

Eva Hacker  
Rolf Johannsen  
Ingenieurbiologie



Ulmer

**UTB**



UTB 3332

**Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage**

Böhlau Verlag · Wien · Köln · Weimar  
Verlag Barbara Budrich · Opladen · Farmington Hills  
facultas.wuv · Wien  
Wilhelm Fink · München  
A. Francke Verlag · Tübingen und Basel  
Haupt Verlag · Bern · Stuttgart · Wien  
Julius Klinkhardt Verlagsbuchhandlung · Bad Heilbrunn  
Mohr Siebeck · Tübingen  
Nomos Verlagsgesellschaft · Baden-Baden  
Orell Füssli Verlag · Zürich  
Ernst Reinhardt Verlag · München · Basel  
Ferdinand Schöningh · Paderborn · München · Wien · Zürich  
Eugen Ulmer Verlag · Stuttgart  
UVK Verlagsgesellschaft · Konstanz, mit UVK/Lucius · München  
Vandenhoeck & Ruprecht · Göttingen · Oakville  
vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Eva Hacker und Rolf Johannsen

# Ingenieurbiologie

195 Abbildungen

56 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

**Eva Hacker**, Jahrgang 1952, studierte an der Martin-Luther-Universität Halle Dipl.-Biologie mit dem Schwerpunkt Geobotanik und promovierte an der RWTH Aachen. Nach einer Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Landschaftsökologie und Landschaftsgestaltung war sie viele Jahre selbstständig im eigenen Planungsbüro für Vegetationskunde, Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie in Aachen tätig. Seit 1997 vertritt sie als Universitätsprofessorin das Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurbiologie am Institut für Umweltplanung an der Leibniz-Universität Hannover. Seit 2003 ist sie Vorsitzende der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e. V. und zurzeit Präsidentin der Europäischen Föderation für Ingenieurbiologie.

**Rolf Johannsen**, Jahrgang 1954, studierte an der RWTH Aachen Bauingenieurwesen mit der Vertiefung Konstruktiver Ingenieurbau. Während und nach dem Studium arbeitete er am Lehrstuhl für Landschaftsökologie und Landschaftsgestaltung. Über 15 Jahre lang leitete er in Aachen ein eigenes Planungsbüro für Ingenieurbiologie und Wasserbau. Im Ingenieurbüro Johannsen und Spundflasch in Thüringen ist er weiterhin als Partner an der Planung und Umsetzung ingenieurbilogischer Maßnahmen beteiligt. Seit 1995 unterrichtet er an der FH Erfurt an der Fakultät für Landschaftsarchitektur, Gartenbau und Forst die Lehrgebiete Ingenieurbiologie, Gewässerkunde sowie den Tief- und Wasserbau für Landschaftsarchitekturstudenten.

#### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8001-2844-0 (Ulmer)

ISBN 978-3-8252-3331-7 (UTB)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2012 Eugen Ulmer KG

Wollgrasweg 41, 70599 Stuttgart (Hohenheim)

E-Mail: [info@ulmer.de](mailto:info@ulmer.de)

Internet: [www.ulmer.de](http://www.ulmer.de)

