger sauren Wasserreserven (vgl. KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). An der breitesten Stelle beträgt der Wurzeldurchmesser ca. 260 cm und sichert so einen nicht ganz unerheblichen Teilbereich der Böschung vor Erosion. Dies geschieht vor allem durch das Umschließen vieler Steine mittels seiner stark ausgebildeten Wurzeln, was maßgeblich zu einer guten Bodenverzahnung beiträgt (vgl. Abb. 55, 56).

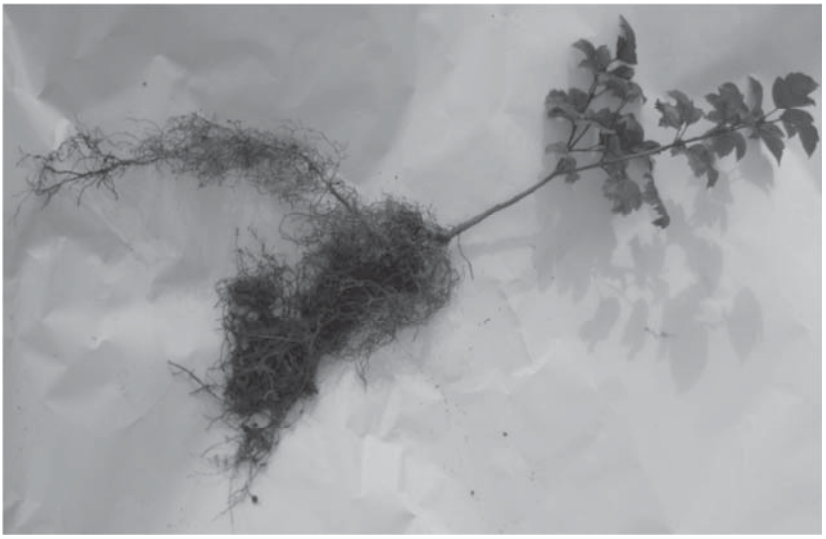


Abb. 53: Ein ausgegrabener *Viburnum opulus* mit seitwärts umgebogener Polwurzel an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (eigenes Bild 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

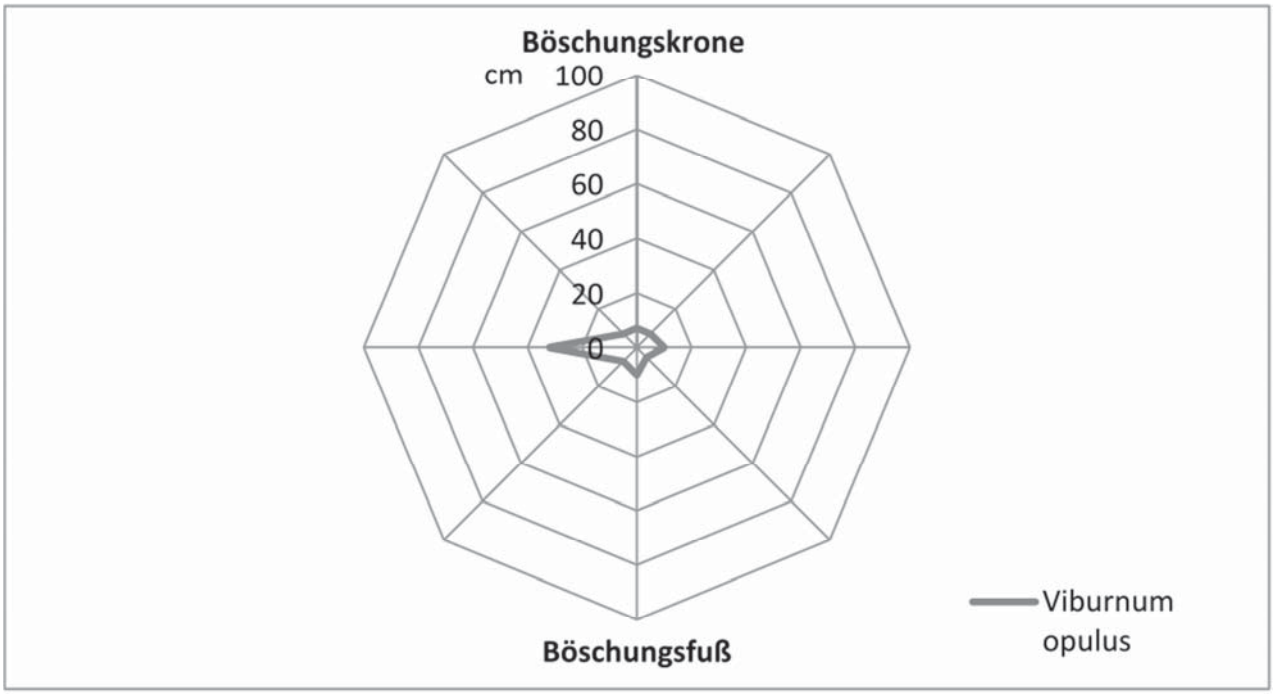


Abb. 54: Wurzelnetzdiagramm des in Abb. 53 dargestellten *Viburnum opulus* in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht in Südostexposition (Zeichnung SEILER 2012).

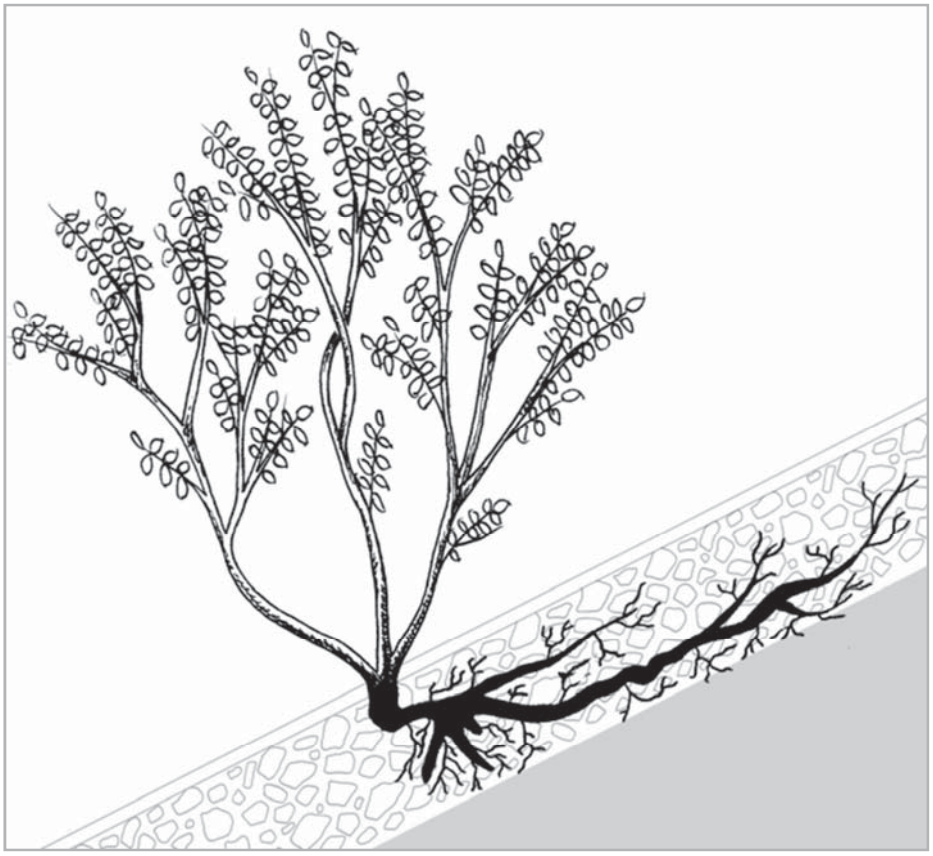


Abb. 55: *Lonicera xylosteum* an einer südostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

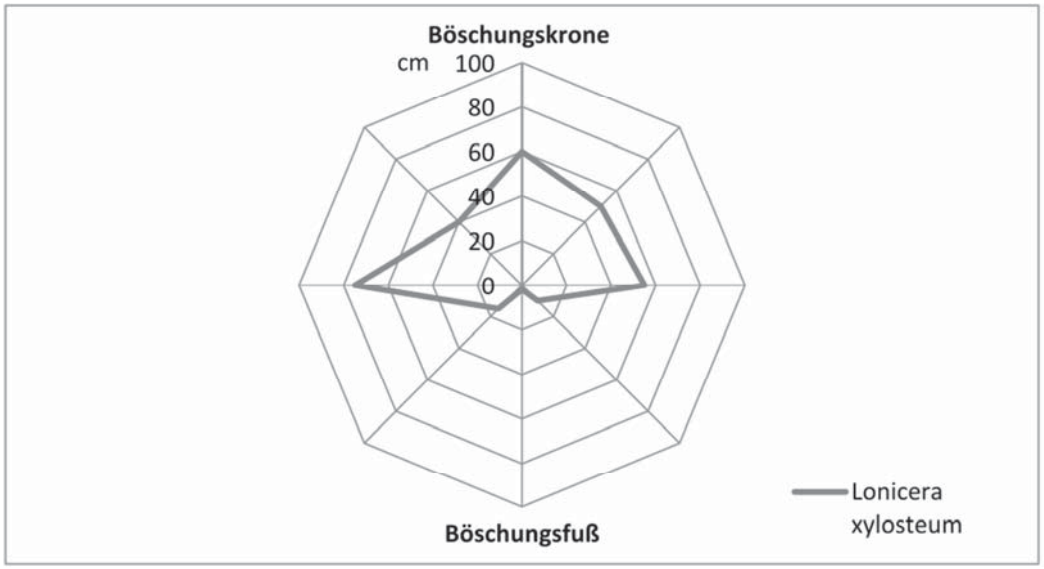


Abb. 56: Wurzelnetzdiagramm der in Abb. 55 dargestellten *Lonicera xylosteum* in einer 30 cm mächtigen Kalkschotter-Deckschicht in Südostexposition (Zeichnung SEILER 2012).

Tab. 35: Kartierung der Versuchsfläche 1.1 b in Nord-Ost Exposition (eigene Darstellung).

Leipzig Süd (Aufnahme vom 18.10.2011)	Gesamt-deckung	senile und tote Ge-hölze	adulte Gehölze	juvenile Gehölze	Kraut-schicht < 80 cm	Strauch-schicht < 200 cm	Baum-schicht > 200 cm
Vegetation	4	-	4	+	4	-	-
Arten der Ansaatmi-schung							
Cornus sanguinea	-	-	-	-	-	-	-
Frangula alnus	-	-	-	-	-	-	-
Ligustrum vulgare	-	-	-	-	-	-	-
Lonicera xylosteum	r	-	-	r	-	-	-
Rosa canina	+	-	-	+	-	-	-
Rosa rubiginosa	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus nigra	-	-	-	-	-	-	-
Sambucus racemosa	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum lantana	-	-	-	-	-	-	-
Viburnum opulus	-	-	-	-	-	-	-
Diasporeneintrag							
Ononis spinosa	4	-	4	-	-	-	-

Legende: r - 1 Individuum oder Trieb (max. 3), + - spärlich (3 - 5 Individuen), 1 - reichlich (6 - 50 Individuen), 2 - sehr zahlreich (< 25 %), 3 - 25 % - 50 % deckend, 4 - 50 % - 75 % deckend, 5 - > 75 % deckend

Die evaluierte Untersuchungsfläche g 1.1 Nord-Ost exponiert befindet sich unmittelbar an einer Auffahrt zu Beginn der Autobahntrasse. Aus diesem Grund ist die Fläche in ihrer Form keilförmig und misst an ihrer breitesten Stelle ca. drei m. Die Steigung der Böschung ist von daher weitaus flacher als die der Versuchsfläche g 1.1 (vgl. Abb. 57).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Die Vegetation hat hier eine Gesamtdeckung von deutlich über 50 %. Die Krautschicht wird flächendeckend von *Ononis spinosa* mit einer Deckung von 50 - 75 % dominiert (vgl. Tab. 35; Abb. 59). Die Halbstrauchart war nicht in der Gehölzansaatmischung enthalten, jedoch in der Ansaatmischung, die zum Begrünen des Hangfußes verwendet wurde. Es ist davon auszugehen, dass das Saatgut bei der Anlage des Hangfußes auf die Versuchsfläche gelangt ist oder dass sich der Halbstrauch selbstständig durch Diasporeneintrag auf der Fläche ausgebreitet hat. Aus der ursprünglichen Ansaatmischung ist lediglich ein spärliches Vorkommen von *Rosa canina* und ein juveniler *Lonicera xylosteum* zu verzeichnen, welche an einzelnen Stellen die dichte *Ononis spinosa*-Schicht durchdringen. Aufgrund des starken Aufkommens von *Ononis spinosa* kann auf dieser Versuchsfläche nicht von einem Ausfall der Ansaatmischung gesprochen werden, denn es ist sehr wahrscheinlich, dass das Aufkommen der angesäten Gehölze durch die starke Konkurrenz von *Ononis spinosa* unterdrückt wurde.

Bei den durchgeführten Wurzelausgrabungen fiel auf, dass die Auflage von tertiärem Material an der Auffahrt zur Trasse nicht so mächtig ist wie an anderen Stellen des Damms. Besonders im östlichen Teil der Untersuchungsfläche, der den Anfang der Böschung darstellt, war der Anteil von humosem Oberboden in der Kalkschotterschicht relativ hoch.

Abb. 57: Blick in südöstlicher Richtung auf die Versuchsfläche b 1.1, welche von einem flächendeckenden Bestand von *Ononis spinosa* dominiert wird (eigenes Bild 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 58: Blick in nordwestlicher Richtung auf Studierende in der Versuchsfläche b 1.1. Vorne links befindet sich die untersuchte *Rosa canina* (eigenes Bild 2011).

An dieser Böschung fanden Wurzelausgrabungen einer *Rosa canina* und des *Lonicera xylosteum* statt. Die ausgegrabene *Rosa canina* befindet sich ca. 1,5 m vom Hangfuß entfernt. Die Wuchshöhe beträgt über 1 m (vgl. Abb. 58). Die Wurzeln umfassen einen Durchmesser von bis zu 130 cm und erreichen eine Tiefe von 70 cm. In Folge dieses Tiefenstrebens wurzelt die *Rosa canina* bis in das tertiäre Material. Die Wurzeln der Pflanze sind weitreichend und fest mit dem umgebenen Erdreich verzahnt und stellen eine gute Verzahnung zwischen den beiden unterschiedlichen Bodenschichten dar (vgl. Abb. 59, 60). Es besteht zudem Kontakt zu Wurzelsystemen anderer Pflanzen wie *Ononis spinosa* (vgl. SEILER et al. 2012). Die in Oberflächennähe dichte Bewurzelung und die tiefgreifenden Pfahlwurzeln des kalkliebenden *Ononis spinosa*-Bestands behindern offenbar die Ausbreitung von Rosenausläufern und drängen die Rose dadurch dazu, noch tiefere Schichten zu erschließen. Eine Verzahnung der *Ononis spinosa*-Pfahlwurzeln mit den Wurzeln der *Rosa canina* ist nicht festzustellen.

Der im Wurzelbereich gemessene pH-Wert des Bodens liegt bei 7,76. Eine pH-Wert-Messung des durchwurzelten tertiären Materials liegt nicht vor. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass die ursprüngliche Tragschicht, abweichend von der Tragschicht der Fläche g 1.1, nahezu aus Kalkmergel und nicht aus Schotter bestand.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Abb. 59: *Rosa canina* an einer nordostexponierten Böschung in einer 30 cm mächtigen Kalkmergel-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012).

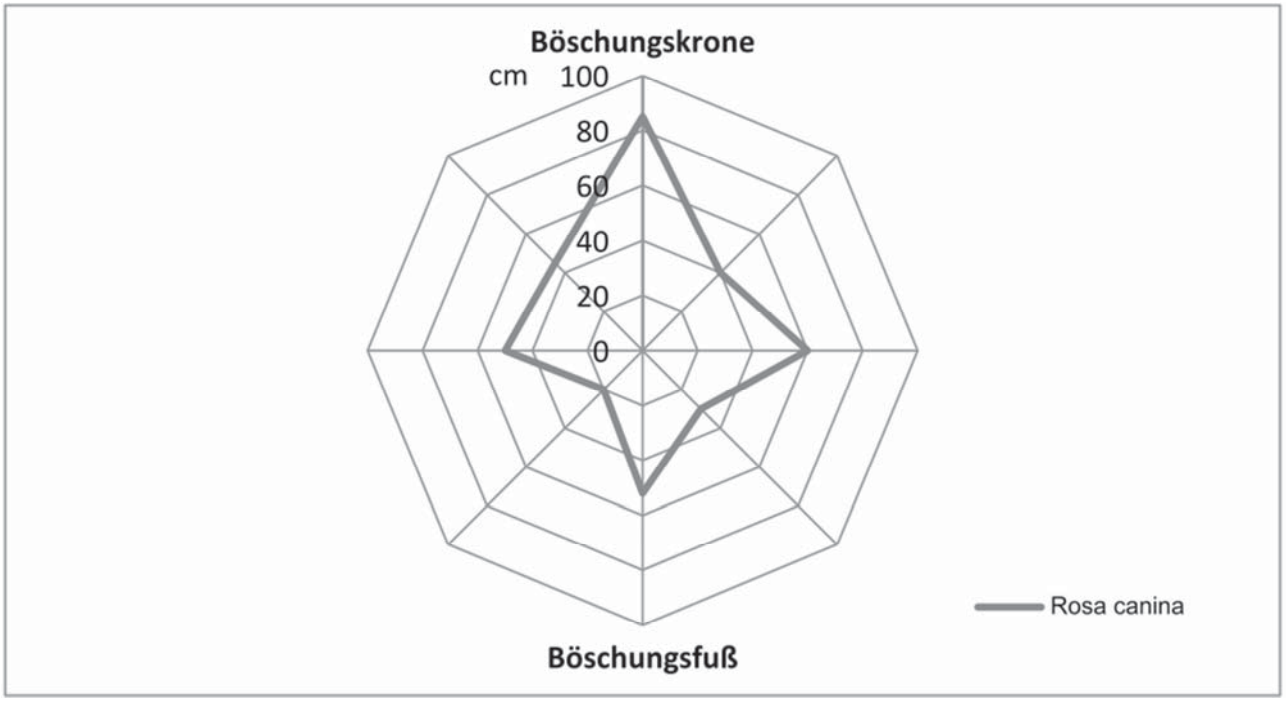


Abb. 60: Wurzelnetzdiagramm der in Abb. 59 dargestellten *Rosa canina* in einer 30 cm mächtigen Kalkmergel-Deckschicht in Nordostexposition (Zeichnung verändert nach SEILER 2012).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Das ausgegrabene und im Folgendem untersuchte *Lonicera xylosteum* ist das einzige Exemplar dieser Art auf der gesamten Untersuchungsfläche. Es findet sich ca. 1 m oberhalb des Hangfußes und erreicht eine Wuchshöhe von 25 cm. Die Polwurzel erreicht eine Tiefe von 25 cm und umfasst mit den Seitenwurzeln einen Radius von ca. 15 cm. Hier bestand eine leichte Wurzelverzahnung mit anderen Pflanzen wie dem *Ononis spinosa* und eine feste Verzahnung mit dem umgebenen Erdreich (vgl. Abb. 61).

Beide evaluierten Böschungsflächen machen - obwohl auf einer (b 1.1) das ursprüngliche Vegetationsziel nicht erreicht worden ist bzw. erreicht wird - einen stabilen Eindruck. Von oberflächlichen Erosionsspuren ist auf beiden Flächen nichts zu erkennen.

Auf Grundlage der Wurzelausgrabungen lässt sich belegen, dass auf beiden Böschungsflächen eine stabile Verzahnung zwischen den Sträuchern und dem Boden stattgefunden hat. Zudem findet auf Fläche g 1.1 eine feste Verzahnung zwischen *Rosa canina* und *Cornus sanguinea* statt. Hier kann von einer Koexistenz oder sogar einer Symbiose zwischen den Sträuchern ausgegangen werden. Welche Art von Wechselbeziehung zwischen diesen beiden Gehölzen besteht, ist bislang nicht untersucht worden. Hier besteht noch Forschungsbedarf.

Abb. 61: *Lonicera xylosteum*-Jungpflanze mit Polwurzelbildung an einer nordostexponierten Dammböschung in einer 30 cm mächtigen Kalkmergel-Deckschicht über tertiärem verdichteten Sand (Zeichnung SEILER 2012).

Die Böschungsstabilität wird hier durch die Entwicklung eines aufgrund der verschiedenen Bodenschichten nicht ganz klar einzuordnenden, wärmeliebenden Gebüsches mit den bereits in Kap. 4.6.1 beschriebenen verschiedenen Wurzelstrategien der jeweiligen Arten gewährleistet. Eine Verzahnung der Wurzeln außerhalb der Kalkschottertragschicht in tiefere Schichten findet, wie erwartet, nicht statt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Auf der Fläche b 1.1 dagegen findet unerwarteterweise durch die Wurzeln der *Rosa canina* eine Verzahnung zwischen den unterschiedlichen Bodenschichten statt. Somit wird der Scherwiderstand zwischen den Schichten erhöht, was eine tiefgründige Sicherung vor Rutschungen bedeutet. Den oberflächlichen Schutz der Kalkmergelschicht vor Erosion übernimmt in diesem Fall der flächendeckende *Ononis spinosa*-Bestand.

Trotz der stark unterschiedlichen Substratschichten im Böschungsaufbau ist trotz des jungen Ansaatalters auf den Böschungen eine Gehölzentwicklung zu erkennen, die einen Begrünungserfolg verspricht. Es wird sich als Zielvegetation hierbei zwar hauptsächlich um ein nur spärlich entwickeltes Gebüsch im sukzessiven Anfangs- bis Hauptstadium handeln, da die meisten Gehölze nur die 30 cm dicke Vegetationstragschicht durchwurzeln werden, was allerdings nicht gegen die Erreichbarkeit des Begrünungserfolges vor allem hinsichtlich des Pflegeaspekts spricht.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

7 Gesamtauswertung

Im Rahmen der Gesamtauswertung erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse aller untersuchten Böschungsflächen und weiterer Begrünungsergebnisse fremd evaluierter Böschungen. Es handelt sich hierbei um insgesamt 38 Böschungsflächen in ganz Deutschland. Die Ergebnisse von 15 Böschungsflächen aus sechs verschiedenen Gebieten stammen aus den eigenen Evaluationen in Kap. 6. Die restlichen 23 mit in die Gesamtauswertung einbezogenen Böschungsevaluationen aus 14 verschiedenen Gebieten stammen aus zuvor recherchierter Fachliteratur (vgl. Kap. 3; Abb. 62). Eine Übersicht über die 38 Böschungsflächen befindet sich in Tab. 45 im Anhang dieser Arbeit.

Abb. 62: Lage der deutschlandweit untersuchten Ansaatflächen (weiß - selbstevaluiert; schwarz - Fremdaufnahmen) in den sechs Gehölzherkunftsregionen (verändert nach BFN 2012 - Arbeitsgruppe „Gebietseigene Gehölze“ - in BMU 2012).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Verglichen werden die Ergebnisse zum Erhalt der Böschungssicherheit und zur Erreichung der Zielvegetation oder zumindest das Entwicklungspotenzial zur Erreichbarkeit der Zielvegetation. Im Umkehrschluss kann, aus der sich im Zuge der Gesamtauswertung ergebenen zielvegetationsbezogenen Standortanalyse, schließlich die Eignung eines Böschungsstandortes für die Ausführung von Gehölzansaaten bestimmt und ein standortbezogenes Verwendungsspektrum (Ökogramm) entwickelt werden.

7.1 Erhalt der Böschungssicherheit

Auf den meisten in dieser Arbeit ausgewerteten Verkehrswegeböschungen wurden keinerlei Erosionsspuren oder Böschungsschäden festgestellt. Das liegt größtenteils daran, dass die Böschungen vor der Hydroansaat in einen stabilen Zustand gebracht wurden. Dies kann durch die Einstellung der natürlichen Böschungsneigung oder zusätzliche, die Scherkraft erhöhende Maßnahmen geschehen (vgl. Kap. 4.6.2).

Wenn es im Verkehrswegebau aus Gründen der Standortsicherung nicht möglich ist, eine Böschung mit natürlicher Neigung herzustellen, kann durch die Einbringung zusätzlicher Scherwiderstände der Reibungswinkel und somit die Böschungsstabilität erhöht werden. Natürlicherweise führt eine gute und vielseitige Durchwurzelung des Bodens zu einer zusätzlichen Vergrößerung der Scherfestigkeit, insbesondere zwischen verschiedenen Bodenschichten. Da aber von Beginn an die Standsicherheit einer Böschung gewährleistet werden muss, in der die Wurzeln der Gehölze sich erst entwickeln, können zusätzliche ingenieurbiologische Sicherungen wie der Hecken-, Busch- und Buschheckenlagenbau eingesetzt werden. Die eingebrachten bewurzelten und unbewurzelten kleinen Sträucher und Äste bewirken eine vorübergehende Verzahnung verschiedener Bodenschichten und erreichen so eine Erhöhung der Scherwiderstände (vgl. SCHAARSCHMIDT 1974; FGSV 1983; FLL 1998; DACHROTH 2002; HACKER et al. 2010). Eine einfache Berechnung der Böschungsstabilitätserhöhung durch den Einbau von Hecken-, Busch- und Buschheckenlagen ist mithilfe des in Kap. 4.6.2 erläuterten Teilsicherheitskonzeptes nach SCHUPPENER (1994, 2001) möglich.

Die Annahme, dass die Zielvegetation - welche der natürlichen Gebüschvegetation dieser Standorte möglichst entsprechen sollte -, der höchst möglichen erreichbaren ingenieurbiologischen Sicherungsfunktion entspricht und somit die Böschungssicherheit in Hanglage gewährleistet, wird nach Analyse der selbst durchgeführten Böschungsevaluationen in Kap. 6 nicht widersprochen bzw. wird diese bestätigt.

Lediglich am Aichelbergaufstieg kam es im April 1993 aufgrund fehlender und zu gering bemessener Entwässerungsdrainagen zu Böschungsrutschungen (BRÜCKNER 2010; GLAßER k. A.). Nach Wiederherstellung der Böschungsstabilität und Erhöhung der Entwässerungsleistung haben keinerlei größere Bodenbewegungen stattgefunden (BRÜCKNER 2010). Generell ist die Bestandsentwicklung beider Böschungsseiten am Aichel-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

bergaufstieg als ein langfristiger Begrünungserfolg in Hinblick auf Böschungssicherheit in Verknüpfung mit naturschutzfachlichen Aspekten anzusehen. So kommt beispielsweise auf beiden Seiten der Böschung die tiefwurzelnde *Fraxinus excelsior* (Wurzelstrategie 2; vgl. Kap. 4.6.1), die flachwurzelnde *Prunus avium* (Strategie 1) und der ausläuferbildende und mitteltief wurzelnde *Cornus sanguinea* (Strategien 1 und 3) vor. Mit *Rosa spinosissima, R. canina* und *Prunus spinosa* sind auf der südwestlich exponierten Böschungsfläche tiefwurzelnde Arten mit gleichzeitig flachgründigen Ausläufern vertreten. Auf der nordostexponierten Seite übernehmen die *Acer campestre* und *A. platanoides* die tiefwurzelnde Ausprägung der Strategie 2 und *Sorbus aucuparia* als flachwurzelndes Gehölz die Strategie 1. *Liguster vulgare* verfolgt die Wurzelstrategien 1 und 3. Am Aichelbergaufstieg haben sich durch das Vorkommen vieler Arten mit verschiedenen Wurzelstrategien langfristige, sichere und stabile Vegetationsbestände entwickelt (vgl. Kap. 6.1).

Über die evaluierten Böschungsflächen in Pforzheim kann aufgrund der sich noch in der sukzessiven Anfangsphase befindlichen Vegetationsbestände bezüglich der tatsächlichen Böschungssicherheit noch kein abschließendes Urteil abgegeben werden, jedoch kommen vor allem auf der südwestexponierten Böschungsseite Gehölze der 3 in Kap. 4.6.1 beschriebenen verschiedenen Wurzelstrategien vor. Mit *Acer platanoides, Fraxinus excelsior* und *Sorbus torminalis* sind hier tiefwurzelnde Gehölze der Wurzelstrategie 2, mit *Cornus sanguinea* ein Gehölz der Strategien 1 und 3, mit *Prunus mahaleb* ein Gehölz der Strategie 3 und mit den Rosenarten die Strategien 1 und 2 zu finden. Sollten sich diese Arten auf dem Böschungsstandort etablieren, wird auch hier eine langfristige Böschungssicherheit erreicht (vgl. Kap. 6.2).

An den Böschungsflächen am Bernser Landwehr haben sich, trotz fachlicher Mängel bei der Gehölzauswahl, der Anzahl an Gehölzarten sowie der Beisaat (Landschaftsrasen), Gehölzsämlinge, die einen vielversprechenden Begrünungserfolg mit sicherer Wurzelverzahnung andeuten, entwickelt. Auch hier kann aufgrund der sich noch in der sukzessiven Anfangsphase befindlichen Vegetationsbestände bezüglich der Böschungsstabilität durch Verwurzelung noch kein abschließendes Fazit gegeben werden. Sollten sich die hier aufgenommen Gehölze langfristig etablieren, ist auch hier aufgrund der vielseitigen Wurzelstrategien von vor allem *Acer* sp. (2 bzw. 3), *Rosa canina* (1 und 2) und *Cornus sanguinea* (1 und 3) mit einer nachhaltigen Böschungsbefestigung zu rechnen (vgl. Kap. 6.3).

An den beiden Kalksteinböschungen im Vorfeld der Heidkopf-Tunneleinfahrt kann aufgrund der sich bereits entwickelten Gehölze von der Erreichbarkeit einer langfristigen Böschungssicherheit ausgegangen werden, obwohl sich auch hier die Vegetationsbestände noch in der sukzessiven Anfangsphase befinden. Mit tiefwurzelnden Arten wie beispielsweise *Fraxinus excelsior,* tiefwurzelnden und ausläuferbildenden Arten wie *Rosa* sp. und mäßig tiefwurzelnden und ausläuferbildenden Arten wie *Cornus sanguinea*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

sowie flachwurzelnden und ausläuferbildenden Arten wie *Clematis vitalba* kann mit einer guten, in allen Schichten durchgängigen Verzahnung mittels der vielfältigen Wurzelstrategien gerechnet werden (vgl. Kap. 6.4).

Unter den 15 selbst evaluierten Böschungsflächen gab es eine Böschung am Harzrand (Langelsheim), auf der - mit einem kompletten Ansaatausfall - ein Begrünungsmisserfolg durch die Begrünungsmethode der Gehölzansaat erreicht wurde. Ein Aufkommen von Gehölzen ist aber dennoch zeitverzögert durch Diasporeneintrag auf der Böschung zu erwarten (vgl. Kap. 6.5). Trotz des Nichtaufkommens der gesäten Gehölze ist auch hier die Böschungssicherheit gewährleistet.

Auf den Böschungsflächen des Autobahnkreuzes Leipzig Süd lässt sich trotz der sich stark voneinander unterscheidenden Substratschichten im Böschungsaufbau und des jungen Ansaatalters auf den Böschungen eine Gehölzentwicklung erkennen, die eine nachhaltige Sicherungsfunktion durch die Wurzelverzahnung verspricht. Da sich die artspezifischen Wurzelentwicklungen an anthropogen veränderten Böden ähnlich wie an natürlich gewachsenen Böden verhalten (vgl. Kap. 4.6), können die Ergebnisse auch auf Einschnittsböschungen übertragen werden. Oberirdisch wird sich über der nur 30 cm mächtigen Vegetationstragschicht zwar ein nur spärliches Gebüsch entwickeln, jedoch ist bereits jetzt eine großflächige - vereinzelt bei *Rosa canina* sogar bis in die untere Schicht vorkommende - Durchwurzelung durch Ausgrabungen nachgewiesen worden. Auch hier werden mit den vorkommenden Arten wie *Rosa* sp. (1 und 2), *Cornus sanguinea* (1 und 3), *Lonicera xylosteum* (1 und 3) und *Viburnum opulus* (3) alle 3 Strategien abgedeckt (vgl. Kap. 6.6).

Um zu überprüfen, ob die ingenieurbiologische Sicherungsfunktion im durchwurzelten Boden auch an den zum Zeitpunkt der Evaluation sehr jungen, mittels Gehölzansaaten begrünten Verkehrswegeböschungen langfristig erfüllt wird, sollte nach etwa 5-jähriger Sukzessionszeit eine erneute Flächenaufnahme durchgeführt werden. In dem Fall, dass sich die dort aufgenommenen Sämlinge und Jungpflanzen an den jeweiligen selbst evaluierten Böschungsstandorten etablieren, stellt die Gehölzansaat aus sicherungstechnischer und ökologischer Sicht eine gute Kombinationsmöglichkeit dar (vgl. Kap. 5).

Da die meisten mit in die Gesamtauswertung aufgenommenen fremden Böschungsevaluationen nur hinsichtlich der Vegetationsentwicklung, nicht der Wurzel-verzahnung und Böschungssicherheit untersucht worden sind, kann auf diesen Flächen nur anhand der kartierten Vegetationsbestände Rückschluss über die Böschungssicherheit gezogen werden.

Ob sich nun auch auf allen untersuchten Böschungen die die Böschungssicherheit gewährleistende Zielvegetation - also in der Haupt- oder Endphase der Sukzession eine für den jeweiligen Standort typische naturnahe Gebüschgesellschaft - einstellt oder eingestellt hat, wird nun im folgenden Kapitel näher erläutert.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

7.2 Erreichbarkeit der biotoptypengerechten Zielvegetation

In diesem Kapitel erfolgt die Überprüfung, ob alle in dieser Dissertation ausgewerteten mittels Gehölzsaaten begrünten oberbodenlosen Böschungen ein in Kap. 4.3. definiertes biotoptypgerechtes Gebüsch als Vegetationsziel erreicht haben bzw. erreichen können.

In diesem Zusammenhang gilt es, die Annahme aus Kap. 4.3, ob den Zielbiotoptypen ein bis mehrere Gebüschgesellschaften zugeordnet werden können, zu kontrollieren.

Anhand der selbstevaluierten Böschungsflächen und recherchierter fremdevaluierter Gehölzansaatflächen (vgl. Abb. 62) soll mittels der Ergebnisse analysiert werden, welche Standortbedingungen als maßgebliche Faktoren zur Entwicklung der Zielvegetation beitragen. Bei der Vegetationsentwicklung auf Böschungen ist die bisherige Hypothese, die sich z. T. in der Biotoptypenzuordnung widerspiegelt, dass zu den maßgeblichen die Gebüsche prägen Standortfaktoren pH-Wert, Bindigkeit (Wasserspeicherkapazität, Nährstoffhaushalt) und die Exposition von Böschungen gehören (vgl. Kap. 4.3).

Die im Folgenden ausgewerteten Böschungen werden in die jeweiligen Untersuchungsregion nach ökologischen Herkunftsregionen (Süden: Herkunftsregion 5, Osten: Herkunftsregion 2 und Mitte: Herkunftsregionen 1 und 2) untergliedert und die jeweils an den evaluierten Böschungsstandorten aufgenommenen Vegetationsbestände den Biotoptypen nach bodensauren (BS) und schwach sauren bis alkalischen Standorten (BT/ BM) zugeordnet (vgl. Abb. 62). Das Zusammenspiel von Neigung und Exposition sowie Bodenfeuchte auf die Vegetationsentwicklung der Böschungen wird im Zuge der regionalen Zuordnung nach BS und BT/ BM näher untersucht. Alle wichtigen Daten dieser in die Gesamtauswertung mit einbezogenen Böschungsevaluationen sind in Tab. 45 im Anhang aufgelistet.

7.2.1 Süden

Auf allen selbstevaluierten Verkehrswegeböschungen in Süddeutschland (Süddeutsches Mittelgebirge - Schwäbische Alb) haben sich, wie bereits in Kap. 6 ausführlich untersucht, Gebüsche trockenwarmer (BT) und mesophiler (BM) Standorte entwickelt bzw. ist eine solche oder ähnliche Entwicklungsrichtung zu erkennen.

Am Aichelbergaufstieg, einem basenreichen flachgründigen Böschungsstandort über Kalkstein-Rendzinen im süddeutschen Mittelgebirge, lässt sich auf kolliner bis montaner Höhenstufe in Südwestexposition die Ausprägung zum wärmeliebenden Gebüsch *Roso vosagiacae-Coryletum* (Hasel-Gebüsch mit Vogesenrose) beobachten. An der gegenüberliegenden Böschung kann von einer Entwicklung zu einem mesophilen Rosengebüsch, dem *Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch), oder dem Schlehen-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

gebüsch, dem *Crataego-Prunetum spinosae* (Weißdorn-Schlehen-Gebüsch), gesprochen werden.

An der südwestexponierten Böschung an der BAB 8 am Wurmberg bei der AS Pforzheim Süd lässt sich über flachgründigen Kalkstein-Rendzinen mit wechselfeuchten Standortbedingungen nach 3-jähriger Sukzessionsphase ein Entwicklungstrend zu den wärmeliebenden Gebüschen *Prunetum-mahaleb* oder *Roso vosagiacae-Coryletum* feststellen. Auf der gegenüberliegenden Böschungsseite geht die Gebüschentwicklung eher in Richtung mesophiles Gebüsch, wie *Rhamno-Cornetum sanguineii* oder *Crataego-Prunetum spinosae,* aufgrund des Vorkommens von Brombeeren ggf. mit Übergängen zum *Pruno-Rubetum.* Bei der zuletzt genannten Gebüschgesellschaft fehlt *Prunus spinosa* als Bestandskennart, was vor allem daran liegt, dass die Schlehe nicht in der Ansaatmischung vorhanden war (vgl. Kap. 6.2; Tab. 36).

An einer südexponierten Böschung der BAB 6 bei Steinsfurt entwickelten sich innerhalb von 30 Jahren über Kalkstein-, Dolomitbänken und Keuper folgende Gebüschausprägungen: *Pruno-Ligustretum, Rhamno-Cornetum sanguineii, Pruno-Rubetum* und *Crataego-Prunetum spinosae.* Hierbei fällt zunächst auf, dass bei diesem warmen, nach Süden ausgerichteten Standort mit dem *Pruno-Ligustretum* nur ein thermophiles Gebüsch aufgezählt wird. Dies lässt sich aufgrund des lokalen luftfeuchten Mikroklimas (Moosentwicklung), teilweiser Beschattung durch gegenüberliegende Böschungen und Flächen mit wechselfeuchten Stellen erklären (vgl. BOLLENHAGEN 2003).

Tab. 36: Expositionsbedingte Ausprägung der Vegetation über flachgründigen Kalkstein-Rendzinen auf der schwäbischen Alb an Böschungen mit Neigungswinkel 1 : 2 bis 1 : 1,5 (eigene Darstellung; vgl. Kap. 6.1, 6.2).

Expositionen	Biotoptypen	Gebüsche
Süd- West	BTK	*Roso vosagiacae-Coryletum*, *Pruno-Ligustretum* (Höhengrenze), *Prunetum-mahaleb*
Nord- Ost	BMR/ S	*Rhamno-Cornetum sanguineii, Crataego-Prunetum spinosae, Pruno-Rubetum*

Legende: hauptsächlich ausgeprägtes Gebüsch

An der Vegetationsentwicklung auf den von BOLLENHAGEN (2003) aufgenommenen Profilen (vgl. Tab. 45 im Anhang: Steinsfurt I) lassen sich Entwicklungsausprägungen von wärmeliebenden trockenen zu frischen Gebüschen ablesen. So hat sich das *Pruno- Ligustretum* nur an trockenen Bereichen mit günstigem Sonneneinstrahlwinkel (vgl. Kap. 4.2) wie an flacheren Bereichen mit Steigungen zwischen 20°- 30° durchgesetzt. An mittelsteilen Böschungsabschnitten kann die Entwicklung zum *Crataego-Prunetum spinosae* und an sehr steilen Abschnitten über 40° Neigung die Entwicklung zum *Rhamno-Cornetum sanguineii* beobachtet werden. Über mittelsteilen Abschnitten mit frischen und wechselfeuchten Bodenbedingungen und im Randbereich der Böschungen ist eine Ausprägung mit Vorkommen von Brombeeren zum *Pruno-Rubetum* nachvollziehbar.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Beim näheren Betrachten fällt auf, dass den Gebüschen charakteristische Leitarten wie *Prunus spinosa* und *Rhamnus cathartica* fehlen. Der Kreuzdorn kommt nicht in der Ansaatmischung von 1967 vor und das Ausfallen von *Prunus spinosa* kann durch das Fortschreiten der Sukzession in Richtung Waldentwicklung und durch die Ausführung von Pflegemaßnahmen auf den Flächen erklärt werden. Denn laut Vegetationsaufnahme im Jahr 1969 durch NEEF war die Schlehe mit einer Ausbeute von 56 % sehr gut angelaufen (ebd.). Auch in diesem Fall können die beschriebenen Gebüsche oder Vorwaldgesellschaften an Böschungsflächen, an denen Waldentwicklung möglich ist und auch zugelassen wird, als Übergangszielvegetation zur Waldgesellschaft angesehen werden.

Die untersuchten Böschungsflächen Steinsfurt II befinden sich in unmittelbarer Nähe zu den zuvor beschriebenen Ansaatflächen Steinsfurt I. Die 1968 aufgebrachte Ansaatmischung enthielt mit *Acer campestre, Amelanchier ovalis, Cornus sanguinea, Crataegus monogyna, Cytisus nigricans, Hippophaë rhamnoides, Juniperus communis, Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Malus silvestris, Prunus mahaleb, P. spinosa, Pyrus communis, Rosa arvensis, R. canina, R. glauca, R. rubiginosa R. pimpinellifolia, Rubus fruticosa* und *Viburnum lantana* 20 Arten. Davon fielen im Laufe der Sukzession von 30 Jahren die Arten *Amelanchier ovalis, Juniperus communis* und *Rosa arvensis* auf allen Böschungen aus. Durch Diasporeneintrag gelangten *Rubus caesius, Salix caprea, Sambucus nigra, Sorbus aria, S. aucuparia* und *Tilia cordata* auf die Böschungen. Die Standortbedingungen mit skelettreichen Rendzinen über Kalkstein und Tonmergel (Keuper) sind dementsprechend ähnlich. Die Flächen sind nahezu in alle Himmelsrichtungen - bis auf Osten - exponiert (vgl. HACKER & WREDE 2005).

Auf den steilen (mit im Durchschnitt 60 % Steigung) nord- und nordwestexponierten Böschungen über Kalkstein hat sich nach 30-jähriger Sukzessionsphase vor allem mit dem *Rhamno-Cornetum sanguineii* ein mesophiles Rosengebüsch (BMR) als Vorwaldgesellschaft eingestellt. Außerdem sind Anteile des ebenfalls mesophilen *Crataego-Prunetum spinosae* zu erkennen, welche zu Beginn der Vegetationsentwicklung noch deutlicher zu erkennen waren. Mit zunehmender Westexposition der Böschungen nimmt der Anteil an *Ligustrum vulgare* zu (vgl. ebd.).

An der deutlich flacheren westexponierten Böschung nimmt aus Gründen des günstigen Sonneneinstrahlwinkels die Verbreitung des *Cornus sanguinea* ab und gleicht der des *Crataegus monogyna*, was für eine Entwicklung des *Crataego-Prunetum spinosae* als einem Gebüsch mesophiler Standorte spricht (vgl. Kap. 4.2; HACKER & WREDE 2005). Das fast ebenso zahlreiche Vorkommen von *Ligustrum vulgare*, *Cornus sanguinea* und *Prunus spinosa* spricht hier für eine erste Entwicklungstendenz in Richtung *Pruno Ligustretum*. An diesem Böschungsstandort befindet sich mit weiterer Ausrichtung nach Süden in etwa der Übergang in ein wärmeliebendes Gebüsch kalkhaltiger Standorte (BTK) (vgl. HACKER & WREDE 2005).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

An einer sehr steilen (Steigung 80 - 102 %) südexponierten Böschung kristallisiert sich mit einer sehr hohen Anzahl von *Cornus* sanguinea die Entwicklung eines Hartriegelgebüsches heraus (vgl. ebd.). Auch hier kann diese Entwicklung zu einem mesophilen Gebüsch dem maßgeblich nicht zur Wärmeentwicklung beitragenden Sonneneinstrahlwinkel zugerechnet werden (vgl. Kap. 4.2). Auf den flacheren süd- und südwestexponierten Böschungen liegt der Verbreitungsschwerpunkt wieder beim wärmeliebenden *Ligustrum vulgare.* Hier lässt sich mit Arten des *Pruno-Ligustretum* und Fragmenten des *Prunetum-mahaleb* eine deutliche Entwicklung zum wärmeliebenden Gebüsch kalkhaltiger Standorte (BTK) erkennen (vgl. HACKER & WREDE 2005).

Auf einer südexponierten Einschnittsböschung an der BAB 81 über kiesigem Material mit tonigen Schichten bei Geisingen wurde nach knapp 30 Jahren Sukzession die Entwicklung eines Gebüsches trockenwarmer Standorte (BT), dem *Pruno-Ligustretum* (Schlehen-Liguster-Gebüsch) im Übergang zum *Roso vosagiacae-Coryletum* (Hasel-Gebüsch mit Vogesenrose), beobachtet.

Tab. 37: Die 2001 auf der Böschung bei Geisingen kartierten Arten im Abgleich mit den Arten der Ansaat von 1972 (eigene Darstellung; vgl. NEEF 1970; HACKER & WREDE 2005).

Vorkommende Arten:	**Ausgefallene Arten:**
(Acer platanoides)	*Acer campestre*
(Acer pseudoplatanus)	*Alnus incana*
Clematis vitalba	*Euonymus europaeus*
Cornus sanguinea	*Fraxinus excelsior*
Crataegus monogyna	*Hippophae rhamnoides*
Juniperus communis	*Malus sylvestris*
Ligustrum vulgare	*Pyrus communis*
(Lonicera xylosteum)	*Rhamnus cathartica*
(Prunus avium)	*Rosa arvensis*
Prunus spinosa	*Sambucus racemosa*
(Rosa canina)	*Sorbus aria*
Rosa rubiginosa	*Tilia platyphyllos*
Rosa pimpinellifolia	*Viburnum lantana*
(Rubus fruticosa)	
Diasporeneintrag, bzw. verunreinigtes Saatgut:	
Pinus sylvestris	
Rosa glauca	

Legende: hohe Artenanzahl, mittlere Artenanzahl, (geringe Artenanzahl)

Auf den flachgründigen, großflächig trockenen und kalkhaltigen Böschungsflächen haben sich Liguster-Gebüsche der *Pruno-Ligustretum* entwickelt. Die Kennart *Prunus spinosa* ist allerdings mit 4 Exemplaren in der Untersuchungsfläche deutlich geringer ver-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

treten als *Ligustrum vulgare* mit 22 (vgl. HACKER & WREDE 2005). Als eine typische Kennart der Gesellschaft kann lokal auch *Rosa rubiginosa* angesehen werden (vgl. OBERDORFER 1992 b). Das Aufkommen von *Rosa glauca* durch Diasporeneintrag oder verunreinigtes Saatgut und die generell starke Präsenz von Rosen könnte auf den montanen Lagen aber auch die Entwicklung eines *Corylo- Rosetum vosagiacea (Roso glaucae- Coryletum)* einläuten, das den Ligusterbusch in der montanen Stufe im kühlhumiden Klima vor allem auf kalkhaltigen Böden ersetzt (vgl. ebd.). *Corylus avellana* fehlt als Charakterart in der Vegetationsaufnahme, kam aber auch nicht 1972 in der Ansaat von NEEF vor (vgl. Tab. 37). Das Fehlen von *Rosa arvensis*, welche z. T. einen dem Gebüsch typischen Vormantel ausprägt, kann für eine späte Entwicklungsphase des *Pruno-Ligustretum* sprechen, da dieser zu einem früheren Entwicklungsstadium existiert haben könnte (vgl. ebd.). Das langsame Einwandern von *Acer platanoides* und *Acer pseudoplatanus* sowie *Pinus sylvestris* zeigt die erste Entwicklung zu Waldbeständen der potenziell natürlichen Vegetation. Das *Pruno-Ligustretum* kann daher in diesem Zusammenhang als eine Vorwaldgesellschaft auf den Flächen verstanden werden (HACKER et al. 2001).

Auch bei diesem Beispiel ist die vorübergehende Zielvegetation das *Pruno-Ligustretum* bzw. das *Corylo-Rosetum* nach 30-jähriger Sukzession mittels Gehölzansaat erreicht worden.

Auf den westexponierten Kalkrohböden des Steinbruchs Vohenbronnen auf der Schwäbischen Alb kann nach 17-jähriger Sukzessionsphase die Entwicklung zu einem *Rhamno-Cornetum sanguineii* mit Tendenzen zum *Pruno-Ligustretum* beobachtet werden. Als Vegetationsziel ist hier Rotbuchenwald vorgesehen, welcher im Laufe der Sukzession über einen Pionierwald erreicht werden sollte (RADEMACHER & TRÄNKLE 2007). In der Ansaatmischung von 1989 befanden sich *Acer campestre, A. pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Cornus sanguinea, Corylus avellana, Fagus sylvatica, Fraxinus excelsior, Prunus mahaleb, P. spinosa, Quercus robur, Sambucus nigra, Sorbus aria* und *Viburnum lantana* (HEIDELBERGCEMENT k. A.). Die Deckung der Baum- und Strauchschicht erreichte am feuchteren Hangfuß im Jahr 2004 annähernd 100 %. Im oberen trockenen, sonnenexponierten Hangbereich entwickelten sich lückige Gehölzinseln, die sich mosaikartig mit Halbtrockenrasenfragmenten verzahnt haben (ebd.). Natürlicherweise würde sich an einem solchen extremen trockenen Standort im oberen Hangbereich nach dem Halbtrockenrasen wohl ein Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte (BTK) und im unteren frischeren Hangbereich ein mesophiles Rosengebüsch (BMR) einstellen. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass sich in der Ansaatmischung keine für dieses Gebüsch typische Rosenarten befunden haben. Nach 17 Jahren wurden in der Krautschicht Rosen kartiert, welche durch Diasporeneintrag in die Flächen gekommen sein müssen (vgl. Abb. 63). Da weder *Prunus spinosa* als einer Charakterart des *Pruno-Ligustretum* noch *Corylus avellana* als Art des *Roso vosagiacae-Coryletum* sich etablie-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ren konnten, sind bei diesen Flächen in diesem Fall als Übergangszielvegetation das *Rhamno-Cornetum sanguineii* als Vorwaldgesellschaft möglich (vgl. WEBER 2003).

	Rel. Stetg. [%]			Rel. Stetig. [%]	
Baumschicht	**1992**	**2004**	**Krautschicht**	**1992**	**2004**
Acer campestre		7	Acer campestre	47	7
Acer pseudoplatanus		13	Acer platanoides		7
Picea abies	13	13	Acer pseudoplatanus		7
Pinus sylvestris	7	7	Betula pendula		7
Salix caprea		20	Carpinus betulus	33	33
Salix purpurea		7	Cornus sanguinea	53	73
Strauchschicht			Daphne mezereum		7
Acer campestre		27	Frangula alnus	7	7
Acer pseudoplatanus		7	Ligustrum vulgare	7	
Carpinus betulus		27	Picea abies	33	60
Cornus sanguinea		87	Pinus sylvestris	33	53
Fagus sylvatica	7	13	Prunus mahaleb	47	13
Ligustrum vulgare		7	Prunus spinosa		13
Picea abies		20	Rosa canina		7
Pinus sylvestris		40	Salix caprea	40	27
Prunus mahaleb		40	Salix purpurea	13	
Salix purpurea		13	Sambucus racemosa	20	
Sorbus aucuparia	7	60	Sorbus aucuparia	87	27
Viburnum opulus		7	Viburnum opulus	7	20

Abb. 63: Relative Stetigkeit der Gehölzarten im Steinbruch Vohenbronnen im Vergleich von 1992 und 2004 (RADEMACHER & TRÄNKLE 2007).

Im Ergebnis der in Süddeutschland untersuchten schwach sauren, neutralen bis alkalischen Böschungsstandorte stellen sich in süd- und südwestlicher Exposition bei einer Neigung von 20 - 30° Gebüsche trockenwarmer Standorte (BT) ein (vgl. Tab. 38). Grund ist hierfür die Wärmeentwicklung bedingt durch einen günstigen Sonneneinstrahlungswinkel (vgl. Kap. 4.2). Bei einer Neigung von 30 - 40° (ca. 1 : 1,7 - 1,2) können sich bei gleicher Exposition je nach Bodenfeuchte und Kühle bereits mesophile Schlehengebüsche (BMS) einstellen. Auf noch steileren Standorten (Neigung > 40°) gleicher Exposition und Bodenbedingungen kann mit einer Entwicklung eines mesophilen Rosengebüsches gerechnet werden (vgl. Tab. 38, 44 im Anhang).

Bei westexponierten Böschungen mit gleichen Standortbedingungen kann sich bei einer Neigung von 20 - 30 ° (ca. 1 : 2,8 - 1,7) bei durchlässigen nichtbindigen Böden ein BT entwickeln. Sobald sich hier bindigere Böden mit einer besseren Wasserspeicherkapazität befinden, kann mit einer Entwicklung zu Gebüschen des BMS gerechnet werden. Wenn sich die Neigung bei gleicher Exposition und Bodenbedingungen über 30 ° erhöht, entwickeln sich nur noch mesophile Gebüsche (BMR/ S). An den nord-, nordwest- und

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

nordostexponierten Böschungen mit einer Neigung über 20° entwickeln sich - unabhängig von der Bindigkeit des Bodens - ausschließlich unterschiedliche mesophile Gebüsche (BMR/ S) (vgl. ebd.).

Tab. 38: Expositions- und neigungswinkelbedingte Ausprägung der Vegetation über Kalksteinrendzinen und Tonmergel in Baden-Württemberg auf der schwäbischen Alb (eigene Darstellung; vgl. BOLLENHAGEN 2003; HACKER & WREDE 2005).

Expositionen	Neigung	Biotoptypen	Gebüsche
Süd / Süd-West	20 - 30° 30 - 40° > 40°	BT BMS / BT BMR	*Pruno-Ligustretum, Prunetum-mahaleb, Roso vosagiacae-Coryletum* (Höhengrenze) *Crataego-Prunetum spinosae, Pruno-Rubetum/ Pruno-Ligustretum* *Rhamno-Cornetum sanguineii*
West	20 - 30° > 30°	BMS / BT BMR/ S	*Crataego-Prunetum spinosae/ Pruno-Ligustretum* *Rhamno-Cornetum sanguineii/ Crataego-Prunetum spinosae*
Nord / Nord-West /Nord-Ost	> 20°	BMR/ S	*Rhamno-Cornetum sanguineii/ Crataego-Prunetum spinosae*

Legende: hauptsächlich ausgeprägtes Gebüsch

An den westexponierten Autoböschungen der BAB 8 (Stuttgart-München) am Rohrbachaufstieg bei Leonberg haben sich über Schilfsandsteinbänken im kleinräumigen Wechsel mit Gips-Keuper und Braunem Mergel sandige Lehmböden gebildet (HACKER & WREDE 2005). Hier wurden in 500 - 550 m Höhe bei einer Böschungsneigung von 1 : 1,5 und milden wärmebegünstigten Klimabedingungen im kleinräumigen Wechsel trockener und frischer Hangbereiche die Entwicklung folgender mesophiler und bodensaurer Gebüsche begünstigt: *Rhamno-Cornetum sanguineii, Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae,* sowie *Rubo plicati-Sarothamnetum* und *Frangulo-Rubetum plicati.*

Großflächig scheint sich hier das *Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae* (Brombeer-Schlehen-Gebüsch) mit Tendenzen zum *Rhamno-Cornetum sanguineii* (Hartriegel-Gebüsch) über basenreicheren Bodenfragmenten ausgebildet zu haben. Das vermehrte Vorkommen von *Sorbus aucuparia* spricht stärker für die Entwicklung eines *Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae*, das Vorkommen von *Cornus sanguinea* und *Lonicera xylosteum* für das *Rhamno-Cornetum sanguineii.* Allerdings fehlt hier die namensgebende Leitart *Rhamnus cathartica*, welche nicht in der Ansaatmischung von 1966 vorhanden war. Auch *Lonicera periclymenum* als Verbandskennart des *Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae* fehlte in der Ansaatmischung. *Cytisus scoparius* kam als weitere Kennart in der Ansaat vor und wird über 30 Jahre später kartiert (ebd.). Das Vorkommen von *Cytisus scoparius* an trockenen sandigen Stellen über Sandsteinbänken könnte die Zuordnung zum *Rubo plicati-Sarothamnetum* (Faltenbrombeer-Besenginster-Gebüsch) zulassen. Da aber auch *Frangula alnus* an einigen Stellen der Böschung vorkommt, könnte sich an den wechselnassen sandig-tonigen Bereichen ein *Frangulo-Rubetum plicati* (Brombeeren-Faulbaum-Gebüsch) entwickelt haben (vgl. OBERDORFER 1992b).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Nach über 30 Jahren Sukzession und dem Verschwinden der Schlehe, die zunächst nach 3-jähriger Entwicklungsphase einen Teil des Bestands ausmachte (HACKER & WREDE 2005), lässt sich auch hier sagen, dass es sich vor allem um Vorwaldgesellschaften handelt und die Waldentwicklung bereits eingesetzt hat. Auch hier können die genannten Gebüsche als Übergangszielvegetation angesehen werden.

Die sich in Westexposition entwickelten mesophilen Gebüschfragmente (BMR/ S) entsprechen der Zuordnung nach Tab. 38.

Die über sauren Abschnitten in Westexposition vorkommenden bodensauren Gebüsche (BS) sind in ihrer weiteren Ausprägung stark abhängig von der Bodenfeuchte. So entwickeln sich über den bindigen lehmhaltigeren Böden Faulbaum-Gebüsche (BSF) und über den nichtbindigen wasserdurchlässigen sandigen Böden Besenginster-Gebüsche (BSG) (vgl. Kap. 4.3).

7.2.2 Mitte

Ende der 80-iger Jahre untersuchte SIEGMÜLLER (1989, 1991) Gehölzansaaten auf extremen Neigungsflächen an Verkehrswegeböschungen im Norden von Mitteldeutschland (Mitteldeutsches Bergland - Raum Kassel). Nach Analyse der auf den Böschungen vorkommenden und der sich in der Ansaat befundenen Arten lassen sich nur schwerlich Rückschlüsse über eine mögliche Zielvegetation, welche sich an Gebüschgesellschaften oder Biotoptypen orientieren könnte, ziehen. In der Ansaatmischung fehlten wichtige Arten, die eine klare Richtung in der Sukzessionsentwicklung vorgeben könnten, mit *Prunus spinosa, Ligustrum vulgare* und *Rhamnus cathartica* sind nur ein paar genannt. Des Weiteren sind nicht gebietsheimische Arten wie *Robinia pseudoacacia, Alnus cordata* und *Caragana arborescens* verwendet worden, von denen keine nach heutiger naturschutzfachlicher Auffassung in die freie Landschaft ausgebracht werden dürfen (vgl. SIEGMÜLLER 1989, 1991). Trotz des häufigen Fehlens der Charakterart *Prunus spinosa* kann aufgrund des Vorkommens weiterer Kennarten trockener und frischer Gebüsche (BT und BM) folgende in Kap. 4.3 genannte Zielvegetation abgeleitet werden: *Pruno-Ligustretum, Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae,* sowie *Rhamno-Cornetum sanguineii* und *Crataego-Prunetum spinosae.*

Auf den sauren Böden (Kuhberg und Edersee) haben sich trotz sehr niedriger pH-Werte (4,7 / 4,3) in südöstlicher Exposition über Buntsandstein und Kieselschiefer keine bodensauren Laubgebüsche entwickelt, was vor allem daran liegen könnte, dass in der Ansaatmischung keine typischen bodensauren Arten wie *Cytisus scoparius* und *Frangula alnus* vorkamen. Hier zeigt lediglich das Vorkommen von *Sorbus aucuparia, Betula pendula, Populus tremula, Quercus robur, Alnus glutinosa* und *Salix caprea* an, dass es sich hierbei um saure Standorte handeln könnte. Für eine Zuordnung zum bodensauren Gebüsch reichen diese Vorkommen jedoch nicht aus. Alle genannten Gehölze sind

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Vorwaldarten eines sonstigen naturnahen Sukzessionsgebüschs (BRS), das eine Entwicklung in Richtung bodensauren Eichen- und Buchenwald anzeigen könnte.

Über den Kieselschieferplatten des Standortes Edersee könnte die sukzessive Entwicklung in Richtung rosendominiertes *Rhamno-Cornetum sanguineii* (BMR) gehen, wobei sich hier eigentlich ein bodensaures Faulbaumgebüsch (BSF) hätte entwickeln können. Über den sauren Buntsandsteinböden am Kuhberg hätte sich aufgrund der durchlässigen Sandböden ein Besenginster-Gebüsch (BSG) einstellen müssen.

Am schwachsauren südostexponierten Standort Erlenloch hat sich nach 4 Jahren ein rosendominiertes *Rhamno-Cornetum sanguineii* etabliert. Die Entwicklung zu einem mesophilen Gebüsch an einer mit 33° Neigung fast optimal sonnenexponierten warmen Böschung lässt darauf schließen, dass es sich hierbei um einen Standort mit wechselnden und frischen bis mäßig feuchten Bodenbedingungen, in diesem Fall über Basaltverwitterungslehm, handelt.

Auch an der pH-neutralen südostexponierten steilen Böschung bei Goddelsheim über Tonschieferplatten ergibt sich nach 4 Jahren ein ähnliches Bild. Hier allerdings lässt sich vor allem die Neigung mit über 45° als Erklärungsansatz hinzuziehen, denn hier ist ein Wärmeoptimum durch die Sonneneinstrahlung nicht möglich (vgl. Kap. 4.2.). Von daher geht auch in Goddelsheim die Entwicklung in Richtung rosendominiertes mesophiles Gebüsch (BMR), dem *Rhamno-Cornetum sanguineii.*

Als nahezu pH-neutral wurden die Böschungsstandorte Bad Wildungen über Buntsandstein und Papental über Wellenkalk eingestuft. In Bad Wildungen handelte es sich zum Aufnahmezeitpunkt um eine 4 Jahre alte, mit 25 - 35° zur Wärmeentwicklung nahezu optimal geneigte südexponierte Böschung. Hier stellte sich mit dem *Rubo-fruticosi-Prunetum-spinosae* ein Laubgebüsch trockenwarmer Sand-/ Silikatstandorte (BTS) ein.

An den südwestexponierten, mit 30 - 40° sehr steilen Böschungen hat sich im Verlauf von 16 Jahren am Standort Papental über stark steinigem durchlässigen Kalkverwitterungsboden mit dem *Pruno-Ligustretum* ein Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte (BTK) entwickelt. Am gleichen Standort stellt sich in Nordostexposition ein mesophiles Schlehengebüsch (*Crataego-Prunetum spinosae)* ein. Das Vorkommen von Arten wie *Quercus robur, Acer pseudoplatanus* und *Fraxinus excelsior* stellt einen Übergang als Vorwaldgesellschaft oder Waldmantelgesellschaft dar (vgl. SIEGMÜLLER 1989, 1991).