Lektorat: Alessandra Kreibaum, Kristina Maier

Herstellung: Jürgen Sprengel

Umschlagentwurf: Atelier Reichert, Stuttgart

Satz: Arnold & Domnick, Leipzig

Druck und Bindung: Graph. Großbetrieb Friedr. Pustet, Regensburg

Printed in Germany

ISBN 978-3-8252-3332-7 (UTB-Bestellnummer)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	13
1.1	Definition und Geschichte .....	14
1.2	Ziele .....	19
<b>2</b>	<b>Baustoff Pflanze</b> .....	22
2.1	Ingenieurbioologische Wirkungen von Pflanzen .....	23
2.2	Biotechnische Eigenschaften von Pflanzen .....	26
2.2.1	Wurzelsysteme .....	27
2.2.2	Oberirdischen Organe .....	35
2.2.3	Physiologische Fähigkeit der Pflanzen zur Transpiration .....	41
2.2.4	Fähigkeiten der Pflanzen zur Vergesellschaftung und Sukzession .....	41
2.2.5	Morphologisch-anatomische Anpassung an Standorte .....	43
2.3	Ansiedlung von Vegetation .....	44
2.3.1	Zielvegetation .....	44
2.3.2	Standortbetrachtung .....	44
2.3.3	Berücksichtigung standortgerechter und gebietsheimischer Arten .....	45
2.3.4	Zeitfaktor und Ansiedlung .....	45
2.3.5	Pflanzenwahl .....	46
2.3.6	Ansiedlungsmöglichkeiten .....	47
2.3.7	Gesamtwirkung .....	47
<b>3</b>	<b>Naturbau- und Begrünungshilfsstoffe</b> .....	49
3.1	Naturbaustoffe .....	50
3.1.1	Natursteine und Erden .....	50
3.1.2	Baustoffe und Bauelemente aus Holz und Reisig .....	51
3.1.3	Pflanzenfasern .....	52
3.2	Begrünungshilfsstoffe .....	55
3.2.1	Dünger .....	55

3.2.2	Bodenverbesserungsmittel . . . . .	57
3.2.3	Kleber . . . . .	58
<b>4</b>	<b>Mechanische, geo- und hydrotechnische Grundlagen der Ingenieurbiologie</b> . . . . .	<b>60</b>
4.1	Mechanische Grundlagen . . . . .	60
4.2	Geotechnische Grundlagen . . . . .	62
4.3	Hydrotechnische Grundlagen . . . . .	64
4.4	Erosion und Erosionsschutz . . . . .	67
4.4.1	Einwirkungen auf Boden und Fels . . . . .	68
4.4.2	Erosionswiderstände von Boden und Fels . . . . .	70
<b>5</b>	<b>Standortbetrachtungen für ingenieurbiologisches Arbeiten</b> . . . . .	<b>72</b>
5.1	Standortfaktoren . . . . .	72
5.1.1	Naturräumliche Situation . . . . .	72
5.1.2	Boden . . . . .	73
5.2	Vegetationskundliche Erhebungen . . . . .	75
5.2.1	Bedeutung von pflanzensoziologischen Aufnahmen . . . . .	76
5.2.2	Bedeutung der potenziell natürlichen Vegetation . . . . .	76
5.2.3	Bedeutung von Arealkarten . . . . .	78
5.2.4	Bioindikation . . . . .	79
5.3	Böschungen, Hänge und Ufer als Pflanzenstandorte . . . . .	83
5.3	Gewässergüte . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Vegetationsstrukturen zur ingenieurbiologischen Sicherung und Gestaltung</b> . . . . .	<b>86</b>
6.1	Bedeutung und Initiierung einer schützenden Pflanzendecke . . . . .	86
6.2	Vegetationsstrukturen und ihre Aufgaben . . . . .	89
6.2.1	Vegetationsstrukturen aus krautigen Pflanzen und Gräsern . . . . .	90
6.2.2	Vegetationsstrukturen aus Flutrasen, Röhrichtern und Feuchthochstauden . . . . .	92
6.2.3	Gehölzstrukturen aus Sträuchern . . . . .	93
6.2.4	Gehölzstrukturen aus Bäumen . . . . .	95
6.3	Hinweise auf lebende Baustoffe und Bauweisen zur Initiierung von Vegetationsstrukturen . . . . .	97
6.3.1	Krautige Pflanzen und Gräser . . . . .	98
6.3.2	Röhrichte und Hochstauden . . . . .	102
6.3.3	Bäume und Sträucher . . . . .	103
<b>7</b>	<b>Planung, Ausführung und Pflege ingenieurbiologischer Maßnahmen, Sicherheitsbetrachtungen</b> . . . . .	<b>107</b>
7.1	Planung ingenieurbiologischer Maßnahmen . . . . .	107
7.2	Leistungsphasen der Objektplanung . . . . .	109
7.2.1	Grundlagenermittlung . . . . .	109