SKIRDE (1984) führte 1976 in Linden-Leihgestern bei Gießen auf oberbodenlosem, verdichtetem, steinigem, humusarmem, lehmigem Sandboden in leichter südexponierter Hanglage (6 - 7 %) mehrere Begrünungsversuche mittels Gehölzansaaten durch. Saatgut von 8 Gehölzarten (*Acer pseudoplatanus, Alnus incana, Cornus sanguinea, Hippophaë rhamnoides, Lonicera xylosteum, Rosa canina, Rubus fruticosa* und *Sambucus racemosa*) wurde zu 3 verschiedenen Ansaatterminen (Februar, April und September) ausgebracht. Es erfolgten jeweils eine Gehölzreinsaat und 7 Gehölzansaaten mit ver-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

schiedenen Beisaatmischungen (*Festuca rubra, F. ovina, Poa annua, Lolium perenne* und *Lolium multiflorum*). Als Bodenverbesserungsstoffe wurden 0,8 l Oberboden, 2,5 l Lavasand 0/3 und 3,2 l Florahum (stärker zersetzter Torf) verwendet. Die aufgebrachte Mulchschicht bestand aus 500 g/ m² Langstroh, das mit 50 g/ m² Curasol AH verklebt wurde (SKIRDE 1984). Im gesamten Versuch entwickelten sich von den angesäten Gehölzarten nur *Cornus sanguinea, Lonicera xylosteum, Rosa canina* und *Rubus fruticosa*. Die größte Stetigkeit bzw. Saatzeitunabhängigkeit wiesen *Rosa canina* und *Cornus sanguinea* auf. Bei diesen beiden Arten sowie *Lonicera xylosteum* ist trotz alledem eine bestimmte Begünstigung durch die Septemberaussaat unverkennbar (ebd.). Lediglich bei der Gehölzreinansaat sind nach 3-jähriger Vegetationszeit bei der Vegetationsaufnahme noch alle 4 Arten aufgeführt, wobei die Verbreitung von *Rubus fruticosa* im Vergleich zum ersten Jahr nach der Ansaat deutlich nachgelassen hatte, was vermutlich durch das anfängliche Nährstoffangebot, bedingt durch die ansaatbegleitenden Bodenverbesserungsstoffe, hervorgerufen wurde (vgl. ebd.). Die wichtigsten Schlussfolgerungen dieser Versuche lauten: dass Gehölzansaaten allgemein sehr sensibel auf Artenkonkurrenzen reagieren und sich *Lolium perenne* und *L. multiflorum* als am besten geeignete Gräser bei Ammensaaten herausgestellt haben (ebd.). Nichtsdestotrotz eignen sich im Allgemeinen konkurrenzschwächere Kräuterarten als Beisaatmischung grundsätzlich besser als Gräser. SKIRDE (1984) schreibt zudem *Rosa canina* ganz besondere interspezifische Konkurrenzwirkungen zu. Ähnliche Beobachtungen in Bezug auf die Konkurrenzstärke von *Rosa canina* lassen sich an der Nordböschung des Autobahnkreuzes Leipzig Süd (vgl. Kap. 6.6) machen. Hier ist die Hundsrose nahezu das einzige Gehölz, das einen flächendeckenden Bestand von *Ononis spinosa* durchdringt. Eine weitere Ähnlichkeit zur südexponierten Böschung bei Leipzig ist das gehäufte Auftreten von *Rosa canina* und *Cornus sanguinea,* auch bei stärkerer Konkurrenz durch Gräser. *Rosa canina* und *Cornus sanguinea* scheinen daher wie bereits in Kap. 6.6 angenommen ein positives interspezifisches Verhältnis zueinander zu haben. Den Standortbedingungen und den zum Aufnahmezeitpunkt aus der Ansaat bereits entwickelten Gehölzen gemäß müsste sich in leicht südexponierter Hanglage auf einem schwach sauren bis alkalischen lehmigen Sandboden ein mesophiles Rosengebüsch (BM) entwickelt haben. Aufgrund der leicht südexponierten Lage sind Übergänge zum Laubgebüsch trockenwarmer Kalkstandorte (BTK) möglich.

Auf den selbstevaluierten Verkehrswegeböschungen in Niedersachsen lassen sich, bis auf den Ansaatausfall in Langelsheim (vgl. Kap. 6.5), auf schwach sauren bis alkalischen Böschungen Entwicklungen zu Gebüschen trockenwarmer (BT) und mesophiler (BM) Standorte erkennen (vgl. Kap. 6.3, 6.4). Als Zielvegetation sind an den nordexponierten Seiten der Bernser Landwehr Entwicklungstendenzen zu einem mesophilen Rosengebüsch (BMR) erkennbar. Eine durchgängige spärliche bis zahlreiche Verbreitung von *Cornus sanguinea Rosa rubiginosa* spricht für eine Entwicklung des *Rhamno-*

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Cornetum. Das auf einigen Flächen zahlreiche Vorkommen von *Rubus fruticosa* kann für die Entwicklung eines *Pruno-Rubetum* auf vereinzelten nährstoffreicheren Abschnitten sprechen (vgl. Kap. 6.3).

Weitere in Niedersachsen selbstevaluierte Böschungen befinden sich im Vorfeld des Heidkopftunnels über Kalksteinrendzina und haben Südwest- und Nordostexposition. Die südwestexponierte Böschungsfläche ist mit einer Neigung von 1 : 1,5 etwas steiler als die für das Sonneneinstrahlungsoptimum zur Wärmentwicklung erforderliche Neigung. Von daher kann hier ein Übergangsbereich vom wärmeliebenden Gebüsch auf kalkhaltigen Standorten (BTK) zum mesophilen Gebüsch (BM) angenommen werden. Die spärliche bis zahlreiche Verbreitung von *Rosa canina* und *R. rubiginosa* auf der ganzen Fläche spricht für diese Annahme, ebenso die reichliche Verbreitung von *Prunus avium, P. spinosa* und *Fraxinus excelsior* an der Böschungsoberkante. *Cornus sanguinea* und *Pyrus communis* kommen hier spärlich und *Crataegus laevigata* nur vereinzelt vor. Die mit 1 : 2 Neigung flachere nordostexponierte Böschungsfläche hat mit 50 - 75 % Vegetation im Vergleich zur gegenüberliegenden Böschung eine deutlich größere Deckung. Die Verbreitung von *Rosa canina* und *R. rubiginosa* ist vor allem auf den besonnteren Bermen reichlich bis sehr zahlreich. *Betula pendula*, *Cornus sanguinea, Pyrus communis* und *Viburnum lantana* sind auf der gesamten Fläche reichlich vertreten. Den Standortbedingungen und den bereits etablierten Arten nach zu urteilen stellt sich hier ein mesophiles Rosengebüsch (BMR) wie ein Hartriegelgebüsch (*Rhamno-Cornetum sanguineii)* ein.

Die bereits für Baden-Württemberg gestellte Annahme, dass das Zusammenwirken von Exposition, Neigung und Bindigkeit sich maßgeblich auf die Vegetationsentwicklung auswirkt, wird auf allen in der Bundesrepublik Deutschland ausgewerteten Böschungen bestätigt.

Auf einem südexponierten Böschungsstandort mit einer Regelböschungsneigung von 1 : 1,5 bzw. 34° (vgl. Tab. 44 im Anhang) und steiler könnte sich sowohl ein wärmeliebendes Gebüsch (BT) als auch ein mesophiles Gebüsch (BM) einstellen. Die Vegetationsentwicklung außerdem beeinflussende Faktoren sind in diesem Fall die Bodenfeuchtigkeit und die klimatischen Bedingungen. Gleiches gilt für eine ost- oder westexponierte Böschung in einem Neigungsspektrum zwischen 20 - 30°. Bei einem südexponierten Böschungsstandort hingegen mit derselben Neigung zwischen 20 - 30° tendiert die Entwicklung eindeutig zu einem wärmeliebenden Gebüsch (BT) (vgl. Tab. 38). Hier überwiegt die Wärmentwicklung und Verdunstung durch den günstigen Sonneneinstrahlwinkel die der Bodenfeuchte auch bei bindigen Böden, solange sie flachgründig sind und kein Hangwasser austritt, sowie sonstige kühlere Klimabedingungen vorherrschen (vgl. Kap. 4.2).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Da auf allen ausgewerteten Böschungen zumindest Entwicklungstendenzen zu bestimmten Gebüschen und Biotoptypen zu erkennen sind, die sich natürlicherweise auch auf solchen Standorten entwickelt hätten, ist die Annahme, dass sich das naturnahe Vegetationsziel von Gehölzansaaten an der Zusammensetzung natürlicher Gebüsche auf ähnlichen Standorten orientieren sollte, nachgewiesen (vgl. Kap. 4.3).

Von der Erreichbarkeit der Zielvegetation kann daher auf einen bestimmten Böschungsstandort ausgegangen werden, solange diese sich an natürlichen Gebüschgesellschaften und Standortbedingungen orientiert, also biotoptypenbasiert erfolgt.

Auch auf den zuvor beschriebenen Böschungen in Mittel- und Norddeutschland lassen sich die auf schwach sauren bis alkalischen Standorten in Süddeutschland gemachten Aussagen über das Zusammenwirken von Exposition, Neigung und Bindigkeit auf die Vegetationsentwicklung übertragen (vgl. Tab. 38).

7.2.3 Osten

Die im Rahmen dieser Dissertation in Sachsen untersuchten südost- und nordostexponierten Böschungen befinden sich am Bundesautobahnkreuz Leipzig Süd an der B 2 und der BAB 38. Die nach Südosten ausgerichtete Böschung hat eine Regelneigung von 1 : 2 bis 1 : 1,5. Die andere Böschung ist deutlich flacher. Es handelt sich hierbei um eine aus tertiären verdichteten Sanden aufgeschüttete Dammböschung mit einer etwa 30 cm mächtigen Kalkschotterdeckschicht. Auf der südostexponierten ist die Entwicklung eines Laubgebüsches trockenwarmer Kalkstandorte (BTK) zu erkennen. Aufgrund der im Untergrund sich stark ändernden Standortbedingungen (pH-Wert und Verdichtung) kann im späteren Verlauf der Sukzession eher mit einer Entwicklung zu einem Laubgebüsch trockenwarmer Silikatstandorte (BTS) mit kalk- und säuretoleranteren Arten gerechnet werden. An der nordostexponierten Fläche mit gleichem Bodenaufbau hätte sich ohne die flächendeckende Dominanz von *Ononis spinosa* ein mesophiles Rosengebüsch (BMR) einstellen können. Auch hier könnte aufgrund der sich stark ändernden Bodenbedingungen eher eine Bestandsentwicklung mit Arten einer großen Standortamplitude, wie *Carpinus betulus*, *Cornus sanguinea, Rosa canina, Prunus spinosa* und *Sorbus aucuparia* begünstigt werden (Kap. 6.6).

Im Rahmen einer Studie von 7-jährigen Gehölzansaaten an der BAB A17 in Sachsen (Sächsisches Mittelgebirge - Raum Dresden) (vgl. Tab. 45 im Anhang) an der Hochschule Anhalt (FH) wurden mehrere verschiedene Böschungsflächen untersucht (vgl. NITSCHKE 2008). Eine der Böschungen besteht aus starkbindigen, z. T. verdichteten Böden, ist nordexponiert und hat eine Neigung von 1 : 3. Die nach Süden exponierte Böschungsfläche ist aus Lockergestein auf felsigem Untergrund. Die nordwestlich und östlich exponierten Böschungen bestehen aus bindigem, felsgesteinhaltigen Boden. Die Begrünung durch Gehölzansaaten erfolgte 2001 auf den Böschungsflächen mit und ohne Ammensaat. Auf den starkbindigen nordexponierten Böschungen sind Flächen ohne

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Untersaat begrünt worden; hier dominieren *Alnus glutinosa* bis in Höhen über 2 m und *Cornus sanguinea*. Es scheinen keinerlei Verdrängungsprobleme durch Gräser und Kräuter zu herrschen. Über die anderen dort ausgebrachten Gehölzarten wie *Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Prunus spinosa, Rosa canina, R. multiflora, Sorbus aucuparia, S. torminalis* und *Viburnum lantana* lassen sich diesbezüglich zum aufgenommenen Zeitpunkt nach 6 Jahren noch keinerlei Aussagen treffen, da erst Wuchshöhen von 50 cm erreicht werden müssen, damit diese Arten nicht mehr der Konkurrenz durch Gräser und Kräuter ausgesetzt sind.

Auf den nordexponierten Flächen mit Ammensaat sind vereinzelt *Alnus glutinosa*, *Cornus sanguinea* und *Rosa* sp. in der Strauchschicht auszumachen. Der Deckungsgrad von *Sorbus torminalis* und *Viburnum lantana* in der Krautschicht ist sehr gering. Hier haben sich neben Schwingel-Dominanzbeständen mit *Festuca ovina*, Arten der Glatthaferwiesen, Arten der Trocken- und Halbtrockenrasen und Ruderalgesellschaften sowie ausdauernde ruderale Beifußgesellschaften entwickelt. In Vergleich zu den anderen Böschungsstandorten, an denen sich Gehölze etabliert haben, dominiert hier eine hohe Anzahl von krautigen Arten und Gräsern mit für Straßenbegleitgrün typischen Arten (vgl. ebd.).

Auf der nach Süden exponierten Böschungsfläche auf felsigem Untergrund über Gesteinen des Unterem Rotliegenden (Schiefertone, Tonsteine) im neutralen pH-Bereich haben sich vor allem mit *Rosa canina* und *R. rubiginosa* zahlreiche Rosen etabliert. Zudem dominiert hier ebenfalls das aus der Ammenansaat stammende *Festuca ovina* (ebd.). Die starke Rosenpräsenz kann im Zusammenhang mit den Standortbedingungen als Indiz dafür genommen werden, dass sich auf diesem Standort mit geeigneter Ansaatmischung ein Laubgebüsch trockenwarmer Sand-/ Silikatstandorte (BTS) entwickeln würde.

Auf den nordwestlich exponierten Böschungsflächen mit einer Neigung von 1 : 1,5 aus bindigem, aber dennoch felsgesteinhaltigem Boden sind vor allem *Cornus sanguinea, Lonicera xylosteum* und - wenn in Ansaatmischung vorhanden - auch *Alnus glutinosa* präsent. Auch hier herrscht eine *Festuca ovina*-Dominanz (ebd.). Den Standortbedingungen nach zu urteilen wird sich hier ein mesophiles Rosengebüsch entwickeln.

Auf den östlich exponierten Böschungsflächen mit einer Neigung von 1 : 1,5 und 1 : 2,5 aus vor allem bindigen Material ist *Rosa canina* durchgängig sehr zahlreich und *Festuca ovina* flächendeckend vertreten. *Rosa rubiginosa* ist z. T. zahlreich vorhanden. Als Begleitarten können mit einem vereinzelten bis spärlichen Vorkommen *Prunus spinosa, Cornus sanguinea, Ligustrum vulgare* und *Lonicera xylosteum* benannt werden (ebd.). Hier könnte sich ein mesophiles Schlehengebüsch (BMS) entwickeln.

Auf der Grundlage der Standortbedingungen und bei richtiger Artenwahl der Ansaatmischungen könnten sich an diesen Böschungen folgende biotoptypenbasierte Zielgebü-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

sche (BT und BM) entwickeln: *Pruno-Ligustretum, Crataego-Prunetum fruticosae*, sowie *Rhamno-Cornetum sanguineii, Pruno-Rubetum* … und *Crataego-Prunetum spinosae* (vgl. Kap. 4.3; Tab. 39).

Tab. 39: Die Abhängigkeit der Gebüschausprägung in Sachsen von der Exposition an Böschungen mit nahezu für die Sonneneinstrahlung zur Wärmeentwicklung optimalem Neigungswinkel 1 : 1,5 bis 1: 3 (eigene Darstellung; vgl. NITSCHKE 2008; Kap. 6.6).

Exposition	Neigung	Biotoptypen	Gebüsche
Süd	1 : 2	BTS	*Pruno-Ligustretum*
Süd-Ost	1 : 1,5 - 2	BTK(-S)	*Pruno-Ligustretum*
Ost	1 : 2,5	BMS	*Crataego-Prunetum spinosae*
Nord	1 : 3	BMR/ S	*Rhamno-Cornetum sanguineii, Pruno-Rubetum …*
Nord-West	1 : 1,5	BMR/ S	*Rhamno-Cornetum sanguineii, Crataego-Prunetum spinosae, Pruno-Rubetum …*
Nord-Ost	1 : 3	BMR	*Rhamno-Cornetum sanguineii*

Legende: hauptsächlich ausgeprägtes Gebüsch

An der B 71 nördlich von Bernburg (Saale) in Sachsen-Anhalt entstand in Richtung Strenzfeld bis 2002 ein Lärmschutzwall der Solvay Alkali GmbH Bernburg. 2003 wurde dieser Wall erstmals durch eine Gehölzansaat in 5 verschiedenen Hilfsstoffvarianten begrünt. 2006 erfolgte eine weitere Begrünung, nachdem 2005 ein Teil der Fläche zerstört worden war (KAUSCH 2006, 2011). Die nordost- und südostexponierten Böschungen haben eine Neigung von 22°. Als Vegetationsziel wurde das wärmeliebende Gebüsch auf schluffigem Lehm über Kalksandstein (pH-Wert 7,9) gewählt. In der Ansaatmischung von 2003 befanden sich *Acer campestre, Berberis vulgaris, Cornus sanguinea, Crataegus monogyna, Euonymus europaeus, Ligustrum vulgare, Lonicera xylosteum, Prunus spinosa, Rhamnus cathartica, Rosa canina, R. rubiginosa, Rubus fruticosa* und *Viburnum lantana*. Die Aussaat erfolge händisch, wobei etwa ¼ des Saatgutes stratifiziert und somit keimfähig gemacht wurde (KAUSCH 2006).

Cornus sanguinea und *Lonicera xylosteum* erreichten im Jahr 2005 die größten Individuendichten, aber auch *Prunus spinosa* und *Rosa canina* kamen häufiger vor. *Rhamnus cathartica, Rubus fruticosa* und *Euonymus europaeus* hatten sich nach 2 Jahren Sukzessionsdauer noch nicht etabliert.

Auf den unzerstörten Flächen dominierten 2010 *Lonicera xylosteum, Rosa canina* und *R. rubiginosa,* wobei die Rosenarten eine Wuchshöhe von über 2 m aufweisen. An einem durch Hangwasseraustritt feuchten Bereich der Böschung sind in der Krautschicht zahlreiche Gehölzarten wie *Acer campestre, Crataegus monogyna, Ligustrum vulgare*, *Prunus spinosa* und *Rhamnus cathartica* vorhanden. Auch hier dominieren *Lonicera xylosteum* und *Rosa rubiginosa* neben Pionierarten des sonstigen naturnahen Sukzessionsgebüschs (BRS), wie *Betula pendula, Populus tremula* und *Salix aurita* (vgl. KAUSCH 2011).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Nach Analyse der sich etablierten Arten haben sich mit dem *Pruno-Ligustretum* Laubgebüsche trockenwarmer Kalkstandorte (BTK) und mit dem *Rhamno-Cornetum sanguineii* und dem *Crataego-Prunetum spinosae* Gebüsche frischer Standorte (BM) an wechseltrockenen Standorten z. T. mit Hangwasseraustritt oder auch an trockeneren Standorten in absonniger Lage entwickelt. Somit wird auch hier der in Süddeutschland gemachten Aussagen über das Zusammenwirken von Exposition, Neigung und Bindigkeit auf die Vegetationsentwicklung von leicht alkalischen Kalkstandorten nicht wider-sprochen bzw. ist eine Übertragbarkeit dieser möglich (vgl. Tab. 38).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

7.3 Standortbezogenes Verwendungsspektrum für biotoptypenbasierte Gehölzsansaaten

Den Evaluationsergebnissen zufolge muss die Vegetationsentwicklung an Böschungen neben den Standortfaktoren pH-Wert, Exposition und Neigung noch von weiteren Bodenbedingungen abhängen. Demnach ist es im Folgenden notwendig, diese weiteren Bodeneigenschaften in Hinblick auf die Begrünungseignung eines Böschungsstandortes für Gehölzansaaten zu analysieren (vgl. Kap. 4.1). Die Ergebnisse der Analyse fließen anschließend zusammen mit den anderen zuvor genannten Faktoren in die Erstellung eines standortbezogenen Verwendungsspektrums für Gehölzsansaaten ein.

Die Analyse der bodenbezogenen Standorteignung für die Verwendung von Gehölzansaaten erfolgt durch die Bildung von Hauptsubstraten, die sich nach fachlich anerkannten Bodenklassifizierungen (DIN-Normen und Richtlinien) richten (vgl. Kap. 4.2). Das Ergebnis dieser Analyse stellt eine Bewertungsmatrix dar, mittels derer die Eignung eines Hauptsubstrats als Pflanzenstandort und für die Durchführung einer Gehölzansaat abgelesen werden kann. Eine Trennung dieser beiden Aspekte ist - wie bereits aus den Kapiteln 4 und 7.2 hervorgegangen - notwendig, da ein guter Pflanzenstandort nicht zwangsläufig auch die gute Eignung des Bodens für eine Gehölzansaat bedeutet (vgl. Tab. 40).

Die Klassifizierung in Bodenarten erfolgt gemäß DIN 18196 nach Korngrößenverteilung und den damit verbundenen Eigenschaften der Böden wie Scherfestigkeit, Erosionsgefährdung und bautechnische Eignung als Straßen- und Bahndamm. Generell lässt sich hiervon ableiten, dass starkbindige Böden, welche sich vor allem aus feinkörnigen Böden wie Ton zusammensetzen, aus bodenmechanischen Gesichtspunkten nicht für Gehölzansaaten auf oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen geeignet sind. Das liegt u.a. daran, dass Tone stark plastisch sind und sich je nach Bodenfeuchte andere Böschungsneigungen einstellen können (vgl. Kap. 4.2).

Die bodenmechanischen Grenzen der standörtlichen Verwendungsbereiche von Gehölzansaaten lassen sich durch die Transformation von DIN-Normen (DIN 18915; 18918) und Richtlinien (RAS-LG 3) für die Erstellung des Standortspektrums ableiten. Bei den ökologischen Faktoren muss auf wissenschaftliche Erkenntnisse der Forschung zurückgegriffen werden. Wie bereits beschrieben, muss der Boden durchwurzelbar und für die Pflanze Wasser- und Nährstoff verfügbar sein. Bei reinem Fels, reinem Sand und Böschungen aus starkbindigen Böden ist das nicht der Fall, wie es auch Untersuchungen aus der Praxis zeigen. Bei Böschungen aus Sand ist es leicht möglich, durch Zuschlagstoffe den Gehölzen einen geeigneten Standort zu schaffen (vgl. Kap. 4.5). Bei Böschungen aus reinem Fels und Ton ist dies nicht möglich.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 40: Für Gehölzansaaten an Böschungen mit Neigungswinkel 1 : 2 bis 1 : 1,5 geeignete Bodensubstrate (eigene Darstellung; vgl. Kap. 4.1; BLOEMER 2003; DIN 18196:2006-06; DIN 18915:2002-08).

Haupt-substrate	Kurzzeichen nach DIN 18196	Korndurch-messer (mm)	Bindigkeit (Plastizität)	Gruppen laut DIN 18915	Erosions-anfälligkeit	Nährstoffgehalt	Nutzbare Feld-kapazität	Bewertung	
								Pflanzen-standort	Gehölz-ansaat
Humoser Oberboden	h		hoch		mäßig - hoch	hoch	hoch	++	-
Ton	TL, TM, TA	< 0,002	hoch (hohe)	8	hoch	hoch	gering	-	-
Schluff	UL, UM	0,002 - 0,063	hoch, rollig (niedrige)	8	hoch	mittel - hoch	mittel	+-	+-
Lehm	GU, SU, SL, TS, GT	versch.	niedrig - hoch	4, 5, 6, 7, 8, 9	gering - mäßig	mittel - hoch	hoch	+	+-
Sand	SE, SW	0,063 - 2	nicht bindig (keine)	2	gering	gering	gering	+-	+
Kies / Grus	SI, GE, GI	2 - 63	nicht bindig (keine)	3	gering	mittel	mittel	+-	+
Schotter	GW	63 - 200	nicht bindig (keine)	3	gering	mittel	mittel	+-	+
Kluftiger Fels		> 200	nicht bindig (keine)	10	gering	gering	gering	-	+-

Legende: ++ sehr geeignet, + geeignet, +- bedingt geeignet, - ungeeignet

Die in der Tab. 40 dargestellten Hauptsubstrate sind lediglich eine grobe übergeordnete Einteilung von Böden. Die Eigenschaften eines Bodens hängen im Wesentlichen davon ab, wie viel Anteile von einem bestimmten Substrat in einem Boden gefunden werden. So kann bzw. Kalkmergel je nach Ton-, Schluff- oder Lehmanteil einer bestimmten Substratgruppe zugeordnet werden und sich für eine oder auch keine Begrünung mittels Gehölzansaat eignen. Stark tonhaltige Mergel eignen sich beispielsweise nicht für die Gehölzansaat. Das Gleiche gilt für die Einlagerung von Tonschichten in einem Bodenprofil. Sind diese jedoch nur in einem gewissen Maß vorhanden, ist die Böschung für eine Begrünung mittels Gehölzansaat geeignet. Ggf. muss in diesem Fall geprüft werden, ob zum Erhalt der Böschungssicherheit eine Kombination mit anderen ingenieurbiologischen Sicherungsmaßnahmen notwendig ist (vgl. Kap. 4.6). Zudem ist auf den beschriebenen Böschungsstandorten eine funktionstüchtige Entwässerung unverzichtbar (vgl. Kap. 4.2).

Aufgrund der Böschungssicherheit und aus ökologischen Aspekten kommen nur Böschungen mit nichtbindigen, schwachbindigen und bindigen Böden (mit Einschränkun-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

gen) für die Begrünung mittels Gehölzansaat infrage (vgl. Kap. 4.1). Des Weiteren kann eine felsige Böschung mit ausreichend Spalten für die Anreicherung von Wasser und Nährstoffen, solange sich diese im stabilen Zustand befindet, mittels einer Gehölzansaat begrünt werden. Eine südexponierte Einschnittsböschung aus porösem Kalkstein ist beispielsweise natürlicher Standort des Felsenbirnen-Gebüsches (vgl. Kap. 4.3). An Einschnittsböschungen über spaltenfreiem Gestein sollte von einer Begrünung zudem auch aus erosionsschutztechnischen Gründen abgesehen werden, denn hier ist eine stabile Wurzelverzahnung mit dem anstehenden Gestein nicht möglich.

Auf kalkreichen nichtbindigen Böden mit geringem Wasserspeichervermögen, auf denen es zur Kalkausfällung und zur Bildung von verhärteten Kalkhorizonten kommen kann, wird das energische Tiefenwachstum der Wurzeln verhindert, wobei hier vor allem Kräuter und Stauden betroffen sind (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 2002). Auf solchen Böschungsstandorten würde sich langfristig ein Gebüsch einstellen, hier ist also die Etablierung von Gehölzen zu bevorzugen.

Rein aus ökologischen Aspekten scheint die Gehölzansaat auch auf organischen Böden, also Oberboden, problematisch, da sich aufgrund der hohen Nährstoffverfügbarkeit viele Gehölzarten gegen Gräser und Kräuter nicht durchsetzen können (vgl. Kap.4.1). Aus diesen Gründen ist humoser Oberboden für die Begrünung mittels Gehölzansaat ungeeignet (vgl. Tab. 40).

Laut REBELE (2009) findet über nährstoffarmen Standorten wie Sand und kiesigem Sand im Zuge der Sukzession eine rasche Dominanz von Gehölzen statt. Hier kann sich bereits nach 10 - 15 Jahren eine Baumschicht ausbilden. Auch über mäßig nährstoffreichen Standorten ist bei sequenzieller Sukzession nach annuellen, krautigen ausdauernden Arten mit der Etablierung von Gehölzen zu einer Vorwaldentwicklung zu rechnen. Diese beiden Böden eignen sich also für eine Gehölzansaat, jedoch ist hier langfristig eine Waldentwicklung zu erwarten, wobei an einer Verkehrswegeböschung mit Pflegeeingriffen diesem entgegengewirkt werden kann. Auf nährstoffarmen Extremstandorten wie trockenen südexponierten Böschungen ist aufgrund von gehemmter Gehölzentwicklung und langsamen Lebenszyklen mit wenigen Pflegeeingriffen zu rechnen (vgl. REBELE 2009). Hier stellt sich als langfristige Zielvegetation ein Gebüsch trockenwarmer Standorte ein (vgl. Kap. 4.3).

Für die Gehölzansaat geeignete Böden sind demnach nichtbindige Böden wie Kies, Sand und Schotter und bindige Böden wie Lehm und Schluff (vgl. Tab. 40). Welches das richtige Vegetationsziel für eine bestimmte Böschung ist, wird biotoptypenbasiert anhand bestimmter Standortparamenter entschieden. Das erste Entscheidungskriterium ist die Bodenchemie (pH-Wert), danach folgen Parameter wie Exposition, Neigung und Bodenart (bindig, nichtbindig) zur Einschätzung, ob es sich um einen trockenwarmen oder mesophilen Standort handelt. Das folgende Standortspektrum beinhaltet alle wichtigen

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Standortparameter (pH-Wert, Exposition und Bodenfeuchte) für eine Straßenböschung mit einer Neigung von 1 : 1,5 - 2 (vgl. Abb. 64). Die für den Straßenbau typische Neigung von 1 : 1,5 liegt etwas unterhalb dieses für die Wärmeentwicklung durch Sonneneinstrahlung optimalen Neigungsbereiches zwischen 1 : 1,7 - 2,8, bzw. 20 - 30°. Aus diesem Grund umfassen die nach Abb. 64 in zwei Gruppen unterteilten Böden (bindig, nichtbindig) im Zusammenhang mit der jeweiligen Böschungsexposition ohne Angabe der Neigung ein sehr großes Zielbiotoptypenspektrum.