7.2.2	Vorentwurf . . . . .	109
7.2.3	Entwurfsplanung . . . . .	110
7.2.4	Genehmigungsplanung . . . . .	110
7.2.5	Ausführungsplanung . . . . .	110
7.2.6	Vorbereitung der Vergabe . . . . .	111
7.2.7	Bauüberwachung . . . . .	111
7.2.8	Objektbetreuung und Dokumentation . . . . .	111
7.3	Ausführung ingenieurbioologischer Maßnahmen . . . . .	111
7.4	Bauausführung . . . . .	111
7.5	Sicherheitsbetrachtungen . . . . .	112
7.5.1	Planungs- und bauvertragsrechtliche Hintergründe . . . . .	112
7.5.2	Empirische Sicherheits- und Qualitätsstandards . . . . .	113
7.5.3	Statistische Einschätzung klimatologischer und hydrologischer Ereignisse . . . . .	114
7.5.4	Sicherheitsbewertungen auf der Grundlage von mechanischen Modellen . . . . .	115
7.5.5	Globale Sicherheitsnachweise . . . . .	115
7.5.6	Bewertung auf der Grundlage eines landschaftsökologischen Bewertungsverfahrens . . . . .	116
7.5.7	Fazit und Empfehlung . . . . .	116
<b>8</b>	<b>Ingenieurbioologie im Erdbau . . . . .</b>	<b>117</b>
8.1	Anmerkungen zum Stand und zu den Regeln der Technik . . . . .	117
8.2	Böschungsgestaltung . . . . .	120
8.3	Geotechnisch stabile Geländeformen . . . . .	124
8.3.1	Rutschungseinflüsse . . . . .	125
8.3.2	Mechanische Modelle und rechnerische Nachweise zur Standsicherheit . . . . .	125
8.3.3	Blockmodelle mit ebenen Gleitflächen . . . . .	127
8.4	Regelung des Wasserhaushaltes an Böschungen . . . . .	127
8.4.1	Oberflächenwasserabfluss aus dem Oberhang . . . . .	128
8.4.2	Sicker- und Schichtwasseraustritte . . . . .	129
8.4.3	Entwässerung oberflächennaher Grenzsichten . . . . .	130
8.4.4	Biotechnische Entwässerung . . . . .	130
8.4.5	Schutz unterhalb liegender Anlagen, Wege, Straßen und Plätze vor Wasser aus Böschungen . . . . .	131
8.5	Erosion und Erosionsschutz auf Böschungen und Hängen . . . . .	132
8.5.1	Erosionseinwirkungen und -widerstände . . . . .	132
8.5.2	Erosionswiderstand von Vegetationsbeständen auf Böschungen . . . . .	133
8.5.3	Erosionswiderstände durch Bauweisen auf Böschungen . . . . .	134
8.5.4	Ansiedlung von Vegetationsstrukturen zur Erosionsminderung . . . . .	140

8.5.5	Unterhaltungsarbeiten auf Böschungen und Hängen . . . . .	149
8.6	Gestaltung und Begrünung von Felsböschungen . . . . .	150
8.7	Böschungen auf stark anthropogen veränderten Standorten . . . . .	152
8.7.1	Technogene Standorte ohne Vegetationstragschicht . . . . .	153
8.7.2	Sicherung mit Vegetationstragschichten . . . . .	155
8.7.3	Deponien und Altablagerungen . . . . .	156
<b>9</b>	<b>Ingenieurbiologie an Regenwassermulden und Erosionsgräben . . . . .</b>	<b>158</b>
9.1	Regenwassergräben, -rinnen und -mulden . . . . .	158
9.1.1	Problematik . . . . .	158
9.1.2	Stand und Regeln der Technik . . . . .	159
9.1.3	Problemlösungen und Vorgehensweise . . . . .	160
9.1.4	Begrünung von Regenwasserrückhaltebecken und Versickerungsmulden . . . . .	164
9.2	Erosionsgräben- und Runsensanierung . . . . .	166
9.2.1	Problematik . . . . .	166
9.2.2	Problemlösungen und Vorgehensweise . . . . .	166
9.2.3	Sanierungsbauweisen des Lebendbaus . . . . .	168
9.2.4	Kombination von Natursteinsicherungen mit Lebendbau . . . . .	169
<b>10</b>	<b>Ingenieurbiologische Sicherung und Gestaltung an Gewässern . . . . .</b>	<b>171</b>
10.1	Anmerkungen zum Stand und zu den Regeln der Technik . . . . .	171
10.2	Grundlagen ingenieurbiologischer Planungen an Fließgewässern . . . . .	174
10.2.1	Aufbau von Fließgewässern . . . . .	174
10.2.2	Ziele bei Maßnahmen an Fließgewässern . . . . .	178
10.3	Fließgewässer im Bergland und steilen Hügelland . . . . .	182
10.3.1	Probleme und Lösungsansätze bei der Gewässerrevitalisierung . . . . .	182
10.3.2	Bäche im Berg- und Hügelland mit Sohlenerosion . . . . .	188
10.3.3	Berg- und Hügellandgewässer mit Seitenerosion . . . . .	191
10.3.4	Gestaltung in Ortslagen im Bergland . . . . .	198
10.4	Gewässer im Flachland und flachen Hügelland . . . . .	200
10.4.1	Probleme und Lösungsansätze bei der Gewässerrevitalisierung . . . . .	200
10.4.2	Kleine Gewässer im Flachland . . . . .	205
10.4.3	Gestaltung in Ortslagen im Flachland . . . . .	213
10.5	Ingenieurbiologisch wirksame Strukturen und Bauweisen für Fließgewässer . . . . .	214



10.5.1	Strukturen aus Flutrasen, Röhrichten und Feuchthochstauden . . . . .	214
10.5.2	Vegetationsstrukturen aus Wiesen- und Rasenarten . . . . .	216
10.5.3	Gehölzstrukturen . . . . .	217
10.5.4	Strukturen aus Holz und Reisig . . . . .	220
10.5.5	Strukturen aus Natursteinen und Erden . . . . .	223
10.6	Ufersicherung an stehenden Gewässern . . . . .	227
10.6.1	Einwirkungen auf die Seeufer . . . . .	227
10.6.2	Standortfaktoren an stehenden Gewässern . . . . .	227
10.6.3	Ufersicherungen und Schutz . . . . .	231
10.7	Vegetation auf Flussdeichen und Staudämmen. . . . .	237
<b>11</b>	<b>Ingenieurbioologische Sicherung und Gestaltung an Küsten . . . . .</b>	<b>241</b>
11.1	Dünenstandorte . . . . .	242
11.1.1	Dünenaufbau am Beispiel der Nordseeküste . . . . .	242
11.1.2	Bauweisen zur Sicherung und Entwicklung von Vor- und Weißdünen . . . . .	247
11.1.3	Bauweisen zur Sicherung und Entwicklung von Grau- und Braundünen . . . . .	249
11.1.4	Dünen- und Steiluferschutz an der Ostsee. . . . .	252
11.2	Vorländer . . . . .	254
11.2.1	Aufbau eines Wattvorlandes. . . . .	255
11.2.2	Sicherung und Entwicklung eines Vorlandes. . . . .	258
11.2.3	Entwicklung und Sicherung von Boddenufern an der Ostsee. . . . .	261
11.3	Seedeiche . . . . .	261
11.3.1	Sicherung des Deichfußes im Supralitoral. . . . .	262
11.3.2	Sicherung der marin beeinflussten Deichberme . . . . .	263
11.3.3	Sicherung der marin unbeeinflussten Deichaußen- und der Innenberme . . . . .	263
<b>12</b>	<b>Ingenieurbioologie bei Wind- und Emissionseinwirkungen. . . . .</b>	<b>265</b>
12.1	Windschutz . . . . .	266
12.1.1	Windschutz durch Gehölzstreifen . . . . .	266
12.1.2	Windschutz an Verkehrswegen . . . . .	268
12.1.3	Windschutz auf landwirtschaftlichen Flächen. . . . .	268
12.1.4	Windschutzpflanzungen. . . . .	269
12.1.5	Windschutz in unterschiedlichen Landschaften . . . . .	270
12.2	Immissions- und Staubschutz. . . . .	275
12.3	Lärmschutz . . . . .	277
12.3.1	Gehölzpflanzung ohne Erdwall . . . . .	278
12.3.2	Gehölzpflanzung mit Erdwall. . . . .	278
12.3.3	Steilwälle mit Bepflanzung. . . . .	279
12.3.4	Steilwände und Bepflanzung . . . . .	280
12.4	Blendschutz. . . . .	280
12.5	Pflanzenverwendung . . . . .	281