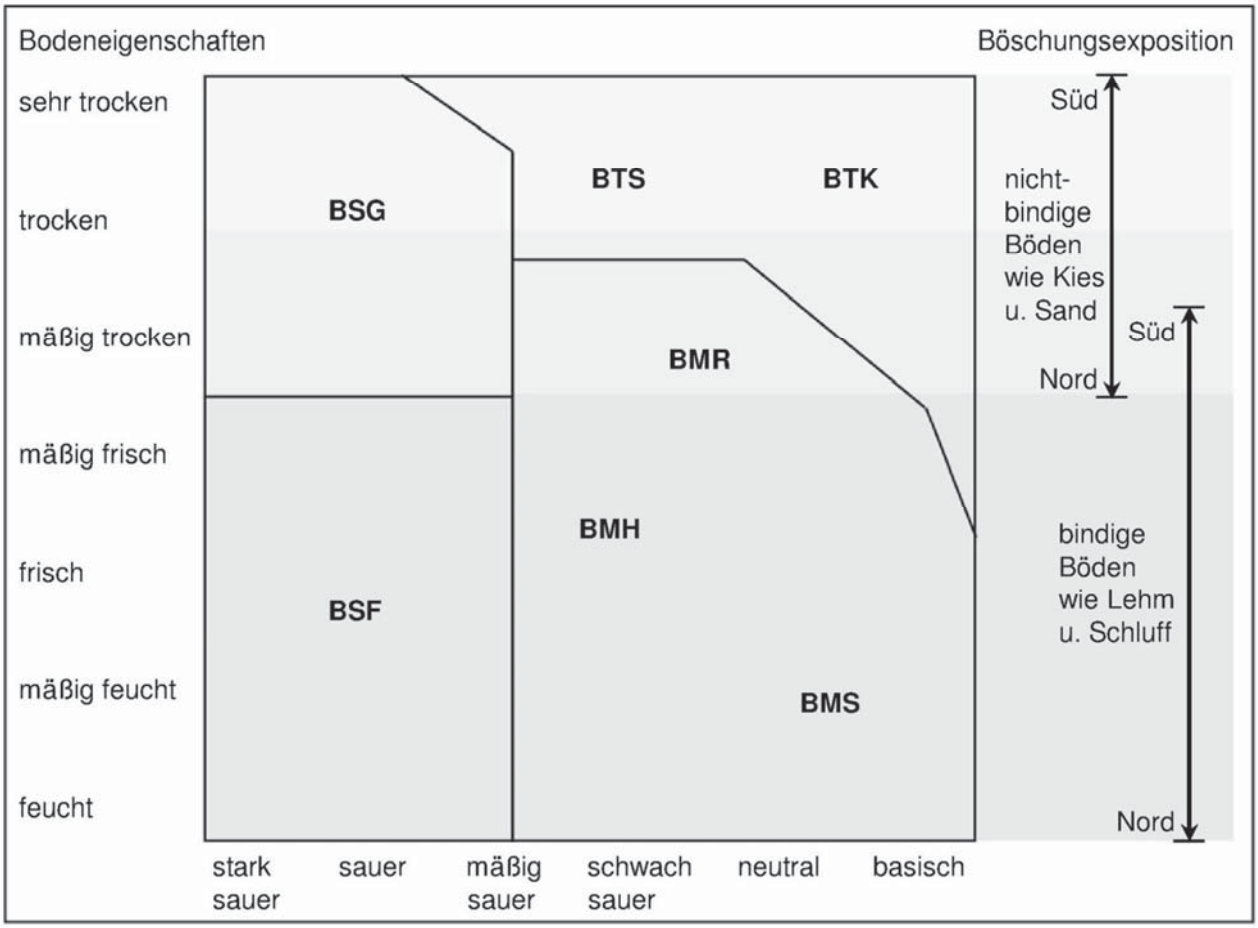


Abb. 64: Standortspektrum zur Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation von Gehölzansaaten in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Exposition (eigene Darstellung in Anlehnung an ELLENBERG 1996; WEBER 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8 Diskussion und Handlungsempfehlungen

8.1 Anforderungen an die Begrünungspraxis mit Gehölzansaaten

Die Anforderungen an Gehölzansaaten basieren vor allem auf Funktion (Böschungssicherheit) und Wirkung (Begrünungserfolg). Weitere in dieser Dissertation behandelte und untersuchte Ansprüche an die Verkehrswegebegrünung sind von naturschutzfachlicher und ökonomischer Art. Im Folgenden wird die in Kap. 5 getroffene Schlussfolgerung der Literaturauswertung zu möglichen Synergien zwischen den verschiedenen Anforderungen an Gehölzansaaten anhand der Untersuchungsergebnisse der vorherigen Kap. 6 und 7 überprüft.

8.1.1 Böschungssicherheit und Erosionsschutz

Die Böschungssicherheit an Verkehrswegeböschungen ist u. a. mit Einstellung der Regelböschungsneigung bereits vor einer möglichen Begrünung mittels Gehölzansaat gegeben. Eine Begrünung dient somit zunächst nur dem Schutz vor Oberflächenerosion und darf die Böschungsstabilität und Straßenverkehrssicherheit im Laufe der Sukzession nicht negativ beeinflussen. Der auf Kap. 4.3 basierende, in Kap. 4.6 getroffene Ansatz, dass die Entwicklung eines naturnahen Gebüschs durch eine Ansaat die Böschungsstabilität sogar noch erhöhen kann, wird durch die Evaluationsergebnisse bestätigt bzw. es wird diesen Annahmen nicht widersprochen. Die im Zuge der Untersuchung durchgeführten Wurzelausgrabungen am Autobahnkreuz Leipzig Süd (vgl. Kap. 6.6) belegen, dass eine artspezifische Ausprägung gemäß der in Kap 4.6.1 entwickelten drei Wurzelstrategien stattfindet und sich darüber hinaus interspezifische Wurzelverzahnungen einstellen.

Einschränkend ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Bestätigung der hinsichtlich der Wurzelverzahnung im naturnahen Gehölzbestand getroffenen Annahmen lediglich anhand eines Untersuchungsbeispiels erfolgte. Die Wurzelausgrabung einer zwar häufig beobachteten Artenkombination (*Rosa canina* und *Cornus sanguinea*) auf einem bestimmten Standort ist nicht aussagekräftig genug, da es sich bei der einen untersuchten Wurzelverzahnung auch um einen „Ausreißer“ handeln könnte (vgl. Kap. 6.6). Dass diese an der Oberfläche häufige Artenkombination eine ähnliche unterirdische Wurzelausprägung hat, kann zwar angenommen werden, jedoch bleibt eine sichere Bestätigung dieser Hypothese aus, da der untersuchte Böschungsabschnitt mit der Andeckung eines - vor allem in Hinblick auf die Gefügestruktur und den pH-Wert - völlig anderen Substrats eigentlich nicht auf eine natürlich gewachsene Böschung übertragbar ist, obgleich sich hier vergleichbare artspezifische Wurzelausprägungen feststellen ließen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dennoch kann die im Kap. 5 getroffene Schlussfolgerung, dass in jedem naturnahen Gebüsch ausreichend verschiedene Gehölzarten vorhanden sind, die standortabhängig im Bestandsdruck unterschiedliche Wurzelstrategien zur stabilen Verzahnung ergreifen, bestätigt werden.

8.1.2 Naturschutz

Das naturschutzfachliche Interesse liegt, wie bereits erwähnt, ebenfalls an der Erreichung eines möglichst naturnahen Vegetationsziels, welches in Hinblick auf die Artenzusammensetzung auf den gesetzlich eingebundenen Biotoptypen basieren sollte (vgl. DRACHENFELS, v. 2012; Kap. 4.3).

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen die in Kap. 5 getroffene Annahme, dass das Zulassen der Sukzession von Entwicklungsbeginn an den Bestand eine nahezu natürliche Entwicklung ermöglicht. So vereinfachen lockere lichte Gebüsche beispielsweise die Naturverjüngung und den Diasporeneintrag gebietstypischer Arten benachbarter Bestände. Durch artspezifische, stark standortabhängige Keimungseigenschaften, Naturverjüngung und Diasporeneintrag entwickelt sich eine heterogene Altersstruktur (vgl. Kap. 6.1).

Ausschreibenden Straßenbaubehörden wird durch die Verwendung von Gehölzansaaten die Möglichkeit gegeben, naturschutzfachlichen Ansprüchen durch projektbegleitende Kompensationsmaßnahmen an straßenbegleitenden Böschungsflächen - außerhalb des Intensivpflegebereiches - vor allem im Bereich der Wiederherstellung des Landschaftsbildes gerecht zu werden (BMVBS 2011). Zur Wiederherstellung des Landschaftsbildes kann eine Gehölzansaat jedoch erst frühestens nach 10 Jahren Entwicklungszeit beitragen. Um diese Entwicklungszeit zu verkürzen, könnten neben der Ammensaat mit weiteren Kombinationsmaßnahmen zur schnellen Etablierung von Gehölzen auf einer stabilen Böschung gearbeitet werden. Eine Möglichkeit wäre die zumindest teilweise Verwendung von direkt keimfähigem Saatgut (vgl. KAUSCH 2011). Darüber hinaus könnten zusätzlich verstreut gruppenweise wurzelnackte Forstgehölze (1 - 3 jährige Sämlinge) auf die Böschungsfläche gebracht werden. Hierbei kann der ab 2020 vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Verwendung von regionalem Material zum Schutz und Erhalt der Biodiversität Folge geleistet werden (vgl. BNatSchG 2010; BMU 2012).

Darüber hinaus können gemäß den Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP) - im Einzelfall - durch die Anlage von Straßenbegleitgrün auch geringerwertige Biotopfunktionen kompensiert werden. Dies könnte beispielsweise in Form eines mittels Gehölzansaat begrünten trockenwarmen Gebüsches erfolgen (BMVBS 2011). Jedoch stellt sich die Frage, ob es wirklich ein naturschutzfachliches Ziel sein kann, dem Straßenbau, indem Straßenbegleitgrün an Straßenböschungen - wenn auch nur in Einzelfällen - als wertvolles Biotop angesehen wird, einen Teil

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

der durch einen Eingriff entstandenen Ausgleichsverpflichtungen abzunehmen. Denn bei zumindest zum Verkehrsweg ausgerichteten Böschungen muss immer berücksichtigt werden, dass die Biotopfunktion beispielsweise als Lebensraum für bestimmte Tierarten aufgrund der Beeinträchtigungen durch die Straße nur begrenzt erfüllt werden kann (vgl. ELLENBERG & STOTTELE 1994). Ein hohes Potenzial zur Entwicklung naturschutzfachlich wertvoller Biotope, die als Ausgleichsflächen außerhalb des von der Straße beeinflussten Bereiches verwendet werden können, bietet die Methode der Gehölzansaat aber allemal.

8.1.3 Ökonomie

In Kap. 4.7 wird dargelegt, dass es sich bei der Gehölzansaat nicht nur bei der Ausführung um eine kostengünstige Begrünungsmethode handelt. Die in den Evaluationen beobachteten naturnahen Vegetationsentwicklungen in Bezug zum zeitlichen Aspekt unterstreichen, dass es sich hierbei um wenig pflegebedürftige Bestände und somit um eine langfristig kostengünstige Begrünungsmethode in der Unterhaltung handelt. Aus diesem Grund sollte bei Ansaatmischungen gerade auf Vorwaldstandorten möglichst auf großwüchsige, pflegebedürftige Gehölzarten zugunsten von kleinwüchsigen Sträuchern verzichtet werden, so dass ein langfristiges Gebüschstadium erhalten werden kann.

Ein weiterer ökonomischer Aspekt, der bereits bei der Herstellung für eine Gehölzansaat spricht, ist die Möglichkeit, auf leicht zugänglichen Verkehrswegeböschungen eine großflächige und dadurch im Vergleich zu anderen Begrünungsmethoden kostengünstigere Nassansaat durchführen zu können. Für die Nassansaat spricht zudem, dass durch die Möglichkeit, verschiedene Rezepturmischungen anzuwenden, optimal auf unterschiedliche Standorte eingegangen und dadurch unnötigen Gehölzausfällen vorgebeugt werden kann (vgl. Kap. 4.5). So orientieren sich Ansaatmischung in Bezug auf die Artenwahl und Menge an der naturnahen Zielvegetation und Rezeptur der Hilfsstoffe vor allem an den Standortbedingungen einer Böschung (vgl. Kap. 4.5). Die optimale Saatgutmenge oder Saatstärke einer Art basiert auf den Keimungsprozenten sowie dem Tausendkorngewicht in g (vgl. FGSV 1983; Tab. 46 im Anhang). Demnach müssen von Gehölzarten, die niedrige Keimungsraten aufweisen und/ oder ein hohes Tausendkorngewicht haben, mehr Saatgut in g/ m² in die Mischung gegeben werden als von gut keimenden Arten mit leichtem Saatgut. Insgesamt sollte die Ansaatmischung für Gehölze in einem Rahmen von 10 - 12 (15) g Saatgut pro m² liegen (BRÜCKNER 2000; BLOEMER 2003). Da bei diesen Angaben weder die Dominanzen einzelner Arten noch die artspezifischen Keimungsraten und das Korngewicht näher berücksichtigt werden, ist anzunehmen, dass in diesem Fall eine Artendifferenzierung der Sukzession überlassen wird.

Die DIN 18918 schreibt für Gehölzansaaten eine Regelmenge von 500 - 700 Gehölzsamen pro m² vor. Ob diese den Angaben von 10 - 15 g Saatgut pro m² entsprechen, hängt, wie bereits erwähnt, stark von Tausendkorngewicht und der Keimungsraten der

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

verwendeten Gehölzarten ab. Problematisch ist hierbei, dass es eine z. T. große Spannweite bei der Angabe des Tausendkorngewichts einzelner Arten in der Fachliteratur gibt und die Angaben für artspezifische Keimfähigkeiten von baumschulgärtnerischen Erfahrungen und optimaler Saatgutvorbehandlung abgeleitet werden (vgl. FGSV 1983; BÄRTELS 1996, 2008; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000; Kap. 44; Tab. 46). Darüber hinaus müssen bei der Bemessung der artspezifischen Saatgutstärken die Standortbedingungen Berücksichtigung finden. Demnach sollten Böschungsstandorte mit von vornherein optimalen Standortbedingungen für Gehölze mit deutlich weniger Saatgutmengen auskommen als beispielsweise Gehölzgrenzstandorte. Bezüglich der standortbezogenen artspezifischen Ansaatstärke und regionaler klimatischer Unterschiede gibt es daher noch umfassenden Forschungsbedarf. Unter dem Aspekt, dass die Kombination von einer Hundsrose und einem Hartriegel ausreicht, um auf Kalkschotter ca. 2 m² Böschungsfläche durch Ausläuferbildung vor oberflächennaher Erosion zu schützen, erscheint selbst die Mengenangabe von 500 - 700 Gehölzsamen pro m² als derzeit noch zu hoch bemessen (vgl. Kap. 6.6).

Der unzureichende Forschungsstand bezüglich der Ansaatstärken von Gehölzen und die dadurch in der heutigen Praxis hohen verwendeten Saatgutmengen sind ökonomisch gesehen eher ein Schwachpunkt der Methode, da insbesondere regionales Saatgut sehr wertvoll sein kann und eine Vermehrung in der Baumschule laut KAUSCH (2013) daher der sicherere Weg der Etablierung ist. Darüber hinaus haben sich in Ansaatversuchen der optimale Ausbringungszeitpunkt und die Witterungsverhältnisse im Ansaatjahr als noch wichtiger als die Zusammensetzung der Ansaatmischung und Aussaatmenge erwiesen (KAUSCH 2013).

8.1.4 Begrünungserfolg

Die Evaluationsergebnisse bestätigen die Annahme, dass ein auf den jeweiligen Standorten naturnahes Gebüsch am besten an die Standortbedingungen angepasst ist und zum langfristigen sicherungstechnischen, naturschutzfachlichen und ökonomischen Begrünungserfolg führt. Die bei den Ansaaten ausgebrachten, dem naturnahen Gebüsch fremden, nicht standortgerechten Arten erwiesen sich als langfristig nicht geeignet und sind größtenteils auf den evaluierten Böschungen ausgefallen (vgl. Kap. 6, 7.2). Diesbezüglich muss darauf hingewiesen werden, dass es auch Arten gibt, die zwar gebüschfremd, aber standortgerecht sind. Hierbei handelt es sich um schnellwüchsige Rohbodenpioniere, die - je nach Konkurrenzstärke - teilweise im Laufe der Sukzession von für das jeweilige Gebüsch charakteristischen Arten verdrängt werden können (vgl. Kap. 4.3, 4.4). Mit Hilfe konkurrenzschwacher Pioniergehölze ist eine Standortvorbereit-ung für die spätere Zielvegetation möglich, indem u. a. eine allmähliche Besiedlung von Ektomykorrhiza-Pilzen über den Wurzelbereich der fakultativ mykotrophen Pioniergehölze ermöglicht wird (MEYER 1978). Dieses Ammenprinzip wird bereits bei Beisaat-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

mischungen mit konkurrenzschwachen Kräutern und annuellen Gräsern verfolgt (vgl. Kap. 4.5.3). In der Praxis birgt die Verwendung von einigen Ammenarten ein hohes Fehlerpotenzial, da diese noch unzureichend in Hinblick auf interspezifische Allelopathien und Konkurrenzen erforscht sind (vgl. ebd.).

Die in Kap. 5 gezogene Schlussfolgerung, dass die Gehölzansaat eine gute Kombinationsmöglichkeit der drei bereits genannten Anforderungen ist, wird demnach unter dem Aspekt, dass alle Anforderungen an die Böschungsbegrünung ein naturnahes Gebüsch als Vegetationsziel verfolgen, von den Evalutionsergebnissen bestätigt.

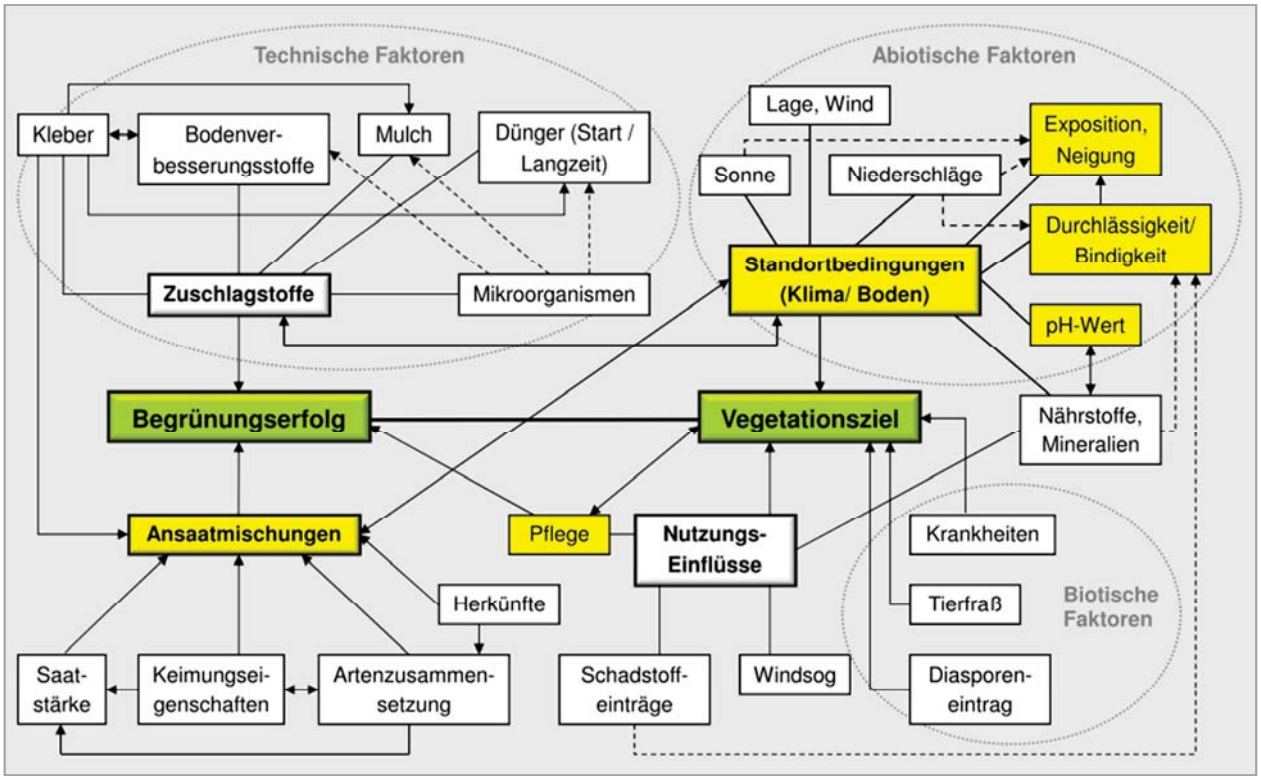


Abb. 65: Komplexität des ingenieurbiologischen Wirkungsgefüges Begrünungserfolg - Vegetationsziel unter Berücksichtigung der vielfachen Anforderungen an Funktion und Wirkung von Gehölzansaaten (eigene Darstellung).

Im Verlauf dieser Arbeit mit ingenieurbiologischer Aufgabenstellung wird häufig von Begrünungserfolg und Vegetationsziel gesprochen. Der Begrünungserfolg setzt lediglich eine Vegetationsentwicklung auf den Böschungsflächen voraus; das Vegetationsziel eine bestimmte. Beide Begrifflichkeiten stammen ursprünglich aus verschiedenen Fachdisziplinen (Begrünungspraxis und Renaturierungsökologie) und haben eine ähnliche Bedeutung, da beide zumindest die Zielsetzung verfolgen, dass überhaupt eine Vegetationsentwicklung auf den Flächen stattfindet (vgl. Abb. 65). Die Ingenieurbiologie als Themenfeld der Landschaftsplanung übernimmt in diesem Fall die Vermittlungsfunktion. Der Begrünungserfolg beschreibt die praktische, das Vegetationsziel die naturschutz-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

fachliche Herangehensweise. Da in dieser Arbeit beide Herangehensweisen und Blickwinkel miteinander verknüpft werden, sind Aspekte beider Arbeitsgebiete sowie deren komplexe Zusammenhänge und Wechselwirkungen bei der Methode der Gehölzansaat berücksichtigt worden (vgl. Abb. 65.).

Die Überschneidung der Standortbedingungen an Böschungen (Kap. 4.1) und den standortbezogenen Grenzen von Gehölzansaaten (Kap. 4.6) bietet erste Grundlagen zur Erstellung eines Standortspektrums von Gehölzansaaten. Eine Auswertung dieses neuen Forschungsansatzes erfolgte anhand der Evaluationsergebnisse. So bestätigt sich beispielsweise in Kap. 7.3 die Hypothese, dass primäre Standortfaktoren und komplexe Faktorengruppen die Standortbedingungen einer Böschung und somit die Vegetationsentwicklung maßgeblich mitbestimmen. Die Auswertung der Evaluationsergebnisse führte zudem zu einer Gewichtung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Vegetationsentwicklung. Bei den am stärksten die Vegetationsentwicklung beeinflussenden Faktoren handelt es sich hierbei um die Standortbedingungen, die Zusammensetzung der Ansaatmischungen sowie die Intensität und Häufigkeit der Pflege (vgl. Abb. 65).

Von den Standortbedingungen können pH-Wert, Exposition, Neigung und Wasserspeicherfähigkeit als die Bestandsentwicklung wichtigsten prägenden Faktoren benannt werden. Anhand dieser Standortfaktoren kann bereits im Planungsprozess analysiert werden, welche biotoptypenbasierte Zielvegetation sich vermutlich einstellen wird. Dies ermöglicht den Planenden, mit technischen Möglichkeiten wie geeigneten Ansaatmischungen und Zuschlagstoffen zu reagieren. Ansaatmischungen und Zuschlagstoffe haben den Vorteil, dass sie variierbar sind und dadurch optimal auf die herrschenden Standortbedingungen abgestimmt werden können, sofern sie fachlich richtig eingesetzt werden. Die zum Zeitpunkt der Planung herrschenden Standortbedingungen werden in diesem Fall als nicht veränderbare abiotische Faktoren angesehen. Biotische Faktoren wie Tierfraß, Krankheiten und Diasporeneintrag liegen größtenteils nicht im Ermessensspielraum der Planenden. Nutzungseinflüsse wie Schadstoffeinträge, Pflege und Windsog sind anthropogenen Ursprungs und können somit bei der Planung berücksichtigt werden können.

Die Anordnung der Standortfaktoren in Abb. 65 ist nicht hierarchisch erfolgt, wobei, wie bereits erwähnt, die die Standortbedingungen prägenden Parameter Exposition/ Neigung pH-Wert und Bindigkeit auf die Vegetationsentwicklung - je nach Standort - stärker als Klimaeinflüsse wirken (vgl. Kap. 7.3).

Der Einfluss der abiotischen Faktoren Niederschläge, Nährstoffe/ Mineralien und Schadstoffeintrag auf die Standortbedingungen ist stark von der Puffer- und Filterfunktion (Durchlässigkeit/ Bindigkeit) des Bodens abhängig (vgl. Abb. 65). Die Strahlungsintensität der Sonne auf die Böschung ist stark abhängig von Exposition und Neigung. Die Sonneneinstrahlung wirkt daher indirekt durch die Exposition und Neigung auf die

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Standortbedingungen einer Böschung ein (vgl. Kap. 4.2.1). Die Faktoren Nährstoffe/ Mineralien und pH-Wert beeinflussen sich insofern gegenseitig, da je nach pH-Wert des Bodens bestimmte Mineralien schneller gelöst werden als andere, dabei kommt es ggf. zu einer Veränderung des pH-Wertes (vgl. Kap. 6.6.). Bei der Kalkung bzw. Melioration von sauren Böden wie in Bergbaufolgelandschaften ist dies beispielsweise der Fall (vgl. STOLLE 2006a).

In Abb. 65 ist zwischen Vegetationsziel und Pflege die komplexe Wechselwirkung dargestellt, denn einerseits richtet sich die Art und Weise der Pflege am Vegetationsziel aus und anderseits wird das Vegetationsziel nur durch fachlich angemessene Pflegemaßnahmen erreicht (vgl. Kap. 8.1.3).

Im Bereich der technischen Möglichkeiten befinden sich alle für den Begrünungserfolg einer Gehölzansaat erforderlichen Zuschlagstoffe, wobei eine Mikroorganismen-Inokulation nur bei der Verwendung von obligat mykotrophen Arten unverzichtbar ist und bei fakultativ mykotrophen Arten - wenn aufgrund der Standortbedingungen erwünscht - zur Wachstumsförderung eingesetzt werden kann (vgl. MEYER 1978; SCHLÜTER 1996). Der Einfluss von Mikroorganismen auf Mulch, Dünger und Bodenverbesserungsstoffe erfolgt indirekt, da ein Mikroorganismenübertrag im frischen Mulch, über organischen Dünger und auch in, als Bodenverbesserungsstoff eingesetzten, Humusbestandteilen möglich ist (vgl. SCHLÜTER 1996; TSCHIRNER 2003; TISCHEW et al. 2006). Bei den Parametern Kleber und Bodenverbesserungsstoffe kann es sich um den gleichen Stoff wie Alginat handeln, der beide Funktionen erfüllt. In Abb. 65 ist daher diese Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren dargestellt. Laut FGSV (1991) müssen biochemische Bindemittel sowie synthetische Haft- und Klebstoffe, die der Oberflächensicherung dienen, in biologischer und physiologischer Hinsicht unbedenklich sein. In den derzeit gültigen RAS-LG 3 ist jedoch Bitumenemulsion als chemisches Binde- bzw. Haftmittel aufgeführt (FGSV 1983). Bitumenemulsion ist ein Erdölprodukt, dessen Verwendung an Böschungen eigentlich im Widerspruch zu den Aussagen des Merkblatts für einfache landschaftsgerechte Sicherungsbauweisen steht (vgl. FGSV 1991; SCHLÜTER 2000; BLOEMER 2003). In der DIN 18918 werden für die Ansaat als geeignete Kleber Zellulose-Wasser-Gemische, Kunststoffkleber, Methyl-Zellulose und Flüssig-Alginate angegeben. Neuere Untersuchungen im Rahmen von Dachbegrünungen weisen Klebern auf Kunststoffbasis eine keimungshemmende Wirkung nach. Lediglich eine Kunststoffdispersion erreichte gute Keimungsraten. Weiterhin sind die guten Keimungserfolge der natürlichen Bodenfestiger auf Basis von Alginaten hervorgehoben worden (EPPEL 2009). Die Richtwerte für die Aufwandmengen zur Bemessung von Bodenhilfsstoffen orientieren sich in der DIN 18918 an den Standortansprüchen zur optimalen Entwicklung von Gräsern, Kräutern und Leguminosen. Dies ist unter dem Aspekt, dass Gehölze vor allem an die Nährstoffverfügbarkeit eines Standortes andere Ansprüche stellen, nicht unerheblich für die Erreichbarkeit des Begrünungserfolges (vgl. Kap. 7.3). Die Ausführungen machen

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

deutlich, dass bei der RAS-LG 3 ebenso wie bei der DIN 18918 dringender Überarbeitungsbedarf besteht (vgl. BLOEMER 2003; Kap. 4.5.3, 6).

Als problematisch kann die gleichzeitige Verwendung von Steinschlagschutznetzen aus Metall und Gehölzansaaten gesehen werden. Nach ZTV La-StB 05 sollen nicht begrünte Flächen nach dem Verlegen der Netze angesät werden. Hierbei wird nicht berücksichtigt, dass durch die Metallnetze ein fachgerechtes Aufbringen einer Mulchschicht aus Stroh auf die Böschung erschwert werden könnte. Darüber hinaus könnten in das Erosionsschutznetz eingewachsene und instabil gewordene Gehölze die Verkehrssicherheit gefährden. Die Kombination von Steinschlagschutznetzen und Ansaat sollte daher bei Gehölzen untersagt und bei Kräutern sowie Gräsern nur unter Vorbehalt gestattet werden (vgl. BMVBS 2005; Kap. 6.2).

Der Begrünungserfolg hängt, neben der standortbezogenen Rezeptur der Zuschlagstoffe, stark von der Zusammensetzung der Ansaatmischung ab. Das Vegetationziel wird anhand der Standortbedingungen und, um dieses zu erreichen, einer geeigneten Ansaatmischung ausgewählt. Folglich bestimmen die Standortbedingungen die Artenwahl und mithilfe der Zuschlagstoffe wird ein Gehölzstandort, der den Keimungsbedürfnissen der in der Zielvegetation vorkommenden Arten entspricht, geschaffen.

In Abb. 65 sind Wechselwirkungen zwischen Keimungseigenschaften und Artenzusammensetzung dargestellt, die u. a. dadurch bedingt sind, dass bei einer Zusammenstellung einer standortbezogenen Ansaatmischung artspezifische Keimungseigenschaften berücksichtigt werden müssen. Mögliche Wirkungen der Artenzusammensetzung auf die Keimungseigenschaften können in Form von Keimhemmungen durch Allelopathien auftreten (vgl. Kap. 4.6.1). Artenzusammensetzung und Keimungseigenschaften sollten aus diesem Grund auch nicht bei der Bemessung der Saatgutstärke einzelner Arten außer Acht gelassen werden.

Zum Erhalt der Biodiversität müssen Gehölzherkünfte sowie gebietstypische und regionale Unterschiede - gleicher Biotoptypen - bei der Artenzusammensetzung der Ansaatmischungen Berücksichtigung finden (vgl. Kap. 4.4.1).

8.1.5 Biotoptypenbasiertes Standortspektrum

Das in Kap. 7.3 entworfene Standortspektrum zur Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation von Gehölzansaaten orientiert sich ebenso wie die Untergliederung der Biotoptypen nach DRACHENFELS, v. (2011) an Standortbedingungen. Der stärkste die Vegetationsentwicklung prägende Faktor ist die Bodenchemie, in diesem Fall sind es die pH-Werte. So stellen sich, wie in Kap. 4.3 vermutet, auf bodensauren Böden in Hanglage lediglich zwei Biotoptypen ein. Das Ginstergebüsch (BSG) ist vor allem auf trockenwarmen sonnigen Standorten, das Faulbaumgebüsch (BSF) auf frischen schattigen Standorten verbreitet.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Auf leicht sauren bis alkalischen Böschungsstandorten verhält sich die Vegetationsausprägung komplexer. Hier wird die Aussage, dass sich auf sonnenseitig exponierten Böschungen wärmeliebende Gebüsche (BT) ausprägen, nur zum Teil bestätigt (vgl. Abb. 64). Aufgrund dessen sollten bindige und nichtbindige Böden, nicht nur aus Gründen der Böschungssicherheit, getrennt voneinander betrachtet werden (vgl. Kap. 4.2; SPUNDFLASCH 2000). Die Vegetationsentwicklung wird in gemäßigt warmen Klimaregionen ohne größere Trockenzeiten wie in Deutschland im Wesentlichen in Abhängigkeit von Exposition, Neigung und Wasserspeicherkapazität des Bodens beeinflusst (vgl. Kap. 7.3, Abb. 64). So stellen sich auf Böschungen mit nichtbindigen durchlässigen leicht sauren bis alkalischen Böden in Sonnenlage nahezu immer wärmeliebende Gebüsche (BT) ein. Bei bindigen Böden in gleicher Lage können sich lediglich bei Neigungen mit für die Wärmentwicklung optimalem Sonneneinstrahlwinkel (20 - 30°) wärmeliebende Gebüsche (BT) etablieren. Ähnliches wurde in Kap. 7.2 bei Böschungen mit West- oder Ostexposition beobachtet. Befinden sich in dieser Lage bindige Böden, so ist bei allen Neigungen mit der Entwicklung eines mesophilen Gebüsches (BM) zu rechnen. Ist hier bei einer Neigung von 20 - 30° ein durchlässiges nichtbindiges Bodensubstrat vorhanden, kann sich durchaus noch ein wärmeliebendes Gebüsch entwickeln. Bei einer Begrünung auf solchen Übergangsböschungen und kleinräumigem Wechsel der Standortbedingungen sollte bei der Gehölzauswahl darauf geachtet werden, dass in der Ansaatmischung immer Arten beider Biotoptypen in ausreichender Menge vorhanden sind. Zudem sind die in beiden Zielbiotoptypen vorkommenden Arten mit einem großen Standortspektrum für den großräumigen heterogenen Begrünungserfolg unerlässlich.

In den Ergebnissen der Evaluationen wird zudem deutlich, dass der alle Ansprüche umfassende Begrünungserfolg von Gehölzansaaten sehr stark vom Fachwissen der ausführenden Firma abhängig ist (vgl. STOWASSER 2011). So zeigte sich bei einigen Böschungsevaluationen, dass die Fehlerquellen vor allem bei der Ermittlung der Zielvegetation und der dazugehörigen Artenwahl, der standortspezifischen Zusammenstellung der Hilfsstoffe und möglicherweise bei der Ausführung der Gehölzansaat lagen.

Weiterhin ist es möglich, dass direkt nach der Aussaat für die Keimung und Entwicklung von Gehölzen ungünstige Witterungsbedingungen wie Trockenheit und Fröste herrschen, die einen eingeschränkten Begrünungserfolg oder sogar Misserfolg hervorrufen können. Diesem unabhängig von der fachlich richtigen Ausführung einer Gehölzansaat stehenden Ausfallquotienten kann z. T. durch umsichtige Nachsorge noch während der Fertigstellungpflege entgegengewirkt werden. Gemeint ist hierbei beispielsweise eine Bewässerung bei lang anhaltender Trockenheit direkt nach der Ansaat, bis die Gehölzsämlinge eine ausreichend lange Pfahlwurzel ausgeprägt haben. Für eine ausreichende Bewässerung muss, wenn bei einer Frühjahrsaussaat stratifiziertes Saatgut verwendet worden ist, das ganze Sommerhalbjahr über gesorgt werden. Bei unstratifiziertem Saatgut gestaltet sich die Planung einer Bewässerung zum richtigen Zeit-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

punkt als sehr kompliziert, da eine mögliche Verzögerung der Keimung nicht genau bestimmt werden kann. Zudem erfolgen die Keimungsverzögerungen bis hin zum Überliegen des Saatguts artspezifisch, so dass eine Bewässerung möglicherweise nur die Entwicklung einzelner Arten fördert. Für Böschungsstandorte mit besonderer Anfälligkeit für klimatische Extreme kann auch bereits während der Planung beispielsweise mittels einer mächtigeren Mulchschicht Vorsorge getroffen werden. Ebenfalls könnte die Verschiebung des Ansaattermins in eine günstigere Jahreszeit, wie beispielsweise in den September (vgl. SKIRDE 1984), in Erwägung gezogen werden. Dies ist allerdings nur ratsam, wenn bereits frisches Saatgut verfügbar ist. Bei einer hohen Gehölzausfallrate einer Ansaat kann zudem auch eine Nachsaat, bevor der Standort durch Fortschreiten der Sukzession von Gräsern und Kräutern dominiert wird, durchgeführt werden.

Die Hypothese, dass das Vegetationsziel sich von der Artenzusammensetzung her an naturnahen Gebüschen wie Biotoptypen und Gesellschaften orientieren sollte, bestätigt sich insofern im Rückschluss, als auf nahezu allen evaluierten Böschungen eine sukzessive Entwicklung dorthin zu erkennen ist. Zu beobachten ist zudem, dass diese Entwicklung deutlicher und schneller ausgeprägt ist, wenn eine fachlich richtige Begrünung mit entsprechender Ansaatmischung und Hilfsstoffrezeptur ausgeführt wurde.

Es zeigt sich, dass bei fachlich richtiger Umsetzung die Gehölzansaat ein vergleichsweise aussichtsreiches Begrünungsverfahren für extreme Böschungsstandorte darstellt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.2 Methodenkritik

Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfolgte verbal-argumentativ und nicht statistisch. Gegen eine quantitative statistische Auswertung sprach die Anzahl der ausgewerteten Böschungsevaluationen. Zudem war eine statistische Auswertung basierend auf einem einheitlichen Versuchsaufbau - aufgrund der vielen unterschiedlichen Ausgangssituationen an den untersuchten Böschungen - nicht möglich. Neben unterschiedlichen Standortbedingungen, dem Alter der Ansaaten und Unterschieden in den Rezepturen der Ansaatmischungen (Artenwahl und Hilfsstoffe) zählt die Tatsache, dass die für die Gesamtauswertung herangezogenen Böschungsevaluationen ursprünglich von mehreren verschiedenen Forschern und Forscherinnen z. T. unter anderen Aspekten analysiert worden sind, zu den Unsicherheitsfaktoren und möglichen Fehlerquellen.

Die fehlende Einheitlichkeit des Untersuchungsgegenstands dieser Arbeit ist vor allem darin begründet, dass bereits bestehende Böschungen ausgewertet worden sind. Die Untersuchung unterschiedlicher Sukzessionsstadien an gleichen Böschungen war, aufgrund der relativ langsamen Entwicklung (Keimung, Wachstum) von angesäten Gehölzbeständen, nicht möglich. Entwicklungsbegleitende langwierige Untersuchungen dieser Art sind nur im zeitlichen Rahmen eines Forschungsprojektes durchführbar.

Bei der Begrünungsfehleranalyse wurden die Hilfsstoffmischungen der Ansaaten mit einem sich bei einer Begrünungsfirma bewährten Rezepturvorschlag verglichen, der auf keine genauen gesetzlichen Vorgaben basiert. Hierbei muss aber auch erwähnt werden, dass die einschlägigen Richtlinien und Normen zur Ingenieurbiologie und Böschungsbegrünung zu allgemein sind und nicht genau auf die Bedürfnisse von Gehölzansaaten eingehen. Aus diesem Grund erscheint es vertretbar, basierend auf Erfolgsreferenzen des BLOEMER-Begrünungsvorschlags, welche anhand von Böschungsevaluationen nachgewiesen wurden, die im wesentlichen Begrünungserfolge dokumentieren (vgl. Kap. 6.2), diesen als Standard zur Erreichung des Begrünungserfolgs vorauszusetzen.

Die BRAUN-BLANQUET-Methode stellte sich bei jüngeren Ansaatflächen als weniger aussagekräftig heraus. Hier hätte das Auszählen von Sämlingen in mehreren kleineren Parzellen auf einer Ansaatfläche möglicherweise genauere Ergebnisse erbracht.

Bei der Erstellung des Standortspektrums zur Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation von Gehölzansaaten in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Exposition sind beispielsweise im Bereich bodensaurer Standorte kaum Böschungsevaluationen durchgeführt worden. Bei zwei evaluierten Böschungen, die nicht mittels einer entsprechenden bodensauren Ansaatmischung begrünt worden sind, handelt es sich daher bei der Definition der biotoptypenbasierten Zielvegetation um eine durch den Einbezug von Fachliteratur begründeten Annahme (vgl. Kap. 6.4).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.3 Biotoptypenbasierte Gehölzansaatmischungen

Bei der Verwendung von regionalem Saatgut von Gräsern und Kräutern sind bereits wichtige Schritte zur Umsetzung des naturschutzfachlichen Biodiversitätsgedankens gemacht worden. Derzeit entwickelt beispielsweise die „Regiosaatgut“- Arbeitsgruppe der FLL ein Regelwerk zur Zusammenstellung von bestimmten Regiosaatgutmischungen.

Zudem wird durch die am 06.12.2011 in Kraft getretene Erhaltungsmischungsverordnung (ErMiV) für Gräser und Kräuter bereits eine gesetzliche Handhabung geboten, um den naturschutzrechtlichen Aspekten gerecht zu werden (vgl. Kap. 4.4). Auch bei der Verwendung von Gehölzansaaten an Verkehrswegeböschungen könnten Erhaltungsmischungen einen wichtigen Beitrag zum naturschutzfachlichen Begrünungserfolg leisten. Biotoptypenbasierte Erhaltungsmischungen zur Etablierung eines bestimmten naturnahen Gebüschs bieten den großen Vorteil, dass sie, bevor sie auf den Markt gebracht werden, zunächst einer Genehmigung bei der zuständigen Behörde vor dem erstmaligen Inverkehrbringen bedürfen (vgl. ErMiV 2011). Die zuständige Behörde fungiert in diesem Fall als ein naturschutzfachliches Kontrollgremium, ähnlich wie bei einer Zertifizierung einer bestimmten Ansaatmischung. Als problematisch bei der Umsetzung der ErMiV bei Gehölzen ist jedoch die Verfügbarkeit nach 22 Herkunftsregionen von regionalem Gehölzsaatgut anzusehen (vgl. ebd.). Im BMU-Leitfaden (2012) ist für Feldgehölze ein Ausschreibe-Minimum von nur sechs Herkunftsgebieten empfohlen, welches nach der Übergangsfrist nach BNatSchG bis 2020 erfüllt werden soll. Derzeit können lediglich einzelne Forstgehölze, die bereits dem FoVG unterliegen, den Ausschreibeempfehlungen nach BMU (2012) Folge leisten. Laut Kausch (2012) bestehen in Sachsen-Anhalt momentan noch Probleme, an herkunftszertifiziertes Gehölzsaatgut zu kommen. Einzelne Saatgutfirmen haben in ihren neuen Katalogen bereits eine gewisse Anzahl von Feldgehölzen (21) nach sechs Herkunftsgebieten, die nicht dem FoVG unterliegen, mit in ihr Angebotssortiment übernommen (vgl. Rieger-Hofmann 2012). Die Umsetzung der ErMiV für Gehölze auf Basis von sechs Herkunftsgebieten wäre aus der Sicht des Naturschutzes und der Gewährleistungsfähigkeit der Begrünungsfunktion eine Erfolg versprechende Verordnung.

Bei der Zusammenstellung von Erhaltungsmischungen oder zertifizierten Gehölzansaatmischungen nach sechs Herkunftsgebieten müssen die in Kap. 7.3 genannten, die Zielvegetation bestimmenden Standortfaktoren berücksichtigt werden, um den naturschutzfachlichen Begrünungserfolg zu erreichen. Weiterhin empfiehlt es sich, bei einzelnen standortbezogenen Ansaatmischungen aufgrund der hohen artspezifischen Ausfallquoten bei der Keimung, die vor allem durch die Vielzahl von artspezifischen Ansprüchen an die Keimungsbedingungen bedingt sind, auf eine hohe Artenanzahl zurückzugreifen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Des Weiteren sollte gerade bei Böschungsstandorten, die sich in Übergangsbereichen zwischen Gebüschen trockenwarmer Standorte (BT) und mesophilen Gebüschen (BM) befinden, auf Arten, die in beiden Gebüschtypen vorkommen und über eine große Standortamplitude verfügen, zurückgegriffen werden. Gehölze mit einem großen ökologischen Standortspektrum vermögen zudem besser mit Standortveränderungen, die beispielsweise durch eine Klimaveränderung hervorgerufen werden könnten, umzugehen. Es empfiehlt sich daher auf allen schwach sauren bis alkalischen Standorten, eine Grundsaatgutmischung, bestehend aus kleinwüchsigen anspruchslosen Gehölzarten wie *Cornus sanguinea*, *Lonicera xylosteum* (eingeschränkte Verbreitung in Region 1 und 2), *Prunus spinosa, Rosa canina* und *Sorbus aucuparia*, anzuwenden (vgl. Kap. 6, 7.2; Kiermeier 1988).

Auf dieser Grundmischung aufbauend könnten dann die für den Standort typischen Arten in BT- und BM- Ansaatmischungen zusammengestellt werden, sofern sich der Böschungsstandort deutlich in einer der beiden übergeordneten Kategorien einordnen lässt. Ist dies nicht der Fall, müssen in der Ansaatmischung typische Arten beider Standorte enthalten sein, was zu einer sehr hohen Artenanzahl in der Mischung führen wird, die aber auch beim zu erwartenden Ausfall einiger Arten den Begrünungserfolg langfristig erhalten kann.

Auf großwüchsige, pflegeintensivere Gehölze zum langfristigen Erhalt der Verkehrssicherung wird aus ökonomischen Gründen in den biotoptypenbasierten Ansaatmischungen verzichtet (vgl. Kap. 4.7, 8.1). Zudem gelangen Bäume wie *Acer* sp., *Carpinus betulus, Fraxinus excelsior, Prunus avium* und *Tilia* sp. häufig durch Diasporeneintrag aus benachbarten Beständen auf die Flächen. Bei der Verwendung von *Carpinus betulus* ist außerdem eine Impfung des Bodens mit Ektomykorrhiza notwendig (vgl. Kap. 4.5.3). Zur Förderung des Wachstums und der Wurzelentwicklung bei fakultativ mykotrophen Gattungen wie *Corylus, Crataegus, Malus, Prunus, Pyrus* und *Sorbus* kann - je nach Standortbedingungen und Entwicklungsziel - die Einbringung von Mykorrhiza-Pilzen sinnvoll sein. Bei Böschungsstandorten mit weniger extremen Standortbedingungen und dementsprechend zu erwartender Vorwaldentwicklung sollte jedoch, zur Vermeidung eines erhöhten Pflegeaufwandes, auf die Verwendung zusätzlicher wachstumsfördernder Mikroorganismen verzichtet werden (vgl. Kap. 8.1.4).

Die Gattung *Rubes* gelangt neben Diasporeneintrag auch durch die vegetative Vermehrungsmethode und gleichzeitige Raumerschließung mittels Ausläuferbildung in die Flächen. Weiterhin spricht gegen die Verwendung von *Rubes* sp. in Saatgutmischungen der Erhalt der genetischen Artendiversität und der damit verbundene Schutz der gebietseigenen Sippen. Gleiches gilt für die Gattungen *Crataegus* und *Rosa*, wobei auf Rosenarten aufgrund der guten biotechnischen Eigenschaften und relativ hohen Keimzuverlässigkeit nicht verzichtet werden kann (vgl. Kap. 4.4.1; Weber 2003).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten, die als Überträger von Getreiderost und Feuerbrand gelten wie *Beberis vulgaris* und *Crataegus* sp. sollten nur unter starkem Vorbehalt mit in die Ansaatmischungen aufgenommen werden, wenn es sich um Böschungsstandorte in nicht betroffenen Gebieten handelt und eine Übertragung ausgeschlossen werden kann (vgl. Kap. 4.4.2; Tab. 46 im Anhang).

Weiterhin sind Arten mit großen Samen (Nüssen) wie *Corylus avellana* aus Gründen der beschränkten Eignung für die Ausbringung mittels Hydroseeder nicht in den Saatgutmischungen zu finden. Eine händische Ausbringung dieser Arten kann jedoch bei Bedarf separat erfolgen (vgl. Kap. 4.4.2).

Bei den meisten in Kap. 6 und 7 evaluierten Böschungsflächen zeigte sich, dass angesäte Arten von *Sambucus* sp. bis auf wenige Ausnahmen ausgefallen sind oder von vornherein nicht gekeimt haben. Dies kann an der Spätfrostanfälligkeit von *Sambucus*-Saatgut oder an artspezifischen ungünstigen Keimungsbedingungen wie u. a. fehlender Beschattung und Nährstoffen (Stickstoff) sowie fehlerhafter Saatgutvorbereitung bzw. -lagerung liegen (vgl. Tab. 46 im Anhang). Aus wirtschaftlichen Gründen sollte daher auf die Verwendung von *Sambucus* sp. in einer Ansaat verzichtet werden, zumal Holunderarten häufig auch zu einem späteren Zeitpunkt in einem fortgeschritteneren sukzessiven Entwicklungsstadium, mit für diese Arten verbesserten Standortbedingungen für die Keimung, in die Flächen gelangen. Der Diasporeneintrag von Sambucus sp. erfolgt in diesem Fall mithilfe des Verbreitungsmechanismus der Endozoochorie durch Vögel (vgl. ebd; Weber 2003).

Die Verwendung von *Alnus glutinosa* ist nur bei einem bodensauren Faulbaum-Laubgebüsch (BSG) als Vegetationsziel aufgrund der relativ geringen Gehölzauswahl empfehlenswert. In einer mesophilen Laubgebüsch-Ansaatmischung sollte auf die relativ großwüchsigen Erlen aus Gründen der Pflegeintensität bei der Unterhaltung, wie bereits erläutert, verzichtet werden. Des Weiteren muss bei der Verwendung von Erlen beachtet werden, dass der Erlenpilz (Phytophtora) in einigen Regionen Deutschlands zum Absterben ganzer Erlenbestände, vor allem in Gewässernähe, führt. Die Verwendung von *Alnus glutinosa* in der Ansaatmischung muss demnach auch auf frischen bodensauren Standorten fallspezifisch abgewogen werden.

Die entwickelten biotoptypenbasierten Ansaatmischungen, die in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt werden, sind auf Basis von Gehölzartenlisten der Biotoptypenkartierungen und pflanzensoziologischer Fachliteratur hergeleitet worden. Eine Erprobung der Ansaatmischungen in der Begrünungspraxis steht noch aus. Sie bilden daher lediglich eine erste Diskussionsgrundlage, auf deren Basis zunächst umfangreiche Begrünungsversuche durchgeführt werden sollten.

Neben der Artenzusammensetzung enthalten die Ansaatmischungen Informationen zum Vorkommen der einzelnen Arten in den sechs Herkunftsregionen, deren Wurzelstrate-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

gien, biotechnischen Eigenschaften sowie Etablierungsstrategien. Hieraus ergeben sich für bestimmte Herkunftsgebiete - je nach Gehölzvorkommen - Abweichungen von der Gesamtliste der entwickelten biotoptypenbasierten Ansaatmischungen.

Empfehlungen und Lösungsansätze zur praktischen Verwendung von artspezifischem Saatgut in Bezug auf Keimungseigenschaften, Keimfähigkeit (Stratifikation), Keimzeit und geeigneten Aussaatzeitpunkt können der Tab. 46 im Anhang entnommen werden. Konkrete Saatstärken sind im Rahmen dieser Dissertation nicht ermittelt worden, da neben Tausendkorngewicht und Keimungsprozenten zur Ermittlung der artspezifischen Saatgutmengen auch die letzten Endes von den entwickelten Ansaatmischungen verwendeten Arten in Hinblick auf deren Anzahl und Zusammensetzung sowie den daraus resultierenden möglichen intra- und interspezifischen Wechselwirkungen (Konkurrenzen, Allelopathien, Synergien) im Bestand eine wichtige Rolle spielen; diesbezüglich besteht noch Forschungsbedarf.

Im Zusammenhang mit den biotoptypenbasierten Ansaatmischungen sind zunächst die in Kap. 7.3 analysierten und die die Vegetationsentwicklung am wichtigsten prägenden Standortfaktoren dargestellt.

Die folgende Legende bezieht sich auf die Artenlisten in den Kapiteln 8.2.1 bis 8.2.3.

Legende

Art: Name - Grundmischungsart, **Name** - im Biotoptyp häufig vorkommende Arten, ^ - kalkmeidende Art, * - Art mit eingeschränkter Verwendbarkeit, ° - nur bei wasserstauenden Schichten wie Ton

Vorkommen in Herkunftsregionen: 1 - Norddeutsches Tiefland, 2 - Mittel- und Ostdeutsches Tief- und Hügelland, 3 - Südostdeutsches Hügel- und Bergland, 4 - Westdeutsches Bergland und Oberrheingraben, 5 - Schwarzwald, Württembergisch-Fränkisches Hügelland und Schwäbisch-Fränkische Alb, 6 - Alpen und Alpenvorland, ( ) - Art mit eingeschränkter Verbreitung in der Herkunftsregion (vgl. Kap. 4.4.1, 7.2; Abb. 62)

Wurzelstrategien: 1 - Flachwurzler, 2 - Spaltenwurzler, 3 - Intensivwurzler (vgl. Kap. 4.6.1)

Biotechnische Eigenschaften: aw - Adventivwurzelbildung, vs - Verschüttungsresistenz, sta - Stockausschlag, bt - Biegsamkeit der Triebe, wfs - Widerstandsfähigkeit gegen Steinschlag

Etablierungsstrategien: L - Lichtholzart, H - Halbschattenart, RBP - Rohbodenpionier, WP - Waldpionier, ( ) - mögliche standortabhängige Etablierungsstrategie

Literaturverweise in der Kopfzeile: [1] - vgl. BfN 2012; BMU 2012, [2] - vgl. Kiermeier 1988; Schlüter 1990; Timmermann 1994; Kutschera & Lichtenegger 2002; Hacker & Johannsen 2012, [3] - vgl. Schlüter 1990; Hacker & Johannsen 2012, [4] - vgl. Kiermeier 1988; Bartels 1993; Timmermann1994; Weber 2003

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.3.1 Laubgebüsch trockenwarmer Standorte (BT)

Voraussetzung: Basische bis schwach saure Böden

Möglichkeit 1: Durchlässige, nichtbindige Böden, Exposition: Sonnig (Ost, Südost, Süd, Südwest), Neigung: nicht relevant

Möglichkeit 2: Bindige Böden, Exposition: Sonnig, Neigung: 20 - 30°

Tab. 41: Artenliste zur Zusammenstellung einer BT-Ansaatmischung (vgl. OBERDORFER 1992b; PREISING et al. 2003; WEBER 2003; LUBW 2009; DRACHENFELS, v. 2011).

Art	Vorkommen in Herkunftsregionen[1]	Wurzel-strategien[2]	Biotechnische Eigenschaften[3]	Etablierungs-strategien[4]
Amelanchier ovalis	(2),3,4,5,6	1,2	aw, sta	L
Beberis vulgaris*	3,4,5,6	2,3	aw, vs	L
Cornus sanguinea	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta	L, H
Cotoneaster integerrimus	(2),3,4,5,6	1	aw, vs	L, RBP
*Corylus avellana**	1,2,3,4,5,6	3	aw, vs, sta, bt, wfs	L, H, RBP
*Crataegus sp.**	1,2,3,4,5,6	2	aw, vs, sta	L, H, RBP
Ligustrum vulgare	3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta, (bt), wfs	L, H, RBP
Lonicera xylosteum	3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta, wfs	H
Malus sylvestris	1,2,3,4,5,6	1	sta, wfs	L
Prunus mahaleb	(1),2,3,4,5,6	3	aw, vs, sta	L
Prunus fruticosa	(2),4,5	1	aw	L
Prunus spinosa	1,2,3,4,5,6	1,2	aw, vs, sta	L, (H), RBP
Pyrus pyraster	1,2,3,4,5,6	1,2	sta, wfs	L, H
Rhamnus cathartica	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, (sta)	L, (H)
Rosa agrestis	(1),2,(3),4,5,(6)			L
Rosa canina	1,2,3,4,5,6	1,2	aw, vs, sta, wfs	L, (H), RBP
Rosa caesia (coriifolia)	1,2,3,4,5,6	1		L, (H)
Rosa corymbifera	1,2,3,4,5,6			L, (H)
Rosa vosagiaca	(1),2,3,4,5,6	2		L, H, RBP
Rosa elliptica	(1),2,3,4,5			L, (H)
Rosa micrantha	(1),2,3,4,5,6	1		L, (H)
Rosa pendulina^*	(1,2),3,(4),5,6	1		L, H
Rosa rubiginosa	1,2,3,4,5,6	2	vs, bt, …	L, RBP
Rosa glauca	1,2,(3),4,5,(6)	2	…, sta, wfs	L, (H)
Rosa spinosissima	1,2,(3),4,5,(6)	1,2	aw, vs, sta, wfs	L, RBP
Rosa tomentosa	1,2,3,4,5,(6)			L, H
Rosa villosa	1,2,3,4,5,6	1,2		L, H
Sorbus aria	(1,2),3,4,5,6	3	aw, vs, sta, wfs	L, WP
Sorbus aucuparia	1,2,(3),4,(5,6)	1	aw, vs, sta, wfs	L, RBP
Sorbus torminalis	5	2	aw, vs, (sta, wfs)	L
Viburnum lantana	(1,2),3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta, wfs	L
Viburnum opulus	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta	L, H

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.3.2 Mesophiles Gebüsch (BM)

Voraussetzung: Basische bis schwach saure Böden

Möglichkeit 1: Durchlässige, nichtbindige Böden, Exposition: Schattig (West, Nordwest, Nord, Nordost), Neigung: nicht relevant

Möglichkeit 2: Bindige Böden, Exposition: Sonnig, Neigung: < 20° oder > 30°

Tab. 42: Artenliste zur Zusammenstellung einer BM-Ansaatmischung (vgl. ebd.).

Art	Vorkommen in Herkunftsregionen[1]	Wurzel-strategien[2]	Biotechnische Eigenschaften[3]	Etablierungs-strategien[4]
Clematis vitalba	1,2,3,4,5,6	1	vs	L, RBP
Cornus sanguinea	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta	L, H
Corylus avellana*	1,2,3,4,5,6	3	aw, vs, sta, bt, wfs	L, H, RBP
Crataegus sp.*	1,2,3,4,5,6	2	aw, vs, sta	L, H, RBP
Euonymus europaea	1,2,3,4,5,6	3	aw, vs, sta, wfs	L, H
Frangula alnus° ^	1,2,3,4,5,6	1	aw, (vs), sta	L, H
Lonicera periclymenum ^*	1,2,(3),4,5,(6)	2		H
Lonicera xylosteum	3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta, wfs	H
Malus sylvestris	1,2,3,4,5,6	1	sta, wfs	L
Prunus spinosa	1,2,3,4,5,6	1,2	aw, vs, sta	L, (H), RBP
Prunus padus° ^	1,2,(3),4,(5,6)	1,3	aw, vs, sta	L, H
Rhamnus cathartica	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, (sta)	L, (H)
Rosa arvensis	(1,2),3,4,5,6	1,3		L, H
Rosa canina	1,2,3,4,5,6	1,2	aw, vs, sta, wfs	L, (H), RBP
Rosa corymbifera	1,2,3,4,5,6			L, (H)
Rosa vosagiaca	(1),2,3,4,5,6	2		L, H, RBP
Rosa pendulina ^*	(1,2),3,(4),5,6	1		L, H
Rosa glauca	1,2,(3),4,5,(6)	2	…, sta, wfs	L, (H)
Rosa villosa	1,2,3,4,5,6	1,2		L, H
Sorbus aria	(1,2),3,4,5,6	3	aw, vs, sta, wfs	L, WP
Sorbus aucuparia	1,2,(3),4,(5,6)	1	aw, vs, sta, wfs	L, RBP
Sorbus torminalis	5	2	aw, vs, (sta, wfs)	L
Viburnum opulus	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta	L, H

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.3.3 Bodensaures Laubgebüsch (BS)

Voraussetzung: Mäßig saure bis stark saure Böden

Möglichkeit 1: Durchlässige, nichtbindige Böden, Exposition: Sonnig, Neigung: nicht relevant - Zielvegetation BSG

Möglichkeit 2: Bindige Böden, Exposition: Schattig, Neigung: nicht relevant - Zielvegetation BSF

Möglichkeit 3: Nichtbindige bis bindige Böden, Exposition variabel, Neigung: variabel - Zielvegetation BSG oder BSF

Tab. 43: Artenliste zur Zusammenstellung einer BS-Ansaatmischung (vgl. ebd.).

Art	Vorkommen in Herkunftsregionen[1]	Wurzel-strategien[2]	Biotechnische Eigenschaften[3]	Etablierungs-strategien[4]
*Alnus glutinosa**	1,2,3,4,5,6	1,2,3	aw, vs, sta, wfs	L, H , RBP
*Corylus avellana**	1,2,3,4,5,6	1,3	aw, vs, sta, bt, wfs	L, H
Cytisus scoparius	(1),2,3,4,5	2	aw, vs	L , RBP
Frangula alnus**°	1,2,3,4,5,6	1	aw, (vs), sta	L, H
Lonicera periclymenum	1,2,(3),4,5,(6)	1,3		H
Rosa canina	1,2,3,4,5,6	1,2	aw, vs, sta, wfs	L, (H) , RBP
Sorbus aucuparia	1,2,(3),4,(5,6)	1	aw, vs, sta, wfs	L , RBP

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

9 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit stellen die hohe Komplexität der den Begrünungserfolg beeinflussenden Faktoren dar (vgl. Abb. 65), was wiederum die Wichtigkeit von genauen Handlungsempfehlungen zur fachlich richtigen Verwendung von Gehölzansaaten unterstreicht.

Die Kommunikation der bisher gesichert vorliegenden Handlungsempfehlungen an die Praxis sollte über Veröffentlichungen von Leitfäden und Handbüchern sowie Weiterbildungsseminaren von Forschungsgesellschaften wie der Forschungsgesellschaft Landschaftentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) oder der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e. V. erfolgen. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, Personen oder Begrünungsfirmen, die an Weiterbildungsseminaren teilgenommen haben oder über nachweislich hohe fachliche Kompetenzen im Bereich Gehölzansaaten verfügen, mittels eines Labels oder Zertifikats - ähnlich wie bei der Kennzeichnung von Regiosaatgut - auszuzeichnen. Weiterhin ist es unumgänglich, Richtlinien (RAS-LG 3) und Normen (DIN 18918) zu überarbeiten und auf den neusten Forschungsstand zu bringen (vgl. BLOEMER 2003; Kap. 8.1.4). Eine Möglichkeit, den Begrünungserfolg durch Gehölzansaaten mit regionalem Saatgut zu erhöhen, wäre eine staatliche Kontrolle der Verwendung von herkunftszertifiziertem Regiosaatgut nach der Übergangsfrist im Jahr 2020 (vgl. BNatSchG 2010; BMU 2012). Zudem ist eine der Gehölzentwicklung gemäße Veränderung der Ausschreibe- und Vergabebedingungen für Gehölzansaaten erforderlich. Des Weiteren empfiehlt es sich, bei der Abnahme von mittels Gehölzansaat begrünten Flächen wegen der langsamen Gehölzentwicklung zusätzliche Regelungen zu treffen als der bisherigen in der DIN 18918. Hiernach ist der abnahmefähige Zustand bereits erreicht, wenn die Ausbringung ordnungsgemäß erfolgt und die Zwischenansaat gleichmäßig aufgelaufen ist. Die Gehölzentwicklung wird hier in keiner Weise berücksichtigt, und bei einem Komplettausfall der Gehölze ist zwei Jahre nach Abnahme niemand haftbar (vgl. BMVBS 2005). Besser wäre es, wenn nach der technischen Abnahme der ordnungsgemäßen Ausbringung eine erfolgsbasierte Abnahme nach einem Entwicklungszeitraum von drei Jahren erfolgen würde. Im Rahmen dieser erfolgsorientierten Abnahme könnte beispielsweise festgelegt werden, dass 50 % der angesäten Arten (von mind. zwölf verschiedenen Arten bei BT- und BM-Ansaatmischungen) mit einer vegetativen Gehölzdeckung von mind. 20 % aufgelaufen sein müssen. Als problematisch ist bei diesem Vorschlag anzusehen, dass die ausführende Begrünungsfirma erst drei Jahre nach der Ausführung ihre Bezahlung erhalten würde. Darüber hinaus können sich in den drei Jahren beispielsweise witterungsbedingte Gehölzausfälle einstellen, für die die Begrünungsfirma nicht haftbar gemacht werden kann. Eine weitere Lösung wären mögliche Nachsaaten oder -pflanzungen, die nach der ordnungsgemäßen Abnahme der Ansaat gemäß DIN 18918 von der Begrünungsfirma, welche vertraglich mit der Entwicklungs- und Unterhaltungspflege beauf-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

tragt ist, ausgeführt werden könnte. Aufgrund der sehr langen Entwicklungszeiträume (über 10 Jahre) können sich allerdings Probleme bei der Praktikabilität ergeben. Zudem erscheinen Nachsaaten nur sinnvoll, wenn sich zwischenzeitlich keine Konkurrenzvegetation angesiedelt hat. Hierbei muss im Einzelfall die weitere Vorgehensweise geprüft werden.