<b>13</b>	<b>Übertragbarkeit ingenieurbiologischer Arbeitsweisen</b> . . . . .	283
13.1	Ingenieurbiologie im Hochgebirge . . . . .	283
13.2	Ingenieurbiologie an Flüssen in Südeuropa . . . . .	284
13.3	Ingenieurbiologie und vom Feuer gefährdete Gebiete . . . . .	286
13.4	Ingenieurbiologie und Dürreregionen . . . . .	288
13.5	Ingenieurbiologie an Küstenstandorten . . . . .	289
13.6	Ingenieurbiologie in den Tropen . . . . .	291
13.7	Ausblick . . . . .	294
	<b>Anlage A: Pflanzentabellen nach Bauweisen und Standorten</b> . . . . .	295
A 1	Auswahl bodenfestigender Gehölze zur Böschungssicherung . . . . .	296
A 2	Auswahl von Ufergehölzen für ingenieurbiologische Arbeiten . . . . .	302
A 3	Auswahl bodenfestigender Gräser und Kräuter zur Böschungssicherung . . . . .	306
A 4	Auswahl bodenfestigender Röhrichte, Hochstauden, Süß- und Sauergräser . . . . .	312
	<b>Anlage B: Hinweise zu Baustoffen</b> . . . . .	316
B 1	zu Natursteinen und Erden . . . . .	316
B 2	zu Baustoffen und Bauelemente aus Holz, Reisig und Pflanzenfasern . . . . .	318
B 3	Begrünungshilfsstoffe . . . . .	319
	<b>Anlage C: Geotechnische Grundlagen</b> . . . . .	320
C 1	Begriffe der Mechanik und Bodenmechanik . . . . .	321
C 1.1	Mechanische Begriffe . . . . .	321
C 1.2	Bodenklassifizierung für bautechnische Zwecke gemäß DIN 18 196 . . . . .	322
C 1.3	Bodenmechanische Eigenschaften . . . . .	323
C 1.4	Teilsicherheitswerte . . . . .	324
C 2	Bodenmechanische Betrachtungen zur Böschungsstabilität in einfachen Fällen . . . . .	325
C 2.1	Rutschung einer böschungsparellen Vegetationstragschicht . . . . .	325
C 2.2	Oberfläche einer Böschung aus homogenem nicht bindigen Boden . . . . .	328
C 2.3	Untersuchung einer kreisförmigen Gleitfläche in homogenen Böden . . . . .	330
	Variante 1: hoher Grundwasserstand . . . . .	331
	Variante 2: Sicherung durch Gehölzvegetation . . . . .	334
C 3	Hinweise zum Erdbau . . . . .	336

<b>Anlage D: Informationen zu Klima und Hydrologie</b> . . . . .	339
D 1	Bezeichnungen . . . . . 339
D 2	Klima . . . . . 340
D 2.1	Wind . . . . . 340
D 2.2	Schnee . . . . . 341
D 2.3	Starkniederschläge . . . . . 342
D 3	Physikalische Eigenschaften des Wassers . . . . . 343
D 4	Wasserhaushaltsbilanz . . . . . 343
D 4.1	Grundgleichung für den Wasserhaushalt . . . . . 344
D 4.2	Beispiele aus der Ingenieurbilogie . . . . . 345
D 5	Bemessungsabflüsse . . . . . 346
D 5.1	Abflussspenden nach Schröder (1994) für Mitteleuropa . . . . . 347
D 5.2	Kleinsteingzugsgebiete in der freien Landschaft . . . . . 347
D 5.3	Kleinsteingzugsgebiete mit hohem Versiegelungsgrad . . . . . 347
D 5.4	Niederschlag-/Abflussmodelle für Einzugsgebiete mittlerer Größe . . . . . 348
D 5.5	Große Einzugsgebiete mit Flusspegeln . . . . . 348
D 5.6	Ermittlung hydrologischer Daten durch die hydraulische Berechnung beobachteter Hochwässer . . 349
<b>Anlage E: Hydraulische Grundlagen der Ingenieurbilogie</b> . . . . .	350
E 1	Bezeichnungen . . . . . 350
E 2	Hydrostatik – Auftrieb, Wasserdruck . . . . . 351
E 3	Wellenbewegungen an stehenden Gewässern . . . . . 353
E 4	Aspekte der Fließgewässerhydraulik . . . . . 358
E 4.1	Hydrotechnische Begriffe und Gesetzmäßigkeiten . . . 358
E 4.2	Berechnung von Wasserspiegelhöhen und Fließgeschwindigkeiten aus gegebenen Flussprofilen und Abflüssen . . . . . 362
E 4.3	Bewertung von Gewässerabschnitten im Hinblick auf Erosion und Sedimentation . . . . . 366
E 5	Bemessung einer Steinschüttung . . . . . 370
E 6	Strömungskräfte . . . . . 371
Literaturverzeichnis . . . . .	372
Sachregister . . . . .	381



# 1 Einführung

Landschaften und ihre Nutzungen zu sichern und zu entwickeln ist die Aufgabe der Ingenieurbiologie. Sie bedient sich lebender Organismen, toter organischer Baustoffe und herkömmlicher Ingenieurtechnik. Die Grundidee der Ingenieurbiologie ist es, Wunden in der Landschaft durch ökologisch-technische Wirkungskomplexe (Schiechtel 1973) zu „heilen“ und eine der Natur angepasste schützende Pflanzendecke zu entwickeln, nur schneller als es die Natur allein schaffen würde. Auch werden Pflanzenwuchs und der Natur nachgeahmte Konstruktionen genutzt, um Landschaften zu sanieren und zu renaturieren.

Die Ingenieurbiologie ist eine biologisch ausgerichtete Ingenieurbau-technik. Landschaftsökologische und vegetationstechnische Kenntnisse dienen insbesondere zur Sicherung, Erhaltung und Entwicklung von Böschungen, Hängen, Ufern, Vorländern, Deichen und Deponien. Pflanzen und Pflanzenteile als lebende Baustoffe werden dabei so eingesetzt, dass sie im Laufe ihrer Entwicklung im Zusammenhang mit Boden und Gestein, einen eigenen Beitrag zur dauerhaften Sicherung leisten. In der Anfangsphase ist oft eine Verbindung mit unbelebten Baustoffen notwendig. Die sich aus ingenieurbiologischen Bauweisen entwickelnden Vegetationsbestände erfüllen dabei nicht nur den angestrebten technischen Zweck, sondern haben darüber hinaus auch ökologische und landschaftsästhetische Funktion. Im Sinne der Umwelt- und Naturschutzgesetze eignen sich ingenieurbiologische Lösungen zur Minderung und zum Ausgleich von Eingriffen in Natur und Landschaft.