Für die Erhöhung der Akzeptanz von Gehölzansaaten kann neben der Formulierung von genauen Handlungsempfehlungen die Verbesserung der visuellen Wahrnehmung einer Gehölzansaat - von Entwicklungsbeginn an - als präsente Begrünungsform entscheidend sein. Eine Möglichkeit wäre die Verkürzung der relativ langen Gehölzentwicklungszeit mittels Kombinationsmaßnahmen wie einer teilweisen Verwendung von stratifiziertem Saatgut und/ oder einer gruppenweisen Initialpflanzung von Sämlingen (Forstware) (vgl. Kap. 8.1.2).

Zur Förderung der Verwendung von Gehölzansaaten in der Begrünungspraxis besteht - trotz der in dieser Arbeit nahezu durchgängig vorgewiesenen Begrünungserfolge - noch Forschungsbedarf hinsichtlich gegenseitiger Beeinflussung von Gehölz- sowie Pflanzenarten, einer möglichen Zwischenbegrünung, der Saatmengen, der an einen bestimmten Böschungsstandort angepassten Zuschlagstoffe sowie der standort- und bestandsbezogenen Pflegeintensität. Informationen zu Empfehlungen für die optimale Vorbehandlung bzw. Lagerung von geerntetem Saatgut und zu den am besten geeigneten Aussaatzeitpunkten können für bestimmte Biotoptypen anhand des Artenvorkommens aus der Tab. 46 im Anhang abgeleitet werden. Bezüglich der artspezifischen Keimungseigenschaften unter Freilandbedingungen besteht noch Forschungsbedarf. Weiterhin besteht dringender Forschungsbedarf hinsichtlich der genauen Vegetationsausprägungen bei bodensauren Laubgebüschen, da aufgrund der geringen Anzahl an Flächenevaluationen lediglich Vermutungen angestellt und keinerlei aussagekräftige Rückschlüsse gezogen werden können. Ähnliches gilt für die biotechnischen Eigenschaften und Wurzelstrategien vieler Wildrosenarten. Zudem sollten die in Kap. 8.3 vorgeschlagenen biotoptypenbasierten Gehölzansaaten anhand von Forschungsversuchen mit einem homogenen Versuchsaufbau bzw. einheitlichem Forschungsdesign erprobt werden. Diese Feldversuche müssen langfristig auf einen Untersuchungszeitraum von mind. 15 Jahren angelegt werden, um normalen Pflegezyklen gerecht zu werden und naturnahe Sukzessionsvorgänge dokumentieren zu können.

Zur Bestimmung des Pflegezeitpunktes und der Pflegebedürftigkeit von Gehölzbeständen an Verkehrswegeböschungen bieten terrestrische Laser, welche bislang auch zur Erfassung der durch Durchwurzelung erreichten Böschungsstabilität erprobt wurden (vgl. Kap. 4.6.2; SCHWARZ et al. 2008; GÄRTNER et al. 2009), die Möglichkeit einer großflächigen Untersuchung. Der Vorteil eines 3-D-Laserscanning liegt darin, dass die Struktur der Gehölzbestände mittels weniger Scanpunkte erfasst und dadurch, ohne eine Ve-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

getationsaufnahme durchführen zu müssen, die Pflegebedürftigkeit zum Erhalt der Straßenverkehrssicherheit einfach ermittelt werden kann.

Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten zur weiterführenden Forschung ist es naheliegend, Untersuchungen über den Rahmen dieser Dissertation hinaus fortzusetzen. Erneute Bestandsaufnahmen der bereits evaluierten Böschungsflächen Pforzheim, Heidkopftunnel, Bernser Landwehr und Leipzig im weiteren Entwicklungsverlauf der Sukzession sind bereits vorgesehen. Beim Aichelbergaufstieg sollte die Unterhaltungspflege aufgrund des hohen Bestandsalters im Untersuchungsfokus liegen. Hierfür erscheint eine Kontaktaufnahme mit der zuständigen Autobahnmeisterei und ggf. der Einsatz eines terrestrischen Lasers notwendig.

Zudem sollte mit weiteren auf diesem Themengebiet forschenden Einrichtungen Kontakt aufgenommen werden. Die Hochschule Anhalt führt beispielsweise momentan auf Konversionsflächen in Dessau-Roßlau entsprechende Ansaatversuche durch. Als weitere für die Begrünungsmethode der Gehölzansaat in Betracht kommende Standorte bieten sich die im Zuge von Flächenumnutzungen, wie durch Abrissmaßnahmen, neu entstandenen Freiflächen, die kostengünstig ohne Oberbodenandeckung oder andere Standortverbesserungen begrünt werden sollen, an. Auch oberbodenlose Lärmschutzdämme wären für die Gehölzansaat geeignete Standorte.

Neben sicherungstechnischen, naturschutzfachlichen und ökonomischen Vorteilen der Gehölzansaat gegenüber anderen Bauweisen sprechen auch weitere positive Aspekte für die Verwendung von Gehölzansaaten. Auch kann die relativ einfache Übertragbarkeit dieser Bauweise auf andere Regionen in der Welt mit einem ähnlichem wie dem in dieser Forschungsarbeit analysiertem Spektrum von Standorten hervorgehoben werden (vgl. HACKER & WERPUP 2006, 2008). Hierbei muss lediglich mit anderen der in den jeweiligen Regionen heimischen Arten, die ähnliche biotechnische Eigenschaften aufweisen, gearbeitet werden. Die Zusammensetzung der Zielvegetation muss sich dann an den gebietstypischen Gebüschen und Biotoptypen orientieren. Gibt es in der jeweiligen europäischen Region keine mit den Biotoptypen vergleichbare Einteilung, können ggf. die Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-RL eine Orientierungshilfe geben.

Das Thema Gehölzansaaten ist auch nach Abschluss dieser Arbeit noch nicht ausgeschöpft. Grundlagenforschungen zu diesem Themenkomplex können nicht nur der ingenieurbiologischen Begrünungspraxis, sondern auch verwandten Disziplinen wie Vegetationsmanagement und Renaturierungsökologie wertvolle Erkenntnisse liefern. Weiterhin Forschung auf diesem Gebiet zu betreiben, ist demnach erstrebens- und lohnenswert.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

10 Literaturverzeichnis

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2009): Klimadaten. Hg. v. Stadt Pforzheim. Pforzheim. Online verfügbar unter http://www.pforzheim.de/umwelt-natur/luft-und-klima/klimadaten-fuer-pforzheim.html, zuletzt geprüft am 03.02.2009.

ARGE (2006): 285 Begrünungsarbeiten. Projekt 72298 A8 AS Wurmberg: ANONYMUS, 17.08.2006 (umgesetzt).

ARGE (k. A.): A 38 Friedland – Heidkopf. Nachtrag Nr. 11: ANONYMUS (umgesetzt).

ANONYMUS (2008a): BAB A2, Duisburg - Hannover, Bernser Landwehr. Aktenzeichen: KST 718002. Begrünungsrezeptur zu Pos. 00.02.0016. ANONYMUS (04.07.2008).

ANONYMUS (2008b): BV BAB A2, Duisburg - Hannover, Bernser Landwehr Nachtragsangebot. ANONYMUS (19.08.2008).

BALDER, H. (1998): Die Wurzeln der Stadtbäume. Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz. Berlin: Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag.

BARTELS, H. (1993): Gehölzkunde. Einführung in die Dendrologie. Stuttgart: Ulmer.

BÄRTELS, A. (1996): Gehölzvermehrung. Stuttgart: Ulmer.

BÄRTELS, A. (2008): Gehölzvermehrung. Aussaat, Veredlung, Steckholz, Stecklinge. Stuttgart: Ulmer.

BEEK, L. P. H. van; WINT, J.; CAMMERAAT, L. H. & J. P. EDWARDS (2005): Observation and simulation of root reinforcement on abandoned Mediterranean slopes. In: *Plant and Soil* 278, S. 55–74.

BEGEMANN, W. & H. M. SCHIECHTL (1994): Ingenieurbiologie. Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. Wiesbaden, Berlin.

BFN (2010): Textsammlung Naturschutzrecht. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter http://www.bfn.de/0506_textsammlung.html, zuletzt geprüft am 01.03.2010.

BFN (2012): FloraWeb. Artensteckbriefe. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter http://www.floraweb.de, zuletzt geprüft am 13.02.2012.

BISCHOFF, A. (2009): The role of seed provenance in ecological restoration. In: SER (Hg.). SER Summer School. RESTORATION ECOLOGY 2009. Species introduction and management of biodiversity in restoration projects. Münster: Working Group Ecosystem Research. University of Münster.

BLOEMER, S. (2003): Zum Problem korrekturbedürftiger Ausschreibungstexte. Am Beispiel ingenieurbiologischer Sicherungen und Begrünungen durch Nassansaaten nach DIN 18918. In: *Neue Landschaft* 1/03, S. 45-52.

BLOEMER, S. (2008): Ingenieurbiologie und Klimawandel – worauf sich Planer und Unternehmen einstellen müssen. In: *Neue Landschaft* 8/08, S. 46-53.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

BLOEMER, S. (2009): Pflanzen auf Verkehrswegeböschungen. Ingenieurbiologie im Spannungsfeld zwischen Funktionalität und Naturschutz. In: *Praxis der Naturwissenschaftlichen Biologie in der Schule* 5/58, S. 8-13.

BLOEMER, S. (2010): Gehölzansaaten - stratifiziertes Saatgut, 21.05.2010. E-Mail an A. WERPUP.

BMU (2012): Leitfaden zur Verwendung gebietseigener Gehölze, Januar 2012: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

BMELV (2003): Verwendung einheimischer Gehölze regionaler Herkunft für die freie Landschaft. Ein Beitrag zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

BMELV (2011): Verordnung über das Inverkehrbringen von Saatgut von Erhaltungsmischungen (Erhaltungsmischverordnung). ErMiV (06.12.2011): Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

BMVBS (2005): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Landschaftsbauarbeiten im Straßenbau. ZTV La-StB 05: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

BMVBS (2009): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdbauarbeiten im Straßenbau. ZTV E-StB 09: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

BMVBS (2011): Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau. RLBP: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

BOLLENHAGEN, U. (2003): Erfolgskontrolle von Gehölzansaaten in Baden-Württemberg am Beispiel der Versuchsfläche Steinsfurt-Sinsheim. Diplomarbeit. Universität Hannover. Institut für Landschaftspflege und Naturschutz. Hannover (unveröffentlichte Diplomarbeit).

BREUNING, T.; SCHACH, J. & P. BRINKMEIER (2002): Gebietsheimische Gehölze in Baden-Württemberg. Das richtige Grün am richtigen Ort. Karlsruhe: LfU LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (Naturschutz-Praxis, Landschaftspflege).

BRIEGEL, A. (2011): Langelsheim, 09.06.2011. Telefonisch mit A. WERPUP.

BRIEGEL, A. (2012): Langelsheim, 16.04.2012. Telefonisch mit A. WERPUP.

BRÜCKNER, K. (1995): Schwerpunktthema Ingenieurbiologie. Sichere Fahrt durch Pflanzen. In: *Landschaftsarchitektur* 04/95, S. 17-19.

BRÜCKNER, K. (2000): Gehölzansaaten auf Autobahnböschungen in Baden-Württemberg. In: E. HACKER & R. JOHANNSEN (Hg.): Ingenieurbiologie. Sicherungen an Verkehrswegeböschungen, Bd. 9. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie; S. 379-391.

BRÜCKNER, K. (2008): Gehölzansaaten und -pflanzungen an Autobahnböschungen_Saatgut Aichelberg, 15.02.2008. E-Mail an A. WERPUP.

BRÜCKNER, K. (2010): Aichelbergaufstieg, 07.05.2010. E-Mail an A. WERPUP.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

DACHROTH, W. R. (2002): Handbuch der Baugeologie und Geotechnik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

DEGES (2011): VDE Nr. 13. A 38 Göttingen - Halle (Verkehrsprojekte Deutsche Einheit). Online verfügbar unter http://www.deges.de/Projekte/VDE-Strasse/Uebersicht-K116.htm, zuletzt geprüft am 15.05.2011.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2009): Klimakarten. Normalperiode (Klimakarten)/ Monatswerte der Station 10727 Karlsruhe (Klimadaten ausgewählter deutscher Stationen). Online verfügbar unter http://www.dwd.de/, zuletzt geprüft am 13.03.2009.

DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. Stuttgart: Eugen Ulmer.

DIN 18915:2002-08: Bodenarbeiten. Vegetationstechnik im Landschaftsbau.

DIN 18918:2002-08: Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen. Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen, Bauweisen mit lebenden und nicht lebenden Soffen und Bauteilen, kombinierte Bauweisen. Vegetationstechnik im Landschaftsbau.

DIN 18919:2002-08: Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen. Vegetationstechnik im Landschaftsbau.

DIN 18196:2006-06: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

DRACHENFELS, O. v. (2011): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie. Hannover: Nds. Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz.

DRACHENFELS, O. v. (2012): Biotoptypen als Erfassungs- und Bewertungseinheiten von Naturschutz und Landschaftsplanung. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 44 (12), S. 357-366.

DUTHWEILER, H. (1967): Lebendbau an instabilen Böschungen. Erfahrungen und Vorschläge. Verlag, Kirschbaum. Bad Godesberg (Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen).

ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

ELLENBERG, H. & T. STOTTELE (1994): Möglichkeiten und Grenzen der Sukzessionslenkung im Rahmen straßenbegleitender Vegetationsflächen. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 459: Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg.

ENGELHARD, J. (2010): Erfahrungen mit stratifiziertem Saatgut bei Gehölzansaaten, 24.06.2010. E-Mail an A. WERPUP.

EPPEL, J. (2009): Was leisten "grüne Kleister"? In: *Veitshöchheimer Berichte* 131, S. 11-16.

FGSV (1983): Richtlinien für die Anlage von Straßen. Teil. RAS-LG 3: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

FGSV (1991): Merkblatt für einfache landschaftsgerechte Sicherungsbauweisen: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

FGSV (1993): Richtlinien für die Anlage von Straßen. Teil. RAS-LP 2: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

FGSV (1996): Richtlinien für die Anlage von Straßen. Teil. RAS-LP 1: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

FGSV (2006): Merkblatt für den Straßenbetriebsdienst - Teil Grünpflege: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

FITTER, A. (2002): Characteristics and Function of Root Systems. In: Y. WAISEL, A. ESHEL & U. KAFKAFI (Hg.): Plant roots: the hidden half. 3. Aufl. New York: M. Dekker, S. 15-32.

FLL (Hg.1998): Empfehlungen zur Begrünung von Problemflächen. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FLL (Hg.1999): Empfehlungen für besondere Begrünungsverfahren. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FLL (Hg.2004): Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen -Baumkontrollrichtlinie-. Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FLORINETH, F. (2004): Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Berlin - Hannover: Patzer Verlag.

FLOSS, R. (1985): Zur Standsicherheit von Böschungen mit Lebendverbau aus der Sicht von Bodenmechanik und Grundbau. In: W. PFLUG (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 35-49.

FLOSS, R. (2011): Handbuch ZTV E-StB 09. Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. (k. A.): Kirschbaum.

FREISTAAT THÜRINGEN (1999): Die Eingriffsregelung in Thüringen. Anleitung zur Bewertung der Biotoptypen Thüringens. (k. A.).

FRENZ, W.; HELLENBROICH, T. & B. SEITZ (2009): Anpflanzung von Gehölzen gebietseigener Herkünfte in der freien Landschaft - rechtliche und fachliche Aspekte der Vergabepraxis. Bonn: BFN (BFN-Skripten 262).

FÜRST, D. & F. SCHOLLES (Hg. 2008): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. 3. Aufl. Dortmund: Rohn.

GÄRTNER, H.; WAGNER, B.; HEINRICH, I. & C. DENIER (2009): 3D-laser scanning: a new method to analyze coarse tree root systems. In: Swiss Federal Research Institute WSL (Hg.): *Forest, Snow and Landscape Research* 82, 1: S. 95-106.

GLAßER, J. (k. A.): Der Albaufstieg am Aichelberg. Online verfügbar unter http://www.albaufstieg-aichelberg.de/index.html, zuletzt geprüft am 29.12.2010.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

GOOGLE MAPS (2012a): Friedland. Einfahrt Heidkopftunnel. Online verfügbar unter http://maps.google.de/, zuletzt geprüft am 07.02.2012.

GOOGLE MAPS (2012b): Langelsheim-Astfeld. Online verfügbar unter http://maps.google.de/, zuletzt geprüft am 07.02.2012.

GRAY, D. H. & R. B. SOTIR (1996): Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization. New York: John Wiley & Sons.

GRIME, J. P. (2001): Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. 2. Aufl. Chichester: John Wiley & Sons.

HAAREN, C. v. (Hg. 2004): Landschaftsplanung. Stuttgart: Ulmer.

HÄCKEL, H. (1985): Meterologie. Stuttgart: Ulmer.

HACKER, E. (2008): Oberbodenlose Begrünung. Modul Ingenieurbiologie. Hannover (unveröffentlichtes Manuskript).

HACKER, E. (2009): Gehölzansaaten zur ingenieurbiologischen Böschungssicherung. In: *Ingenieurbiologie* 4/09, S. 54-58.

HACKER, E.; BOLLENHAGEN, U. & A. WEISE (2001): Evaluierung verschiedener ingenieurbiologischer Sicherungs- und Begrünungsmaßnahmen unter dem Gesichtspunkt der Eingriffsregelung. Aachen (unveröffentlichtes Manuskript).

HACKER, E. & I. WREDE (2005): Nassansaaten zur Initiierung von Gehölzflächen. Auswertung 30 Jahre alter Bestände in Baden-Württemberg (unveröffentlichtes Manuskript).

HACKER, E. & A. WERPUP (2006): Steckbriefe zur Regionalisierung ingenieurbiologischer Arbeiten - dargestellt am Beispiel der Provinz Navarra/Spanien. In: B. KRAUTZER & E. HACKER (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut (Tagungsband). Raumberg-Gumpenstein, S. 248-250.

HACKER, E. & A. WERPUP (2008): Tareas en el campo de siembras y plantas idóneas para su utilización en las diferentes condiciones locales de Europa. In: *Cuadernos de Arquitectura del Paisaje* VIII, S. 122-125.

HACKER, E.; JOHANNSEN, R.; KOVALEV, N. & A. SUBATZUS (2010): Europäische Richtlinie für Ingenieurbiologie. Entwurf. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V.* 34, S. 2-50.

HACKER, E. & R. JOHANNSEN (2012): Ingenieurbiologie. Stuttgart: Ulmer UTB.

HÄHNE, K. (1985a): Die Wurzelentwicklung einiger Gehölze sowie krautiger Rohbodenpionierpflanzen am Rutschhang bei Weilerbach. In: W. PFLUG (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 260-277.

HÄHNE, K. (1985b): Wurzelentwicklung einer Salweide am Hellerbergausschnitt der A 62 bei Freisen im Saarland sowie einer Rotbuche und Traubeneiche am ungestörten Hellerberghang. In: W. PFLUG (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 220-233.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

HÄHNE, K. (1991): Der Einfluss von Gräser- und Gehölzwurzeln auf die Scherfestigkeit von Böden und damit auf die Standsicherheit von Hängen und Böschungen. Berlin: Fachbereich 14 Landschaftsentwicklung der Technischen Universität Berlin.

HANSKE, C. (1991): Verfügbarkeit, Herkünfte und Qualität von heimischem Gehölzsaatgut. Abt. Baumschule. Universität Hannover. Hannover (unveröffentlichte Diplomarbeit).

HÄRLE (1984): Sicherungsbauweisen ohne Oberboden (Anwendungsbeispiele). (k. A.).

HEIDELBERGCEMENT (k. A.): Gesäter Wald – Eine kostengünstige und ökologisch sinnvolle Rekultivierung für Kalkrohböden. Online verfügbar unter http://www.heidelbergcement.com/de/de/country/unternehmen/nachhaltigkeit/projekte/gesaeter_wald.htm, zuletzt geprüft am 23.07.2011.

HILLER, A. & E. HACKER (2001): Ingenieurbiologie und die Vermeidung von Florenverfälschungen. Lösungsansätze zur Entwicklung von Regiosaatgut. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V.* 18, S. 16-42.

HILLER, H. (1985): Lebender Baustoff Pflanzen. In: W. PFLUG (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 319-358.

JOHANNSEN, R. & F. SPUNDFLASCH (2006): A 38 Leipzig Süd Böschungssicherungen. Büro für Ingenieurbiologie und Wasserbau: Autobahnamt Sachsen.

JOHANNSEN, R. & E. HACKER (2009): 2.13 Ingenieurbiologische Verfahren zur Böschungssicherung. In: K. J. Witt (Hg.): Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Bd. 7. Berlin: Ernst & Sohn, S. 835-919.

KAISER, T.; SCHLUMPRECHT, H.; FINCK, P. & U. RIECKEN (2013): Biotopkartierungen in den deutschen Bundesländern - aktueller Stand und Methodenvergleich. In: *Natur und Landschaft* - 88. Jg. (2013) - Heft. 3. S. 97-102.

KAUSCH, E. (2006): Beispiele für Böschungssicherung (Lärmschutzwall). In: A. KIRMER & S. TISCHEW (Hg.): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. Wiesbaden: Teubner, S. 122-123.

KAUSCH, E. (2010): Stratifiziertes Saatgut bei Gehölzansaaten, 08.05.2010. E-Mail an A. WERPUP.

KAUSCH, E. (2011): Gehölzansaaten - Alternative für standortangepasste Vegetationsentwicklung auf Rohbodenstandorten. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V.* 35, S. 2-15.

KAUSCH, E. (2012): Anmerkungen zu Gehölzansaaten, 21.03.2012. E-Mail an A. WERPUP.

KAUSCH, E. (2013): Erfahrungen mit Saatmengen, 04.03.2013. E-Mail an A. WERPUP.

KIERMEIER, P. (1988): Grün ist Leben. BdB Handbuch Wildgehölze. 2. Aufl. Köln, Pinneberg: Signum; BdB (Teil VII).

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

KIRMER, A.; STOLLE, M.; LORENZ, A.; GRÜTTNER, A. & J. ENGELHARDT (2006): Naturnahe Methoden. ein Überblick. In: A. KIRMER & S. TISCHEW (Hg.): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. Wiesbaden: Teubner, S. 20–26.

KOLYMBAS, D. (2007): Geotechnik. Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau. 2 Bände. Heidelberg Berlin: Springer-Verlag.

KÖSTLER, J. N.; BRÜCKNER, E. & H. BIBELRIETHER (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey.

KOWARIK, I. & B. Seitz (2003): Perspektiven für die Verwendung gebieteigener Gehölze. In: *Neobiota* 2, S. 3–26.

KRUEDENER, A. v. (1950): Der unterirdische Wald. In: *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* (122-1950/51, H. 8), S. 226-233.

KRUEDENER, A. v. (1951): Die Pflanze als Baustoff. In: Ingenieurbiologie. München/Basel.

KUTSCHERA, L. & E. LICHTENEGGER (1997): Wurzeln. Bewurzelung von Pflanzen in den verschiedenen Lebensräumen. Linz: Druckerei Gutenberg (Wurzelatlas-Reihe, Stapfia 49).

KUTSCHERA, L. & E. LICHTENEGGER (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Graz - Stuttgart: Leopold Stocker Verlag (Wurzelatlas-Reihe).

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1999): Gebietsheimische Gehölze - § 29 a Naturschutzgesetz: LfU (Merkblatt 4).

LBEG (2011): Niedersächsisches Bodeninformationssytem. Hg. v. NIBIS (Kartenserver). Online verfügbar unter http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=510, zuletzt geprüft am 17.10.2011.

LIPPE, K.; KOWARIK, I. & M. v. d. LIPPE (2007): Analyse des Anwuchserfolgs gebietseigener und gebietsfremder Gehölzarten in modellhaften Heckenpflanzungen auf der Nauener Platte. Berlin.

LÖSKEN, G. (2013): Hinweise zur Verwendung von Sanddorn. Hannover, 14.02.2013. Gespräch mit A. WERPUP.

LORENZ, A. (2006): Ansaaten (Gehölze). Hinweise für die Umsetzung. In: A. KIRMER & S. TISCHEW, (Hg.): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. Wiesbaden: Teubner, S. 118-121.

LÜBKER, D. (2011): Die Harz Seite (Klimadiagramme). Online verfügbar unter http://www.harz-seite.de/foto-klima.php, zuletzt geprüft am 18.09.2011.

LUBW (2009): Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

LUBW (2011): Geobasiskarte. Karlsruhe (Daten- und Kartendienst). Online verfügbar unter http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de/brs-web/home.xhtml?AUTO_ANONYMOUS_LOGIN, zuletzt geprüft am 12.10.2011.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

LUBW (2011): Materialien zum Landschaftsrahmenprogramm Baden-Württemberg. Karlsruhe (Kartenatlas). Online verfügbar unter http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/92454/PLANKART.HTM?COMMAND=DisplayBericht&FIS=200&OBJECT=92454&MODE=BER&RIGHTMENU=NO, zuletzt geprüft am 25.07.2011.

MAC CÁRTHAIGHT, D. & W. SPETHMANN (2000): Krüssmanns Gehölzvermehrung. Berlin: Parey bei Blackwell.

MARZINI, K. (2000): Verwendung von autochthonen Gehölzen in der Ingenieurbiologie. In: E. HACKER & R. JOHANNSEN (Hg.): Ingenieurbiologie. Sicherungen an Verkehrswegeböschungen, Bd. 9. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 117-128.

MARZINI, K. (2011): Erarbeitung und Verifizierung von Erarbeitung und Verifizierung von Auswahlkriterien für geosynthetische Erosionsschutzsysteme. Steil, grün, sicher?! – Bericht über die Fachtagung "Begrünbarer Erosionsschutz". LWG. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Veitzhöchstheim, 05.05.2011. Online verfügbar unter http://www.lwg.bayern.de/, zuletzt geprüft am 02.02.2012.

MERTENS, D.; MEYER, T.; WORMANNS, S. & M. ZIMMERMANN (2007): 14 Jahre Naturschutzgroßprojekt Lüneburger Heide. Niederhaverbeck: Verein Naturschutzpark e.V. (VNP-Schriften Bd. 1).

MEYNEN, E.; SCHMITHÜSEN, J.; GELLERT, J. F.; NEEF, E.; MÜLLER-NINY, H. & J.H. SCHULTZE (1961): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 7 Bände. Bad Godesberg: Institut für Länderkunde und des deutschen Instituts für Länderkunde.

MEYER, F. H. (1978): Lebensbedingungen der Straßenbäume. In: F. H. MEYER: Bäume in der Stadt. Stuttgart: Ulmer.

MOESCH, R. (1985): Oberflächenstabilisierung mit Hilfe von Zuschlagstoffen. In: W. PFLUG (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 5. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 107-114.

MOLISCH, H. (1937): Der Einfluss einer Pflanze auf die Andere: Allelopathie. (E. v. KROSIGK, Hg. 2007). VDM Verlag Dr. MÜLLER. Saarbrücken.

MÜLLER, S. (1969): Böden unserer Heimat. Ein Leitfaden zur Bodenbeurteilung im Gelände für Praktiker, Planer, Natur- und Gartenfreunde. Stuttgart: Kosmos Verlag (k. A.).

NEEF, G. (1970): Erläuterungen zur Begrünung, insbesondere zur Gehölzansaat der Bundesautobahn A 81 (A 23) Stuttgart - Singen. Streckenabschnitt Geisingen-Engen. Daten zur Gehölzansaat. E 23/2. Si Los III. Großer Einschnitt Südböschung: Baden-Württemberg.

NEEF, G. (1976): Gehölzansaat auf Rohböschungen. In: *Neue Landschaft* 9/76, S. 520-534.

Neef, G. (1985): Gehölzansaat auf Rohböschungen. Osnabrück.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

NICKEL, E. (2003): Gebietseigenes Saat- und Pflanzgut. Von der Theorie zur Praxis (Beispiel: Baden-Württemberg). In: Neobiota 2, S. 51–58.

NITSCHKE, F. (2008): Gehölzansaaten im Bundesfernstraßenbau. Eine Studie zur Umsetzung an der Bundesautobahn A17 im Raum Dresden. Diplomarbeit. (FH), Hochschule Anhalt. Bernburg (unveröffentlichte Diplomarbeit).

NLStBV-GS (2004): 03 031200 SBA GOSLAR. B82n Pflanzlos 4. 06 Ingenieurbiologie. 06.00 Rohbodenbegrünung. B 82 Langelsheim: Nds.

NLWKN (2011): Hydrologische Landschaften im Raum Niedersachsen. Online verfügbar unter http://www.nlwkn.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=8281& article_id=38694&_psmand=26mode=print, zuletzt geprüft am 17.03.2011.

NORRIS, J. E. (2005): Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cutslope in Southern England. In: Plant and Soil 278, S. 43–53.

OBERDORFER, E. (Hg.1992a): Wälder und Gebüsche. Tabellenband. Jena. Stuttgart. New York: Gustav Fischer Verlag (Süddeutsche Pflanzengesellschaften, 4).

OBERDORFER, E. (Hg.1992b): Wälder und Gebüsche. Textband. Jena. Stuttgart. New York: Gustav Fischer Verlag (Süddeutsche Pflanzengesellschaften, 4).

OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

OBERNOLTE, L. (2006): Standortgerechte Gehölzansaaten. In: B. KRAUTZER & E. HACKER (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut (Tagungsband). Raumberg-Gumpenstein, S. 101-106.

OBERNOLTE, L. (2010): Die Verwendung von stratifiziertem Saatgut bei Gehölzansaaten, 31.05.2010. E-Mail an A. WERPUP.

OPLATKA, M. (1998): Stabilität von Weidenverbauungen an Flussufern. Zürich: Technische Hochschule Zürich.

ORTNER, D. (2004): Zur naturschutzrechtlichen Verpflichtung der Verwendung autochthonen Saat- und Pflanzguts bei der Straßenbegleitbegrünung. UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH Department Soziologie, Ökonomie und Recht (ÖKUS). Leipzig-Halle (UFZ-Diskussionspapiere).

PFAUE, J. (2007): Autochtone, gebietseigene Gehölze zur Verwendung in der freien Landschaft. Anmerkungen zu rechtlichen Bewertungen. In: Neue Landschaft 1/07, S. 52–58.

PFLUG, W. (1985a): Bodenschutzwald - eine Einführung in die Jahrestagungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie 1981 und 1982 in Aachen und Saarburg. In: W. Pflug (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 13-22.

PFLUG, W. (Hg. 1985b): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

POLOMSKI, J. & N. KUHN (1998): Wurzelsysteme. Bern: Haupt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

POTT, R. (1993): Farbatlas Waldlandschaften. Ausgewählte Waldtypen und Waldgesellschaften unter dem Einfluß des Menschen. Stuttgart: Ulmer.

PREISING, E.; WEBER, H. E. & H.-C VAHLE (2003): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens - Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme. Wälder und Gebüsche. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie. Hildesheim (Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen).

RADEMACHER, M. & U. TRÄNKLE (2007): Sowing trials for establishing woodland stands on untreated soils / Aussaatversuche zur Begrünung von Waldflächen auf Rohböden. In: Cement International 5, S. 2-13.

REBELE, F. (2009): Renaturierung von Ökosystemen in urban-industriellen Landschaften. In: S. Zerbe & G. Wiegleb (Hg.): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 389-422.

REBMANN, E. (1984): Begrünung von Böschungen mit Gehölzen und Gehölzsaaten. In: Zeitschrift für Vegetationstechnik 7, S. 34-37.

Regierungspräsidium Karlsruhe 2009: Sechsstreifiger Ausbau zwischen der Tank- und Rastanlage Pforzheim und der Anschlussstelle Heimsheim. Hg. v. 47.3 Baureferat. Karlsruhe (BAB 8 Karlsruhe-Stuttgart). Online verfügbar unter http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1238974/index.html, zuletzt geprüft am 23.06.2009.