Ingenieurbiologische Bauweisen haben ihren Ursprung in handwerklichen Techniken. Seit alters her aufgrund von Erfahrung angewendet, werden heute ingenieurbiologische Lösungen für geo- und hydrotechnische Probleme gesucht, die auf systematischen wissenschaftlichen Untersuchungen in Bezug auf Wirkungsweise, Leistungsfähigkeit, Anwendungsbereiche, Pflege und Unterhaltung aufbauen. Natürlich wird auch weiterhin auf empirische Erkenntnisse wie landschaftsbezogene Erfahrungen zurückgegriffen. Möglichkeiten und

Grenzen der Ingenieurbiologie gegenüber technischen Lösungen müssen immer ausgelotet werden.

Ingenieurbiologie bedeutet auch die Nutzung lokaler Ressourcen im Zusammenwirken moderner Ingenieurtechnik mit natürlichen Prozessen. So fordern Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Landschaftsästhetik beim Erosionsschutz aufgaben- und standortangepasste Lösungen. In diesem Sinne will dieses Lehrbuch die konstruktive Nutzung der Vegetation anstelle und in Verbindung mit ingenieurtechnischen Maßnahmen vorstellen und die Grundlagen dazu aufzeigen.

### 1.1 Definition und Geschichte

Ingenieurbiologie ist ein biologisch-technisches Fachgebiet, das sich mit der Sicherung von Bauwerken und Nutzungen mittels Pflanzen und Pflanzenbeständen befasst.

Ingenieurbiologische Bauwerke lassen sich umweltverträglich anlegen.

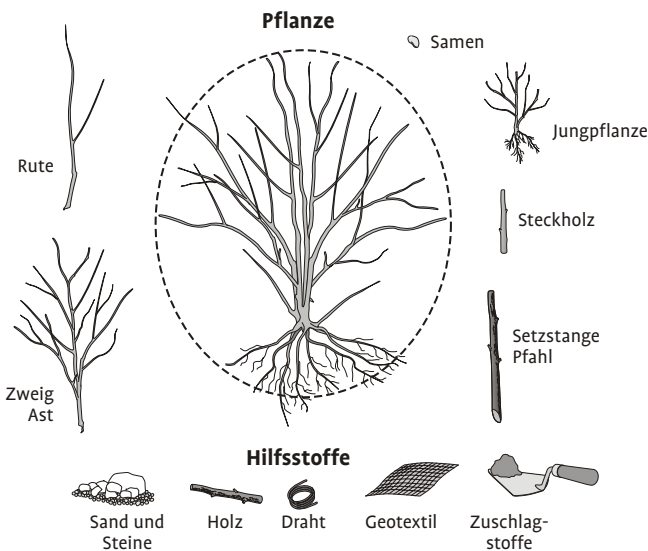
Richtig angewandte Ingenieurbiologie dient somit einer umweltgerechten und nachhaltigen Sicherung der Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts und der Entwicklung von Landschaften.

Diese Definition ist das Ergebnis von Diskussionen und Arbeitsgruppen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie (1992). Damit wird deutlich, dass die Ingenieurbiologie vom klassischen Ingenieurbau nicht zu trennen ist. Jahrhunderte lang war die Art und Weise des Bauens mit Pflanzen in den kulturtechnischen Arbeiten des Erd- und Wasserbaus integriert. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts wurde der Lebendbau oder Lebendverbau, wie er damals als Sicherungsbauweise genannt wurde, durch den verstärkten Einsatz großer Baumaschinen und den damit verbundenen leichten Einbau großer Steinmengen sowie durch Ortbeton und die aufkommenden Betonfertigteile verdrängt. Erst als Folge des in den 1970er- und 80er-Jahren stärkeren Bewusstseins der Bevölkerung für Natur- und Umweltschutzprobleme wurde die Ingenieurbiologie zunehmend wiederentdeckt und ist seitdem als sinnvolle Ergänzung und Bestandteil des Erd- und Wasserbaus zu sehen. Etwa seit 1990 ist die Ingenieurbiologie in die wichtigsten technischen Regelwerke des Erd- und Wasserbaus integriert und aufgenommen worden.