RIDGE, R. W. & M. KATSUMI (2002): Root Hairs: Hormones and Tip Molecules. In: Y. WAISEL, A. ESHEL & U. KAFKAFI (Hg.): Plant roots: the hidden half. 3. Aufl. New York: M. Dekker, S. 83-91.

RIECKE, F. (1985): Wurzelausbildung von Waldbäumen in Abhängigkeit von Standort, Alter, Bestandszusammensetzung sowie ihre Eignung zur Böschungsbefestigung. In: W. Pflug (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 143-147.

RIECKEN, U.; FINCK, P.; RATHS, U.; SCHRÖDER, E. & A. SSYMANK (2003): Standard-Biotoptypenliste für Deutschland. In: BfN (Hg.): Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 75. 1. Aufl. Münster: Landwirtschaftsverlag.

RIEGER-HOFMANN, GmbH (Hg.) (2012): Samen und Pflanzen gebietseigener Wildblumen und Wildgräser aus gesicherten Herkünften. Preisliste 2012 / 2013.

ROERING, J. J.; SCHMIDT, K. M.; STOCK, J. D.; DIETRICH, W. E. & D. R. MONTGOMERY (2003): Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range. In: Canadian Geotechnical Journal 40, S. 237–253.

ROHDE, J. (1985): Saatgut und Keimung von Bäumen und Sträuchern - Hinweise zur Ernte, Qualität, Lagerung, Behandlung und Aussaat. In: W. Pflug (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 278-284.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

ROHLOFF, M. (2011): Heidkopftunnel, 23.05.2011. Telefonisch mit A. WERPUP.

SANON, A.; ANDRIANJAKA, Z. N.; PRIN, Y.; BALLY, R.; THIOULOUSE, J.; COMTE, G. & R. DUPONNOIS (2009): Rhizosphere microbiota interfers with plant-plant interactions. In: Plant and Soil 321, S. 259-278.

SCHAARSCHMIDT, G. & V. KONECNY (1971): Der Einfluss von Bauweisen des Lebendverbaues auf die Standsicherheit von Böschungen. Institut für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik Technische Hochschule Aachen. Aachen.

SCHAARSCHMIDT, G. (1974): Zur ingenieurbiologischen Sicherung von Straßenböschungen durch Bewuchs und Lebendverbau. Aachen: Fakultät für Bauwesen der Rheinisch-Westfälischen Hochschule.

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart: Enke Verlag.

SCHIECHTL, H. M. (1973): Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau. Grundlagen. Lebende Baustoffe. Methoden. München: Verlag Georg D. W. Callwey.

SCHIECHTL, H. M. (1985): Pflanzen als Mittel zur Bodenstabilisierung. In: W. Pflug (Hg.): Ingenieurbiologie. Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen, Bd. 2. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

SCHIECHTL, H. M. & R. STERN (1992): Handbuch für naturnahen Erdbau. Eine Anleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Wien: Österreichischer Agrarverlag.

SCHLIERER, A. (1984): Straßenbegrünung. Möglichkeiten und Grenzen der Gehölzansaat. In: TASPO-Magazin 6/1984, S. 14-17.

SCHLÜTER, U. (1990): Laubgehölze. Ingenieurbiologische Einsatzmöglichkeiten. Berlin-Hannover: Patzer Verlag.

SCHLÜTER, U. (1996): Pflanze als Baustoff. Ingenieurbiologie in Praxis und Umwelt. Berlin, Hannover: Patzer Verlag.

SCHLÜTER, U. (2000): Hilfsstoffe für den vorübergehenden Erosionsschutz. In: E. Hacker & R. Johannsen (Hg.): Ingenieurbiologie. Sicherungen an Verkehrswegeböschungen, Bd. 9. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 175-197.

SCHMIDT, H.-H. & T. RUMPELT (2009): 2.1 Erdbau. In: Karl Josef Witt (Hg.): Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, Bd. 7. Berlin: Ernst & Sohn, S. 1-100.

SCHMIDT, P. A. & A. KRAUSE (1997): Zur Abgrenzung von Herkunftsgebieten bei Baumschulgehölzen für die freie Landschaft. Ein Diskussionsentwurf aus der Arbeitsgruppe Autochtone Gehölze. In: Neue Landschaft 72 (2), S. 92-95.

SCHUPPENER, B. (1994): Die statische Berechnung der Bauweise Lebend Bewehrte Erde. In: Geotechnik 17, Nr. 4, S. 204-213.

SCHUPPENER, B. (2001): Die Bemessung von Böschungssicherungen mit Pflanzen. In: Geotechnik 24, Nr. 3, S. 175-185.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

SCHWARZ, M.; LEHMANN, P.; COHEN, D. & D. OR (2008): Neue Ansätze zur Quantifizierung des Wurzeleinflusses auf die Stabilität von Rutschhängen. In: Agenda FAN 2/2008, S. 11-14.

SEILER, L. (2012): Zeichnungen. In: BAUMGARTE, L.; HANEWINKEL, M.; KNAPS, F.; SCHETELIG, A.; SEIFFERT, A.; SEILER, L. et al.: Ingenieurbiologische Maßnahmen im Erd- und Straßenbau. Gehölze an schwer begrünbaren Böschungsstandorten. Bachelor-Vertiefungsprojekt, unveröffentlicht. Leibniz Universität Hannover, S. 53-88.

SEITZ, B. & I. KOWARIK (2003): Perspektiven für die Verwendung gebietseigener Gehölze. In: Neobiota 2, S. 3-26.

SIEGMÜLLER, E. (1989): Untersuchungen über Gehölzansaaten auf extremen Neigungsflächen. In: Zeitschrift für Vegetationstechnik 12, S. 73-79 / 112-119.

SIEGMÜLLER, E. (1991): Untersuchungen über Gehölzansaaten auf extremen Neigungsflächen. In: Neue Landschaft 36, S. 259-266.

SINN, T. (k. A.): Zum Einfluss des Bodens auf die Standsicherheit von Bäumen. Bad Vilbel.

SINN, T. (1988): Zur Ausbildung des Wurzelwerkes bei Bäumen nach morphologischen Gesichtspunkten und die verschiedenen Einflüsse darauf.

SKIRDE, W. (1984): Ergebnisse zur Gehölzansaat mit Beisaatpflanzen. In: Zeitschrift für Vegetationstechnik 7 (April - Juni), S. 76-81.

SPETHMANN, W. (1995): In-situ-/Ex-situ-Erhaltung von heimischen Straucharten. In: J. Kleinschmidt, F. Begemann & K. Hammer (Hg.): Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen in der Land- und Forstwirtschaft (Schriften zu Genetischen Ressourcen, 1), S. 68-87.

SPETHMANN, W. (1996): Einheimische und fremdländische Gehölze und Gehölzherkünfte im Wald und in der offenen Landschaft. In:. 4. Landschaftspflegetagung Sachsen-Anhalt: Einsatz und unkontrollierte Ausbreitung fremdländischer Pflanzen - Florenverfälschung oder ökologisch unbedenklich? Arendsee, 18.-19.10.1996, S. 1-12.

SPETHMANN, W. (1997): Gefährdet Hybridisierung die Erhaltung von Baum- und Straucharten? In: NNA-Berichte 2/97, S. 26-31.

SPETHMANN, W. (2002): Einheimische und fremdländische Gehölze und Gehölzherkünfte im Wald und in der offenen Landschaft. In: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWFHg.). Autochtone Gehölze. Trippstadt, 15.-16.05.2002, S. 5-18.

SPETHMANN, W. (2003): Wie können Saatguthandel und Baumschulen einen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität einheimischer Sträucher leisten? In: Neobiota 2, S. 27-35.

SPETHMANN, W. (2010): Ausbringung von gebietsfremden Rohbodenpioniergehölzen. Hannover, 2010. Gespräch mit A. WERPUP.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

SPETHMANN, W. & M. WILSTERMANN (2003): Wuchsdepressionen von Gehölzen im Baumschulbereich (Abschlussbericht). Projekt 02OE570. Leibniz Universität Hannover.

SPUNDFLASCH, F. (2000): Ingenieurbiologische Bauweisen zur Böschungssicherung und standortabhängige Auswahlkriterien. In: HACKER, E. & R. JOHANNSEN (Hg.): Ingenieurbiologie. Sicherungen an Verkehrswegeböschungen, Bd. 9. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 13-56.

STALLJANN, E. (2000): Die Nassansaat als ingenieurbiologische Maßnahme im Straßenbau. In: E. HACKER & R. JOHANNSEN (Hg.): Ingenieurbiologie. Sicherungen an Verkehrswegeböschungen, Bd. 9. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 57-98.

STEUBING, L. & H. O. SCHWANTES (1992): Ökologische Botanik. Einführung in die angewandte Botanik. Heidelberg - Wiesbaden: Quelle & Meyer.

STOKES, A. (2002): Biomechanics of Tree Root Anchorage. In: Y. WAISEL, A. ESHEL & U. KAFKAFI (Hg.): Plant roots: the hidden half. 3. Aufl. New York: M. Dekker, S. 175-186.

STOLLE, M. (2000): Wildpflanzenansaaten auf Rohbodenböschungen. In: E. HACKER & R. JOHANNSEN (Hg.): Ingenieurbiologie. Sicherungen an Verkehrswegeböschungen, Bd. 9. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 129-148.

STOLLE, M. (2006a): Rohböden – Definitionen und Erläuterungen. In: A. KIRMER & S. TISCHEW (Hg.): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. Wiesbaden: Teubner, S. 17-19.

STOLLE, M. (2006b): Extremstandorte in Mitteleuropa - Flach- und Hügelländer. In: B. KRAUTZER & E. HACKER (Hg.): Ingenieurbiologie: Begrünung mit standortgerechtem Saat- und Pflanzgut (Tagungsband). Raumberg-Gumpenstein, S. 31-36.

STOWASSER, A. (2011): Potenziale und Optimierungsmöglichkeiten bei der Auswahl und Anwendung ingenieurbiologischer Bauweisen im Wasserbau. Umwelt und Raum. Bd. 5. Schriftenreihe Institut für Umweltplanung. Leibniz Universität Hannover. Göttingen: Cuvillier Verlag.

SUÁREZ, J. 2011: Deslizamientos I. Analisis Geotecnico. Cap. 2. Online verfügbar unter http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=182%3Anuevo-libro-deslizamientos&catid=129%3Aencabezado&Itemid=166, zuletzt geprüft am 20.12.2011.

TIMMERMANN, G. & T. MÜLLER (1994): Wildrosen und Weißdorne Mitteleuropas. Landschaftsgerechte Sträucher und Bäume. 2. Aufl. Stuttgart: Verl. des Schwäbischen Albvereins.

TISCHEW, S.; GRÜTTNER, A.; KIRMER, A.; MANN, S.; STOLLE, M. & A. LORENZ (2006): Übersicht zu Standorttypen, möglichen Zielvegetationstypen und geeigneten Begrünungsmethoden. In: A. KIRMER & S. TISCHEW (Hg.): Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden. Wiesbaden: Teubner, S. 27-38.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

TISCHEW, S.; WIEGLEB, G. A.; KIRMER, A. & A. LORENZ (2009): Renaturierung von Tagebaufolgelandschaften. In: S. ZERBE & G. WIEGLEB (Hg.): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 349-388.

TOBIAS, S. (1992): Ansätze zur Erfassung der bautechnischen Wirkung der Vegetation. In: Interpraevent (Hg.): Internationales Syposium, Bd. 4. Bern, S. 243-254.

TSCHIRNER, E. (2003): Anwendung eines neuen mykorrhizahaltigen Bodenhilfsstoffes sowie Mykorrhizierung von Pflanzen für die Sanierung und ökologische Gestaltung der Landschaften des Braunkohletagesbaues in den neuen Bundesländern (Schlussbericht). Projekt-Nr. 0339748/9. BMBF; Forschungszentrum Jülich GmbH.

URBANSKA, K. M. (1992): Populationsbiologie der Pflanzen. Stuttgart: Fischer (1631).

VOLLRATH, B. (2006): Autochthonie im Praxistest. In: AFZ-DerWald 8, S. 435-437.

WAISEL, Y. & A. ESHEL (2002): Functional Diversity of Various Constituents of a Single Root System. In: Y. WAISEL, A. ESHEL & U. KAFKAFI (Hg.): Plant roots: the hidden half. 3. Aufl. New York: M. Dekker, S. 157-174.

WALTER, H. (1986): Allgemeine Geobotanik. Stuttgart: Ulmer.

WEBER, H. E. (2003): Gebüsche, Hecken, Krautsäume. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer (Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht).

WERPUP, A. (2006): Landschaftsangepasste ingenieurbiologische Bauweisen für die spanische Region Navarra. Naturraumgerechte Hang- und Ufersicherungsmaßnahmen mit gebietseigenem Pflanzenmaterial. Diplomarbeit. Institut für Umweltplanung, Institut für Zierpflanzen-und Gehölzwissenschaften. Hannover (unveröffentlichte Diplomarbeit).

WÖBSE, H. H. (2002): Landschaftsästhetik. Über das Wesen, die Bedeutung und den Umgang mit landschaftlicher Schönheit. Stuttgart: Ulmer.

ZEH, H. (1995): Wesen, Inhalt und Ziele der Ingenieurbiologie. In: W. PFLUG (Hg.): Ingenieurbiologie im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und Ingenieurbautechnik, Bd. 6. Aachen: Gesellschaft für Ingenieurbiologie, S. 35-47.

ZEH, H. (2007): Ingenieurbiologie. Handbuch Bautypen. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Anhang

Tab. 44: Umrechnungstabelle von Böschungsneigungen (eigene Darstellung).

Winkel in °	Steigung in %	Höhe : Länge in m	Bemerkungen
45	100	1 : 1	
40	84	1 : 1,2	
34	67	1 : 1,5	Regelböschungsneigung Straßenbau
30	58	1 : 1,7	Stärkste Sonneneinstrahlung zur Wärmentwicklung
27	50	1 : 2	Stärkste Sonneneinstrahlung zur Wärmentwicklung
22	40	1 : 2,5	Stärkste Sonneneinstrahlung zur Wärmentwicklung
20	36	1 : 2,8	Stärkste Sonneneinstrahlung zur Wärmentwicklung

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 45: Liste der Ansaatflächen, die in der Gesamtauswertung untersucht worden sind (eigene Darstellung).

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
Rohrbachaufstieg	A 8 Stuttgart-München Strecken-KM 211+800 - 209+730, bei Leonberg	Sep. 1966: NEEF	1967,1968, 1969: STRUNK & SAUER; 2001: BOLLENHAGEN & WEISE	Schwäbisches Keuper-Lias-Land	Länge: 1440 m Breite: bis 20 m Fläche: 19.900m²	Schilfsandstein, Gipskeuper und Brauner Mergel	Höhe: 500-550 m - kollin bis montan Hangneigung: 1 : 1,5, Exposition: West	sandige, nährstoffärmere bis nährstoffreichere Lehmböden	wärmebegünstigter Raum des Neckarbeckens Niederschlag: 680 - 740 mm/ Jahr Temp.: ~ 7,5° C, Jan. -1,5° C, Juni 16,5° C	kleinräumiger Wechsel zwischen BM und BS
Geisingen	A 81 (Stuttgart-Bodensee) zwischen Geisingen und Engen, Strecken-KM 128+000 - 128+500	Apr.-Juni 1972: NEEF / Firma ANONYMUS	2001: BOLLENHAGEN & WEISE	Schwäbische Alb (Hegau-Alb)	Fläche: 17.500 m²	Braune Jura mit feinsandigen Tonen und eisenschüssigen Kalksandsteinen und Weiße Jura mit gebankten Wechselfolgen von Kalk und Geschiebemergeln	Höhe: 600-800 m Hangneigung -Steilhang: 1 : 1,5 mit kleinen Bermen, Exposition: Süd-Süd-West	steinige und geringmächtige Kalkstein-Rendzinen aus lehmigem Kies, kalkreichem Schluff und vereinzeltem Geröll sowie Kalksandsteinbänken	raues Höhenklima, Niederschlag: 600 - 700 mm/ Jahr Temp.: 6,5° C, Jan. -2,0° C, Juli 15,5° C	BT wurde erreicht, Vorwaldentwicklung wird langfristig erwartet
Steinsfurt I (Profile 1 - 5)	A 6 (Mannheim-Nürnberg) zw. Strecken-KM 47+630 und 47+900, östl. der Abfahrt Sinsheim	1967: NEEF	1968, 1969: STRUNK; 2002: BOLLENHAGEN	Kraichgau in den Neckar-Tauber-Gäuplatten	Länge: 600 m Breite: zw. 25 und 40 m Fläche: 14.50m²	Muschelkalk, Tonmergelgestein, Dolomitbänke	Kolline Stufe, Neigungswinkel: stark variierend zw. 20 und 68°, Exposition: Süd	Mullrendzina, mittel humos, pH-Wert: schwach alkalisch	bewaldete Tallage- warmes Beckenklima Niederschlag: 750 - 800 mm/ Jahr Temp.: ~ 9° C, Jan. 0,5° C, Juni 18° C	BT nur an trockenen Bereichen mit günstigem Einstrahlungswinkel, ansonsten BM
Steinsfurt II a	bei Steinsfurt I	1967: NEEF	1968: STRUNK; 2001: BOLLENHAGEN & WEISE	Kraichgau in den Neckar-Tauber-Gäuplatten	Länge: 23 m Fläche: 7.500m²	Muschelkalk, Tonmergelgestein, Lettenkohlen	Kolline Stufe, Neigungswinkel: sehr stark variierend zw. 21° (Fußbereich) und 60°	sehr hohe Skelettanteile - steinbruchartig, flachgründiger, steiniger und feinerdearmer	Niederschlag: 750 - 800 mm/ Jahr Temp.: ~ 9° C, Jan. 0,5° C, Juni 18° C	an steilen Bereichen BMR als Vorwald, sonst Tendenzen zu BMS erkenn-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
							- Steilhang, Exposition: Nord	Boden		bar
Steinsfurt II b	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: Nordwest	s. o.	s. o.	s. o. Anteil von *Ligustrum vul. nimmt* nach Westen hin zu
Steinsfurt II c	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: West	s. o.	s. o.	s. o. flachere Bereiche: BMS
Steinsfurt II d	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: Südwest	s. o.	s. o.	BTK mit Ligustrum vulgare
Steinsfurt II e	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: Süd	s. o.	s. o.	Steilhang: BMR, sonst BTK
Albaufstieg am Aichelberg I	A 8 Stuttgart-Ulm, zwischen den Anschlussstellen Aichelberg und Hohenstadt	1989: BRÜCKNER	2008: WERPUP	Schwäbische Alb (Mittlere Kuppenalb)	Länge: ca. 1000 m, Breite ca. 35 m	Tonschichten, Braunjura beta mit Bermen	Höhe: ca. 650 m, kolline Stufe Steilböschung und flache Böschung (Neigung von 1 : 3) , Exposition: Nordost	geringmächtige Kalkstein-Rendzinen mit Tonschichten und flachgründigen, steinigen, feinerdearmen Bodenschichten (Bermen)	Niederschlag 770 - 1100 mm/ Jahr, Temperaturen ~ 6,5° C, Januar -1,5° C, Juli 15,5° C	BMR und BMS mit Tendenzen zur Vorwaldentwicklung nach 20 Jahren
s. o. Aichelberg II	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: Südwest	s. o.	s. o.	rosendominiertes BTK, *Betula pendula*-Bestand nimmt nach Westen hin zu
Wurmberg bei Pforzheim (Süd) I	A 8 Karlsruhe-Stuttgart, zwischen	2006: Firma ANONYMUS	2009: s. o.	Schwarzwald-Randplatten	Länge: ca. 600 m, Breite 25 m	Unterer Muschelkalk	Höhe: 300 m - 360 m, Böschungsneigung: 1 : 1,5,	flachgründige, steinige Kalkstein-Rendzinen	Niederschlag 783 mm Jahressumme, Jahresmittel-	Teilweise Ansaatrutschung - Vorwaldentwick-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
	AS Pforzheim Süd und Ost						Exposition: Nordost mit Terrassierung		Temperatur 9,3° C	lung über BMR/ S möglich
Wurmberg bei Pforzheim (Süd) II	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Böschungsneigung: 1 : 2, Exposition: Südwest	s. o.	s. o.	Entwicklung Richtung rosendominiertes BT
Steinbruch Vohenbronnen	Raum Blaubeuren, Schecklingen	1989: RADEMACHER & TRÄNKLE	1992, 2004: RADEMACHER	Schwäbische Alb (Mittlere Flächenalb)	Fläche: 1,7 ha 15 Aufnahmeflächen je 4 m²	Oberer weißer Jura	mittlere Neigung von 20 - 25°, Exposition: West	flachgründiger, steiniger und feinerdearmer Boden, Entwicklungsstadien von Braunerden und Rendzinen	Niederschlag 700 - 800 mm/ Jahr, Temp.: ~ 7,0° C, Januar -1,5° C, Juli 16,0° C	Übergang von BM zu BT, Gebüsch befindet sich im Vorwaldstadium
Kuhberg	A 49 Kassel-Gießen	1978: RADEMANN	1987: SIEGMÜLLER (heute: KAUSCH)	Ostwalder Randsenke, Grenze Westhessische Senke	Flächenlänge: 150 m	Buntsandstein	Höhe: 350 m Hangneigung: 30 - 35° (Beginn Steilhang), Exposition: Südost	Entwicklung zu Braunerden und Podsolbraunerden (stark saure Böden), pH-Wert: 4,7, Gesamtstickstoffgehalt 0,021%, sehr geringe organ. Substanz (1,10%)	Niederschlag: 637 mm/ Jahr, Temp.: ~ 8,1° C/ Jahresmittel	typische bodensaure Arten fehlen in Ansaatmischung: Vorwaldentwicklung zum BRS anstelle von BSG
Papental I	A 44 Kassel-Dortmund	s. o.	s. o.	Randbereich oberes Weserbergland, Warburger Börde	Flächenlänge: 20 m	Wellenkalk	Höhe: 290 m Hangneigung: 30 - 45° (Steilhang), Exposition: Nordost	flachgründige, steinige Böden, braune Rendzinen, pH-Wert: 7,15 Gesamtstickstoffgehalt 0,046-0,059%, mäßige bis hohe organische Substanz (5,80-7,40%)	Niederschlag: 654 mm/ Jahr, Temp.: ~ 7,7° C/ Jahresmittel	wichtige Kennarten trockener u. frischer Gebüsche fehlen in Ansaatmischung. Vorwaldentwicklung über BMS

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
Papental II	A 44 Kassel-Dortmund	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	Höhe: 290 m Hangneigung: 30 - 45° (Steilhang), Exposition: Südwest	flachgründige, steinige Böden, braune Rendzinen, pH-Wert: 7,15 Gesamtstickstoffgehalt gering (0,046-0,059%), mäßige bis hohe organische Substanz (5,80-7,40%)	Niederschlag: 654 mm/ Jahr, Temp.: ~ 7,7° C/ Jahresmittel	s. o. in Südwestexposition trotz steiler Hangneigung Entwicklung zum BTK, aufgrund stark durchlässiger Kalkböden
Erlenloch	B 251 Kasseler Becken	s. o.	s. o.	Rand des Habichtswalder Berglandes, Grenze Kasseler Becken	Flächenlänge: 5 m	Basaltverwitterungslehm	Höhe: 290 m Hangneigung: 33° (Grenze zum Steilhang), Exposition: West	pH-Wert: 6,2, Gesamtstickstoffgehalt gering (0,046%), geringe organische Substanz (2,98%)	Niederschlag: 661 mm/ Jahr Temp.: ~ 9,0° C/ Jahresmittel	s. o. trotz Einstrahlungsstarke Hangneigung Entwicklung zum BMR, aufgrund bindiger Böden und Westexposition
Bad Wildungen	B 485 Bad Wildungen	s. o.	s. o.	Ostwalder Randsenken	Flächenlänge: 75 m	Buntsandstein	Höhe: 300 m Hangneigung: 25 - 35° Grenze zum Steilhang), Exposition: Süd	Ranker, pH-Wert: 7,0, Gesamtstickstoffgehalt sehr gering (0,020%), sehr geringe organische Substanz (2,05%)	Niederschlag: 637 mm/Jahr Temp.: ~ 8,1° C/ Jahresmittel	s. o. aufgrund starker Sonneneinstrahlung Entwicklung zum BTS
Edersee	K 32 Ederstausee (Zur Aselbucht / Hohe Fahrt in Asel bei Vöhl)	s. o.	s. o.	Kellerwald / Ederseetrog	Flächenlänge: 5 - 20 m	Kieselschiefer	Höhe: 300 m Hangneigung: 50 - 55° (Steilhang), Exposition: Südost	stark saurer Boden, Entwicklung zum Ranker, pH-Wert: 4,3, Gesamtstickstoffgehalt gering (0,061%), mä-	Niederschlag: 634 mm/ Jahr Temp.: ~ 7,8° C/ Jahresmittel	typische bodensaure Arten fehlen in Ansaatmischung: Entwicklungsrichtung zum BMR anstelle von

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
								ßige organische Subst. (5,40%)		BSF
Goddelsheim	K 55 zwischen Goddelsheim (Lichtenfels) und Hillershausen	s. o.	s. o.	Ostsauerländer Gebirgsrand	Flächenlänge: 10 m	Tonschiefer	Höhe: 490 m Hangneigung: 45 - 50° (Steilhang), Exposition: Süd-Südost	pH-Wert: 6,8 Stickstoffgehalt mäßig (0,122%), hohe organische Substanz (7,60%)	Niederschlag: 634 mm/Jahr Temp.: ~ 7,8° C/ Jahresmittel	Entwicklung zum BMR, aufgrund der starken Hangneigung schwache Sonneneinstrahlung
Versuchsfläche Linden Leihgestern	ca. 5 Km südl. vom Stadtrand Gießen gelegen	Herbst 1976	1977, 1979, 1980: SKIRDE	Marburg-Gießener Lahntal	Parzellengröße: 12 m²	Buntsandstein	Höhe: ca. 150 m Hangneigung: 6 - 7°, Exposition: Süd	stark dicht gelagerter, versteinter, humusarmer lehmiger Sandboden mit glatter Oberfläche	Niederschlag: 580 mm/Jahr Temp.: 8,5° C/ Jahresmittel, 0°C Jan., 18 °C Juli	häufiges *Rosa canina.* und *Cornus sang.* Vorkommen; *R. can.* gilt als konkurrenzstark, Herbst gilt als beste Ansaatzeit
Schutzwall Solvay Alkali GmBH Bernburg (Saale) Ansaat 2003	B71 in Richtung Strenzfeld	Herbst 2003	2005: KAUSCH	Köthner Ackerebene	Ansaatfläche: ca. 900 m², nach der Zerstörung 2005: 300 m²	Kalksandstein	Höhe: 85m Hangneigung: 22°, Exposition: Nordost-Südost	geschüttete Dammböschung aus Abraum, heterogen, steiniger bis stark steiniger schluffiger Lehm, pH-Wert: 7,9	Jahresniederschlag: 469 mm, Jahresmitteltemperatur: 9,1° C	zunächst häufiges Vorkommen von: *Cornus sang., Lonicera xyl., Prunus spinosa* u. *Rosa canina,* später Dominanz von *Rosa* sp. u. *Lonicera xyl.* BRS-Arten bei Hangwasseraustritt, sonst Übergang von BTK zu BM
s. o. Erneute Ansaat 2006	s. o.	2006	2007, 2008, 2009, 2010: s. o.	s. o.	Ansaatfläche: ca. 600 m²	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	
Autobahndreieck Leipzig-Süd	A38 / B2	2006: JOHANNSEN, SPUND-	2011: WERPUP	Leipziger Land	Parzellenbreite: 10 m	Tertiäre Beckenfüllung, Braunkohleflöze, Grauwa-	Höhe: 100 m Neigung: 1:1,5, Exposi-	geschüttete Dammböschung heterogen,	Niederschlag: 480 - 600 mm/ Jahr, Temp.	lückiges BT - BMR stellt sich ein. Häufige

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
g 1.1		FLASCH				cke, Tonschiefer, Geschiebemergel, Löß	tion: Süd-Ost	Kalkschotter-/ Steingemisch (Deckschicht), über saurem tertiären lehmigen Sand	Mittelwerte: Jahr 9° C, Jan. -0,5° C, Juli 18,5° C	Verzahnung von *Rosa canina* und *Cornus* sanguinea.
Autobahndreieck Leipzig-Süd b 1.1	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	Höhe: 100 m Neigung: <1 : 1,5, Exposition: Nord-Ost	s. o.	Niederschlag: 480 – 600 mm/ Jahr, Temp. Mittelwerte: Jahr 9° C, Jan. -0,5° C, Juli 18,5° C	*Rosa canina* wurzelt in tertiäre Schicht u. behauptet sich mit *Lonicera xyl.* in *Ononis spinosa*-Bestand
Autobahndreieck Dresden-West I	A4 / A17	2001	2007: NITSCHKE	Erzgebirgisches Becken	Ansaatfläche: 2125 m²	Unterer Rotliegender, Kalkmergel, verdichter Kalksandstein	Höhe: 270 m Neigung: 1 : 2, Exposition: Süd	Lockergestein auf felsigem Untergrund, pH-Wert: 6 - 6,8	Niederschlag: 650 - 850 mm/ Jahr (Dresden 767), Temp. Mittelwerte: Jahr 8° C, Jan. -1° C, Juli 17,5° C	*Rosa* sp. u. *Festuca ovina* (aus Beisaat) Dominanz. Entwicklung zum BTS
Autobahndreieck Dresden-West II	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	Ansaatfläche: 1030 m²	Löß, Rotliegendsedimente und Elbtalschiefer	Höhe: 270 m Neigung: 1 : 1,5, Exposition: Nord-West	geschüttete Dammböschung bindiger, felsgesteinhaltiger Boden (z.T. Gesteinsausbruch des Steckenbaus), pH-Wert: 6,15 - 6,87	s. o.	Festuca ovina (aus Beisaat) Dominanz. Präsenz von Cornus sanguinea, Lonicera xylosteum u. Alnus glutinosa. BMR-Entwicklung.
Autobahndreieck Dresden-West III	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	Ansaatflächen: 1.250, 1.000, 750, 2.000 m²	s. o.	Höhe: 270 m Neigung: 1 : 3, Exposition: Nord	stark bindiger Rohboden, pH-Wert: 6,8 - 7,4	s. o.	ohne Beisaat: *Alnus glutinosa* u. *Cornus san.* dominieren. Mit Beisaat: vereinzelt

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
										Alnus glut., *Rosa* sp. u. *Cornus san.*
Autobahndreieck Dresden-West IV	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	Ansaatfläche: 2.031m²	s. o.	Höhe: 270 m Neigung: 1 : 2,5, Exposition: Ost	bindiger, felsgesteinhaltiger Boden, pH-Wert: 5,85 - 7,34	s. o.	zahlreiches Vorkommen von *Rosa* sp. u. *Festuca ovina* (aus Beisaat). Entwicklung zum BMS
Langelsheim	B82	2004	2011: WERPUP	Leinebergland (Innerste-Bergland)	Ansaatfläche: 4.800 m², Breite und Höhe: 10-20m	Tonschiefer, Buntsandstein und Muschelkalkablagerungen	Höhe: 250 - 300 m - kollin, Neigung: 1 : 2 bis 1 : 1,5	Skelettreicher Lehm mit anstehenden Schieferplatten	Niederschlag: 650 - 800mm/ Jahr, Temp. Mittelwerte: Jahr 8° C, Jan. -0,5° C, Juli 16,5° C	Ausbleiben der angesäten Gehölze
Heidkopftunnel I	A38	2006: Firma ANONYMUS	2011: WERPUP & HENNIG	Leinebergland (Leinetal - Unteres Eichsfeld)	Ansaatfläche insgesamt: 24.000 m², Länge:50 m	Buntsandstein, vereinzelt Muschelkalk und Löß	Höhe: 300-350 m - kollin, Neigung: 1 : 1,5, Exposition: Südost	Kies-, Lehm-, Splitgemisch - flachgründige Kalksteinrendzinen	Niederschlag: 650 - 700 mm/ Jahr, Temp. Mittelwerte: Jahr 6,5° C, Jan. -2° C, Juli 15° C	deutliche Übergänge von BS zu BM und BT
Heidkopftunnel II	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Neigung: 1 : 2, Exposition: Nordwest	s. o.	s. o.	s. o.
Heidkopftunnel III	s. o.	Keine, Diasporeneintrag	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Neigung: 1 : 1,5, Exposition: Südwest	Buntsandsteinbankett	s. o.	s. o.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Böschungen	Lage	Ansaatjahr	Aufnahmejahr/e	Naturraum	Topografie / Größe	Geologie	Relief und Exposition	Boden	Klima	Besonderheiten
Heidkopftunnel IV	s. o.	Keine, Diasporeneintrag	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: Nordwest	s. o.	s. o.	s. o.
Bernser Landwehr II, III a, III b, IV b	A2	2008: Firma ANONYMUS	s. o.	Oberes Weserbergland	Ansaatfläche: 45.000m² Länge: ca. 3 km	Löß, Keupergesteine	Höhe 100-150 m, Neigung 1 : 1,5 und steiler, Exposition: Nord	angeschüttete, Dammböschungen aus Kalkschotter	Niederschlag: 640 - 750 mm/ Jahr, Temp. Mittelwerte: Jahr 8,5° C, Jan. 0° C, Juli 17°C	trotz Fehler bei der Beisaat (Landschaftsrasen) und Artenwahl BMR/ S-Entwicklung
Bernser Landwehr I a	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. mit Oberboden	s. o.	Ausbleiben der angesäten Gehölze
Bernser Landwehr IV a	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o. Exposition: Süd	s. o. ohne Oberboden	s. o.	s. o.
Bernser Landwehr I b	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o mit Oberboden	s. o.	s. o.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Tab. 46: Artspezifische Empfehlungen zur Optimierung der Keimfähigkeit von Gehölzsamen an Böschungen (vgl. RAS-LG 3 1983; ROHDE 1985; SCHLÜTER 1996; MAC CÁRTHAIGHT & SPETHMANN 2000; BMVBS 2005; BÄRTELS 2008).

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
Acer campestre	Zeitiges Frühjahr/ Spät-sommer - Frühherbst	Zeitige Keimung im Frühjahr/ Die Frühjahrs-Aussaat ist stärker durch Keimlingskrankheiten bedroht/ Sämlinge sind spätfrostgefährdet/ Getrocknete Samen unterliegen einer Keimhemmung/ Bei zu später Aussaat im Frühjahr kann eine sekundäre Keimhem-mung auftreten/ Bei der Stratifikation gekeimtes Saatgut kann bis zur Aussaat ein-gefroren werden	0,5 - 1	30 - 70 % 3 - 5 Wo	Nicht ausgetrocknete Samen (Feuchtigkeitsgehalt über 20 %) können unstrat. im Herbst ausgebracht werden / Die Lagerung nach der Ernte erfolgt im feuchten Sand	Im Herbst unstrat. Saatgut verwenden. Im Frühjahr kann ebenfalls unstr. Saat-gut verwendet werden, nur ausgetrock-netes hartschalig gewordenes Saatgut sollte stratifiziert werden, da die Keim-fähigkeitsdauer kurz ist, sollte ein Über-liegen vermieden werden.
Acer platanoides	Zeitiges Frühjahr/ Herbst	Zeitige Keimung im Frühjahr/ Die Frühjahrs-Aussaat ist stärker durch Keimlingskrankheiten bedroht/ Sämlinge sind spätfrostgefährdet/ Getrocknete Samen unterliegen einer Keimhemmung/ Bei zu später Aussaat im Frühjahr kann eine sekundäre Keimhem-mung auftreten/ Bei der Stratifikation gekeimtes Saatgut kann bis zur Aussaat ein-gefroren werden	1,5	30 - 70 % 3 - 6 Wo	Nicht ausgetrocknete Samen (Feuchtigkeitsgehalt über 20 %) können unstrat. im Herbst ausgebracht werden	Unstrat. Saatgut verwenden.
Acer pseudoplatanus	Zeitiges Frühjahr/ Herbst	Zeitige Keimung im Frühjahr/ Die Frühjahrs-Aussaat ist stärker durch Keimlingskrankheiten bedroht/ Sämlinge sind spätfrostgefährdet/ Getrocknete Samen unterliegen einer Keimhemmung/ Bei zu später Aussaat im Frühjahr	1,5	70 - 95 % (2) - 4 - 5 Wo	Nicht ausgetrocknete Samen (Feuchtigkeitsgehalt über 24 %) können unstrat. im Herbst ausgebracht werden	Als günstig für eine Böschungs-begrünung mittels Nassansaat erscheint es unstrat. Saatgut zu verwenden, zu spät im Herbst oder im Frühjahr ausge-sätes hartschaliges gewordenes Saat-gut kann ruhig 1 Jahr überliegen.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
		tritt häufig eine sekundäre Keim-hemmung auf und die Samen liegen über/ Bei der Stratifikation gekeimtes Saatgut kann bis zur Aussaat ein-gefroren werden				
Alnus glutinosa	März/ Spätherbst	Feuchter Boden in schattiger Lage/ Keimfähigkeit bis 3 Jahre/ Keimlinge sind spätfrostgefährdet/ Sämlinge sind trockenheitsgefähr-det	1 - 2 - (3)	30 - 70 % 4 - 5 Wo	Die Beerntung der Samen erfolgt kurz vor dem natürli-chen Zapfenfall im November. Die Keimfähigkeit bleibt selbst bei Entfeuchtung zur Lagerung erhalten. Eine besondere Strat. wird nicht durchgeführt, da keine Keimhemmung ein-setzt.	Auf jeden Fall unbehandeltes Saatgut verwenden, da die dünnwandigen Sa-men auch so recht empfindlich sind und bei der maschinellen Ausbringung ver-letzt werden könnten.
Alnus incana	März/ Spätherbst	Feuchter Boden in schattiger Lage/ Keimfähigkeit bis 3 Jahre/ Keimlinge sind spätfrostgefährdet/ Sämlinge sind trockenheitsgefähr-det	1 - 2 - (3)	30 - 70 % 3 - 5 Wo	s. o.	s. o.
Alnus viridis	März/ Spätherbst - Winter als Schnee-ansaat	Feuchter Boden in schattiger Lage/ Keimfähigkeit bis 3 Jahre/ Aussaat unter Frosteinwirkung von Vorteil/ Sämlinge sind trockenheitsgefähr-det		bis 30 % 2 - 4 Wo	Unstratifiziertes Saatgut als Schneeansaat in alpinen Hö-henlagen	Je nach Standort und Höhenlage: Schneeansaat
Amelanchier ovalis	März-April/ Juli-Aug.	Doppelte Keimhemmung durch noch nicht voll entwickelte Embry-os (bereits unreife Samen müssen geerntet werden, da die reifen Samen von Vögeln gefressen werden) und hart gewordene Sa-menschale bei trocken geworde-nen Samen / Ein Überliegen des Saatgutes ist möglich	1 - 2	4 Wo, bei Keimruhe 1 - 2 Jah-re	Nach der Haufengärung wird das ausgewaschene frische Saatgut im Juli - Aug. oder strat. im darauf folgenden Frühjahr ausgebracht	Auch im Frühjahr kann unstrat. Saatgut verwendet werden, welches dann 1 bis 2 Jahre aufgrund der Keimhemmungen überliegt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
Berberis vulgaris	Feb.-März/ Okt.-Nov.			90 %	Nach der Ernte im Sep. sollte das Saatgut 6 – 13 Wo bei 1 - 5° vorbehandelt werden.	Es bestand ein Anbauverbot, da *Berberis vulgaris* ein Zwischenwirt vom Getreiderost ist.
Betula pendula	März-April/ Oktober	Gut durchlässiger feuchter Boden/ Lichtkeimer - flache Ansaat/ Frisches Saatgut hat nur eine geringe Keimfähigkeit von 15 -20 %	1 - 3	30 - 70 % (gereinigt) 4 - 5 Wo	Eine besondere Strat. findet nicht statt.	Auf der Verkehrswegeböschung in der Regel Selbstansaat durch den Wind.
Betula pubescens	s. o.	s. o.	s. o.	30 - 70 % (gereinigt) 3 - 5 Wo	s. o.	s. o.
Carpinus betulus	Frühjahr/ Herbst	Getrocknete Samen unterliegen einer doppelten Keimhemmung/ Sämlinge sind spätfrostgefährdet/ Wurzeln sind empfindlich und brechen leicht ab	1,5	30 - 70 % 5 - 10 Wo	Vor der Vollreife erfolgt die Sammlung der Samen, die dann entflügelt und direkt ausgebracht werden. Gekeimte strat. Samen können bis zur Ausbringung eingefroren werden	Zur Begrünung einer Verkehrswegeböschung ist die Ausbringung von frischem Saatgut direkt nach der Ernte im Herbst am sichersten. Die Verwendung von stratifiziertem Saatgut erweist sich hierbei als ungünstig, da die Stratifizierung sehr kompliziert ist und strat. Saatgut, sobald eine Keimung erkennbar ist, direkt ausgebracht oder eingefroren werden muss. Zudem sind die Wurzeln von gekeimten *Carpinus*- Samen sehr empfindlich, was für eine Nassansaat ungünstig erscheint.
Clematis vitalba	März/ April/ Herbst	Samen unterliegen einer Keimhemmung durch unterentwickelte Embryos	2/ bis 5 getrocknet	- 30 % 4 - 5 Wo	Nach der Ernte der braunen Samen werden diese von ihren Griffeln befreit und den Winter über Warm-Kalt-Strat.	Frisches oder unstrat. lagerfähig gemachtes Saatgut ausbringen. Da *Clematis vitalba* keine den Standort erstbesiedelnde Rohbodenpionierart darstellt, können im Frühjahr oder später ausgebrachte Samen ruhig ein bis mehrere Jahre überliegen
Cornus mas	Frühjahr/ Herbst	Lange Keimzeiten – Steckholzvermehrung ist bei *C. mas* effektiver als Ansaat/ Getrocknete Samen unterliegen einer doppelten Keimhemmung	> 2	- 70 % 5 Wo	Nach der Haufenrottung wird das ausgewaschene Saatgut strat. im darauf folgendem Frühjahr ausgebracht. Nicht ausgetrocknete Samen	Aufgrund der komplizierten Stratifikation sollte auf die Ansaat von *Cornus mas* verzichtet werden, wobei andernfalls entweder strat. Saatgut verwendet werden sollte (welches dann trotzdem noch

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
		und doppelten Keimruhe			(Feuchtigkeitsgehalt über 20 %) müssen nur 3 Monate Warm-Strat. werden.	mehrere Jahre überliegen kann) oder im Frühjahr nicht ausgetrocknetes unstrat. Saatgut (welches dann unter günstigen Bedingungen im Sommer im Freiland sich selbst strat.)
Cornus sanguinea	Frühjahr/ Herbst	Lange Keimzeiten/ Getrocknete Samen unterliegen einer doppelten Keimhemmung	> 2	- 70 % 5 Wo	Nach der Haufenrottung wird das ausgewaschene frische Saatgut im Juli-Aug. oder nach Strat. im darauf folgenden Frühjahr ausgebracht. „Nach KRÜSSMAN wird *C. sanguinea* im Frühjahr stratifiziert und im Herbst ausgesät“ (Mac Cárthaight 2000: 243)	Frisches Saatgut nach sofortigem Entfernen des Fruchtfleisches im Herbst ansäen. Möglichst strat. Saatgut im Frühjahr verwenden, da das Saatgut ansonsten 1-2 Jahre überliegt und *Cornus sanguinea* auf einigen Böschungsstandorten in kühlen kalkhaltigen und tonigen Schattlagen den Primärbestand ausmacht.
Corylus avellana	Feb.-März/ Herbst	Saatgut vor Mäuse- und Vogelfraß schützen	1,5	60 - 95%	Die Ernte erfolgt im unreifen Zustand, die Fruchthülle wird entfernt und die Ansaat erfolgt direkt im Herbst. Nicht ausgetrocknetes Saatgut (Feuchtigkeitsgehalt über 20 %) kann den Winter über bei 4 C° im feuchten Sand gelagert und im Frühjahr ausgebracht werden. Bei Austrocknung des Saatgutes ist eine längere Strat. notwendig	Für eine Nassansaat sind aufgrund der Ausbringungsschwierigkeiten Haselnüsse ungeeignet. Eine Nachsaat kann per Hand erfolgen, welche im Herbst mit frischem Saatgut und im Frühjahr mit strat. Saatgut erfolgen sollte, da Hasel zu den Erstbesiedlern zählt und auf einigen Standorten bestandsbildend ist.
Cotoneaster integerrimus	Frühjahr/ Aug.-Sept.	Samen unterliegen einer doppelten Keimhemmung	2	9 - 13 Wo	Die Ernte erfolgt im unreifen Zustand. Nach der Haufenrottung wird das ausgewaschene Saatgut direkt im Herbst oder im darauf folgenden Frühjahr nach Strat. ausgebracht.	Unstrat. Saatgut verwenden. Trockenes im Frühjahr oder Sommer ausgebrachtes Saatgut kann ruhig mehrere Jahre überliegen.
Crataegus sp.	März-April/ (Herbst)	Samen unterliegen einer sekundären Keimhemmung durch das Hartwerden der Schalen und keimen erst im zweiten Frühjahr nach der Ansaat	3	75 - 95 % 5 Wo	s. o.	Da bei *Crataegus* sp. ein sehr hohes Feuerbrand-Risiko bestehen, sollte bei einer Gehölzansaat in Obstanbaugebieten auf den Weißdorn verzichtet werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
Cytisus scoparius	Spätes Frühjahr/ Sommer	Lichtkeimer – flache Ansaat/ Samen unterliegen einer sekundären Keimhemmung nach Austrocknung durch das Hartwerden der Schalen und keimen häufig erst im zweiten Frühjahr nach der Ansaat.	10 - 20 - 25	70 % 5 - 6 Wo	Saatgut nach der Ernte im Winter nicht austrocknen lassen, Heißwasserbehandlung bei 95° C. Samen vorquellen lassen.	Da die Keimung bei etwa 20° C und Licht erfolgt, sollte eine Aussaat mit vorgequelltem Saatgut im späten Frühjahr und Sommer erfolgen.
Euonymus europaeus	Frühjahr/ Herbst	Keimhemmung bei trocken gewordenen Samen/ Fische Samen können nach einem kalten Frühjahr überliegen	1	75 - 95 % 4 - 5 Wo	Die Fruchtkapseln werden bei erkennbarem Aufplatzen geerntet und bis zur vollständigen Öffnung in Kisten gelagert. Die heraus gelösten Samen werden im Herbst direkt ausgebracht oder bis zum Frühjahr in feuchtem Sand stratifiziert.	Unstrat. Saatgut verwenden. Trocken gewordenes oder im zu kalten Frühjahr ausgebrachtes Saatgut kann ruhig überliegen.
Fraxinus excelsior	Frühjahr/ Herbst	Keimlinge benötigen schattige und frostsichere Standorte/ Samen unterliegen einer dreifachen Keimhemmung/ Südlichere Herkünfte treiben früher aus und sind in unseren Breitengraden frostgefährdet	2 - 7	65 - 95 % 2 - 4 Wo	Direkte Aussaat nach der „grünen“ Ernte im Herbst. Eine Entflügelung und Reinigung der Saat ist vorher notwendig. Im Frühjahr wird strat. Saatgut verwendet. Samen kann zur Verhinderung der vorzeitigen Keimung bei -2°C. kühl gelagert werden. Strat.-Zeiten (Mon.): Frühernten - 2 Normalernten - 6	Im Herbst frisches unreifes, ansonsten unstrat. Saatgut verwenden. Reifes, im Herbst ausgesätes Saatgut kann ein Jahr überliegen. Im Frühjahr oder Sommer ausgebrachtes Saatgut kann mehrere Jahre überliegen. Wenn auf dem Standort eine schnelle Begrünung mittels Eschen erforderlich ist, muss im Frühjahr strat. Saatgut verwendet werden.
Hippophaë rhamnoides	April-Mai/ Okt.-Nov.	Keimhemmung durch das Hartwerden der Schalen bei zu hohen Temperaturen und Trockenheit/ Lichtkeimer – flache Ansaat	2 - 3	75 - 95 % 4 Wo	Nach der Ernte im Aug.-Sept. werden die Früchte rotten gelassen, erdrückt und anschließend gewaschen. Nach 3 Monaten Kaltstrat. werden sie im späten Frühjahr ausgebracht.	Im Herbst frisches und im Frühjahr strat. Saatgut verwenden.
Ligustrum vulgare	März/ Herbst	Keimhemmung durch im Fruchtfleisch enthaltene Hemmstoffe möglich/ Getrocknete Samen sind bis 2	1 - 2	75 - 95 %	Nach der Ernte bei Vollreife werden die Früchte gewaschen und 3 Monate Kaltstrat. Im Herbst können frisch geern-	Im Herbst frisches ungewaschenes Saatgut verwenden. Im Frühjahr ausgesätes unstrat. Saatgut überliegt ein Jahr.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
		Jahre lagerungsfähig			tete, ungewaschene Früchte ausgesät werden, welche dann verrotten und sich den Winter über selbst strat.	
Lonicera xylosteum	März-April/ Herbst	Getrocknete Samen sind bis 15 Jahre Lagerungsfähig/ Sämlinge sind frostempfindlich	2 (bis 15 getrockn.)	75 - 95 % 3 - 4 Wo	Nach der Ernte erfolgt eine Haufenrottung, nach der das ausgewaschene Saatgut direkt im Herbst oder im darauf folgenden Frühjahr nach dreimonatigen Kalt-Strat. Ausgebracht wird.	Im Herbst kann frisches ungewaschenes Saatgut verwendet werden, die Rottung und Selbst-Strat. findet an der Böschung statt. Im Frühjahr ausgesätes unstrat. Saatgut kann, da es sich bei der Heckenkirsche um keine bestandsbildende Rohboden-pionierart, sondern um eine Vorwaldart handelt, ruhig mehrere Jahre überliegen.
Malus sylvestris	(Februar) April-März/ Spätherbst	Keimhemmung durch Hartschaligkeit/ Sekundäre Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen (15-20 °C)	2	75 - 95 % 5 - 6 Wo	Die reifen Früchte werden entweder entkernt oder mazeriert und im Haufen zum Rotten gelagert. Danach werden die Samen durch Abwaschen gereinigt und im feuchten Sand zur Strat. (6 Wochen bei 2 - 4°C.) eingeschichtet. Die Aussaat erfolgt im Spätherbst oder im zeitigen Frühjahr	Die Aussaat erfolgt Strat. im Spätherbst oder zeitigem Frühjahr. Bei späterer Aussaat und der Verwendung von unstrat. Saatgut kann das Saatgut überliegen, was in diesem Fall beim Wildapfel als nicht bestandsbildende Leitart in Kauf genommen werden kann.
Prunus avium	Februar-März/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen und Trockenheit/ Embryonenruhe/ Wurzel brechen bei Keimlingen leicht ab	1 - 2	95 % 4 - 5 Wo	Für die zeitige Frühjahrs-aussaat 3 - 5 Monate Strat. der gereinigten Samen bei konstanten, niedrigen Temp.	Die Aussaat von frischem Saatgut erfolgt im Herbst. Strat. Saatgut sollte nur im zeitigen Frühjahr verwendet werden, da das Saatgut beim mechanischen Ausbringen auf keinen Fall gekeimt sein darf, weil die Wurzeln sehr leicht abbrechen. Ohne Probleme kann unstrat. Saatgut überliegen werden lassen, da *Prunus*-Arten nicht zu den bestandsprägenden Leitarten gehört.
Prunus fruticosa	Februar-März/ Herbst	s. o.	1 - 2	(40-) 60 - 70 % 4 – 5 Wo	s. o.	s. o.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
Prunus spinosa	Februar-März/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen (Optimum: 6 - 12°C) und Trockenheit/ Embryonenruhe/ Wurzel brechen bei Keimlingen leicht ab	1 - 2	(40-) 60 - 70 % 4 - 5 Wo	Die Herbstaussaat vom fri-schen Saatgut führt zu sehr guten Keimungsergebnissen im nächsten Frühjahr. 3-5 Monate Strat. der gereinig-ten Samen bei konstanten, niedrigen Temp.	s. o.
Prunus mahaleb	Februar-März/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen (Optimum: 6 - 12°C) und Trockenheit/ Embryonenruhe/ Wurzel brechen bei Keimlingen leicht ab	1 - 2	(40-) 60 - 70 % 4 - 5 Wo	Für die zeitige Frühjahrs-aussaat 3-5 Monate Strat. der gereinigten Samen bei kon-stanten, niedrigen Temp.	s. o.
Prunus padus	Februar-März/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen und Trockenheit/ Embryonenruhe/ Wurzel brechen bei Keimlingen leicht ab	1 - 2	s. o.	s. o.	s. o.
Pyrus communis	Februar-März(April)	Keimhemmungen durch zu hohe Bodentemperaturen und Trocken-heit möglich	2 – 3 (bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 10 %)	30 - 70 % 3 - 4 Wo	Die reifen Früchte werden im Haufen anrotten gelassen, mazeriert und abgewaschen. Die Strat. erfolgt 6 – 10 Wo-chen bei 3 - 10°C. Ausgesät wird im zeitigen Frühjahr	Die Aussaat erfolgt Strat. im zeitigen Frühjahr. Strat. Saatgut sollte nur im zeitigen Frühjahr verwendet werden, da das Saatgut sonst später überliegen könnte. Zu anderen Ansaatterminen kann un-strat. Saatgut verwendet werden, was dann überliegt.
Rhamnus cathartica	März-April/ Herbst	Ein gelegentliches Überliegen des Saatgutes ist möglich/ Getrocknete Früchte werden hart-schalig		30 - 70 % 4 - 6 Wo	Nach der Ernte der noch unrei-fen Früchte erfolgt eine Hau-fenrottung, nach der das aus-gewaschene Saatgut direkt im Herbst oder im darauf folgen-den Frühjahr nach 2 - 3 mona-tiger Kalt-Strat. (bei 4 – 8° C.) ausgebracht wird. Getrocknete Früchte müssen 3 Mon. Warm-Strat. oder ab Juli ausgebracht werden.	Frisches Saatgut kann im Herbst aus-gebracht werden. Im Frühjahr und Sommer kann unstrat. Saatgut ausgebracht werden, da im Sommer eine Selbst-Strat. auch von hartschalig gewordenem Saatgut statt-findet.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
Rhamnus frangula	März-April/ Herbst	s. o.	s. o.	30 - 70 - (100) % 4 Wo	s. o.	s. o.
Rosa arvensis	Februar-April/ Okt.-Nov.	Komplexe Keimhemmung durch die Nuss- und Fruchtschale/ Keimfähigkeit nimmt ab, je länger das Saatgut überliegt	1 - 3	65 %	Reife Früchte anrotten lassen oder vollreife Früchte ernten und den Samen auswaschen. Die Ausbringung erfolgt im Herbst unmittelbar nach dem Auswaschen oder im Frühjahr nach 12 Wochen Warm- und 10 Wochen Kalt-Strat. Die RAS-LG 3 (1983) empfiehlt eine 18-27 Monate Kalt-Strat. bei ca. 5 °C..	Im Herbst könnte wärmebehandeltes z. T. strat. Saatgut verwendet werden. Im Frühjahr möglichst strat. Saatgut aufbringen, da es ansonsten zum Über-liegen kommt. Im Sommer könnte unstrat. Saatgut verwendet werden, welches dann natür-licherweise auf der Böschung strat. würde und dann im kommenden Früh-jahr keimt. Ein einjähriges Überliegen von unstrat. Saatgut sollte nach Möglichkeit vermie-den werden, da Rosen auf vielen Bö-schungsstandorten zu den bestandsbil-denden Rohbodenpionierarten gehören.
Rosa canina	s. o.	s. o.	s. o.	62 %	s. o.	s. o.
Rosa glauca (rubrifolia)	s. o.	s. o.	s. o.	30 - 70 - (95) %	s. o.	s. o.
Rosa spinosissima (pimpinellifolia)	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.
Rosa rubiginosa	s. o.	s. o.	s. o.	64 %	s. o.	s. o.
Salix sp.	Frühjahr/ Herbst	Gut durchlässiger feuchter Boden/ Lichtkeimer – flache Ansaat/ Samen haben nur kurze Lebens-dauer (max. 10 Tage)	-	- 30 %		Auf die Aussaat von Weiden sollte auf-grund der kurzen Lebensdauer der Samen zur Böschungsbegrünung ver-zichtet werden. Die schmalblättrigen Weidenarten kön-nen als zusätzliche Sicherungsmaß-nahme als Steckholz oder im Lagenbau in die Böschung gebracht werden.
Sambucus nigra	März-April/ Herbst	Beschatteter Boden	1 (2)	70 - 95 % 4 Wo	Die Ernte erfolgt bei Vollreife im Aug.-Sept., danach wird das Saatgut sofort 3 Monate	Da trotz Strat. eine teilweise Keimung erst nach zwei Jahren möglich ist, kann bei der Begrünung einer Verkehrswe-

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
					Kalt- oder 6 Monate Warm-Kalt-Strat. Die Ansaat erfolgt Ende April auf schattigen Böden. Auch eine Herbstaussaat von frischem Saatgut ist möglich.	geböschung auf strat. Saatgut verzichtet werden. Unstrat. lagerfähig gemachtes Saatgut kann ganzjährig ausgebracht werden und demnach bis zu 2 Jahren überliegen. Bis dahin ist die Entwicklung des Bestands auch soweit, um den Boden ausreichend zu beschatten.
Sambucus racemosa	März-April/ Herbst	Saatgut ist spätfrostgefährdet/ Beschatteter Boden	1 (2)	70 - 95 % 4 Wo	Die Ernte erfolgt bei Vollreife im Juli-Aug, danach wird das Saatgut sofort 5 Monate Kalt- oder 6 Monate Warm-Kalt-Strat. Die Ansaat erfolgt Ende April auf schattigen Böden. Auch eine Herbstaussaat von frischem Saatgut ist möglich	s. o.
Sorbus aria	März-April/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen (> 15 °C) und Trockenheit/ Saatgut kann lange (2-8 Jahre) gelagert werden	2 – 8 (beste Beding. bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 8 %)	70 - 95 % 4 - 5 Wo	Die physiolog. reifen Früchte werden mazeriert und die Samen ausgewaschen. Die Kalt- Strat. beträgt bei 1°C. 3 Monate. Frisches ungetrocknetes Saatgut wird empfohlen, sonst kann die Hartschaligkeit keimhemmend wirken. Zur Überwindung der Hartschaligkeit muss 3-6 Monate Warm-Strat. werden.	Frisches Saatgut kann im Herbst ausgebracht werden. Im Frühjahr und Sommer kann unstrat. Saatgut ausgebracht werden, da im Sommer eine Selbst-Strat. auch von hartschalig gewordenem Saatgut stattfindet und *Sorbus aria* ruhig mehrere Jahre überliegen kann.
Sorbus aucuparia	März-April/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen (> 15 °C) und Trockenheit/ Saatgut kann lange (2-8 Jahre) gelagert werden	s. o.	30 - 70 % 4 - 5 Wo	s. o. Früher wurden *Sorbus*-Arten auch in mit Samen angereichertem Hühnermist ausgebracht.	Im Herbst wird frisches Saatgut verwendet, welches sich den Winter über Selbststrat. Im zeitigen Frühjahr sollte strat. Saatgut verwendet werden, da *Sorbus aucuparia* als ein zur Erstbesiedelung wichtiger Rohbodenpionier gilt.
Sorbus torminalis	März-April/ Herbst	Keimhemmung durch zu hohe Temperaturen (> 15 °C) und Tro-	3	s. o.	s. o.	Frisches Saatgut kann im Herbst ausgebracht werden.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Arten	Geeigneter Aussaat-zeitpunkt	Bemerkungen/ Standortansprüche/ Keimungseigenschaften	Keimfähig-keitsdauer Jahre	Keimung in % / Keimzeit Wochen	Praktische Erfahrungen und Umgang aus der Gehölzver-mehrung und Begrünung	Empfehlungen und Lösungsansätze zur Sicherung und Begrünung von Verkehrswegeböschungen
		ckenheit/ Saatgut kann lange (2-8 Jahre) gelagert werden				Im Frühjahr und Sommer kann unstrat. Saatgut ausgebracht werden, da im Sommer eine Selbst-Strat. auch von hartschalig gewordenem Saatgut statt-findet und *Sorbus torminalis* ruhig meh-rere Jahre überliegen kann.
Tilia cordata	Frühjahr/ Herbst	Saatgut jahrelang im Boden keim-fähig/ Verrottungsgefahr bei keimendem Saatgut durch Nässe, aber mäßige Feuchte ist für Keimung notwendig/ Starker Lichtentzug mindert die Keimfähigkeit/ Sämlinge sind spätfrostgefährdet/ Doppelte Keimhemmung durch Trockenheit	1,5 - 2	(30-) 70 - 95 % 4 - 6 Wo	Die Samen müssen frühzeitig geerntet werden, da sonst eine Hartschaligkeit einsetzt. Die Ausbringung der Samen erfolgt frisch im Herbst oder bei etwa 4 °C. im feuchten Sand strat. in Frühjahr. Trockenes Saatgut muss einer längeren Warm-Kalt-Strat. unterzogen werden.	Da selbst strat. Saatgut 1 bis 2 Jahre überliegt, kann bei Linden ganzjährig unstrat. Saatgut verwendet werden. Optimaler Ansaatzeitpunkt ist für fri-schen Samen der Herbst.
Tilia platyphyllos	Frühjahr/ Herbst	s. o.	1,5 - 2	s. o.	s. o.	s. o.
Viburnum lantana	April-Mai/ Aug.-Sept.	Samen liegt meist ein Jahr über/ Samen unterliegen einer doppelten Keimhemmung durch Trockenheit	1 - 2	30 - 70 % 4 - 5 Wo	Die roten Früchte werden vor Vollreife gesammelt und maze-riert. Dann einer leichten Fer-mentierung ausgesetzt und gewaschen. Die Ausbringung erfolgt sofort im Herbst oder der Samen wird an der Luft getrocknet den Winter über mit feuchtem Vermiculite ver-mischt und im darauf folgen-den Frühjahr ausgebracht.	Im Herbst kann problemlos unstrat. frisches Saatgut verwendet werden. Auch im Frühjahr kann unstrat. Saatgut verwendet werden, welches dann ein Jahr überliegt.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Umwelt und Raum

Schriftenreihe Institut für Umweltplanung

Leibniz Universität Hannover

Bislang in der Schriftenreihe erschienen:

Band 1: Reich, M. & S. Rüter (Hrsg.)
Energiepflanzenanbau und Naturschutz
Cuvillier, 2010, 165 Seiten
ISBN 978-3-86955-473-0

Band 2: Reich, M. & S. Rüter (Hrsg.)
Auswirkungen des großflächigen Anbaus von Energiepflanzen auf die Tierwelt der Agrarlandschaft
Cuvillier, 2011, 244 Seiten
ISBN 978-3-86955-606-2

Band 3: Urban, B., C. v. Haaren, H. Kanning, J. Krahl & A. Munack
Methode zur Bewertung der Biodiversität in Ökobilanzen am Beispiel biogener Kraftstoffe
Cuvillier, 2011, 210 Seiten
ISBN 978-3-86955-697-0

Band 4: Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (Hrsg.)
Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen
Cuvillier, 2011, 457 Seiten
ISBN 978-3-86955-753-3

Band 5: Stowasser, A.
Potenziale und Optimierungsmöglichkeiten bei der Auswahl und Anwendung ingenieurbiologischer Bauweisen im Wasserbau
Cuvillier, 2011, 404 Seiten
ISBN 978-3-86955-795-3

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.