Heute liegt der Schwerpunkt der Ingenieurbiologie im Wasserbau darin, naturnahe Lösungen zur Erreichung des guten Zustands entsprechend der EU-WRRL zu finden, insbesondere durch den Rückbau und eine nur gezielt punktuelle Sicherung von Gewässern. Für die Ingenieurbiologie im Erdbau stellen sich die größten Herausforderungen bei der Hang- und Böschungssicherung unter sich verändernden Standort- und Klimabedingungen. Differenzierte Methoden und geeignete Artenwahl sind in Einklang zu bringen, um Erosionsschutz, Nachhaltigkeit und Biodiversität optimal zu gewährleisten.

Durch diese breiten Anwendungsgebiete haben die Ingenieurbiologie und das Bauen mit Pflanzen gleichzeitig wichtige Aufgaben bei der Landschaftspflege, der Umweltplanung und Landschaftsarchitektur, aber auch bei Fachplanungen der Land- und Forstwirtschaft. Spezialaufgaben liegen im Bereich des Küstenschutzes und der Hochlagensicherung genauso wie bei der Abfallbeseitigung und im Bergbau.

Die Ingenieurbiologie ist überall da einsetzbar, wo es Standortbedingungen für Pflanzenwuchs gibt. Im Mittelpunkt steht die Pflanze mit all ihren einzelnen Teilen, als ganze Pflanze oder als Pflanzengesellschaft im Verband als Vegetationsstück. Naturbaustoffe und Begrünungshilfsstoffe werden häufig für das Pflanzenmaterial als Starthilfe beim Anwachsen und als Konstruktionshilfen gebraucht.



**Abb. 1.1**  
Baustoffe in der Ingenieurbiologie (verändert nach Zeh 1996).

Der Einsatz von Pflanzen zum Schutz des Menschen ist seit vielen alten Hochkulturen bekannt. Immer wieder bezeugen historische Quellen wie Pflanzen als Schattenspender, Windschutz und Gliederungselement verwendet wurden (zitiert in Schlüter 1984, Florineth 2004 und dort weiterführende Literatur).

Bereits bis Ende der vierziger Jahre des 20. Jahrhunderts – die Zäsur erscheint berechtigt, da etwa ab 1950 die Anzahl von Veröffentlichungen und ausgeführten Arbeiten auf dem Gebiet der Ingenieurbiologie sprunghaft zunimmt – wurden ingenieurbiologische Baumaßnahmen in der Literatur beschrieben, aber auch geplant und ausgeführt. Auf verschiedenen Arbeitsgebieten wurden unabhängig voneinander, ingenieurbiologische Baumaßnahmen entwickelt und angewandt. Tabelle 1.1 verdeutlicht die Entwicklung einiger Einsatzgebiete der Ingenieurbiologie.

<b>Tab. 1.1 Historische Eckpunkte der Ingenieurbiologie.</b>		
<b>Aufgabenbereich</b>	<b>Ingenieurbiologische Lösungen</b>	<b>Autor und Jahr</b>
Ufersicherung an Fließgewässern	Bauweisen mit Weiden Faschinenbau Schäden und Nutzen von Gewässerwäldern	Silberschlag 1772/73 Kreuter 1900 Kruedener 1941 Kirwald 1951
Uferschutz an Wasserstraßen	Röhrichtansiedlung und Gehölz- anpflanzungen	Reissek 1859 Bittmann 1953, 1965
Festigung von Deichen und Staudämmen	Sicherungen mit Rasen	Deichgrafen am Niederrhein und in Friesland seit dem späten Mittel- alter Hiller 1999 und dort weitere Literaturlauswertungen
Ufersicherung an Talsperren	Abgewandelte Methoden mit Weiden bei stark schwankenden Wasserständen	Begemann 1987 in Hacker 1997 und dort weitere Literaturlaus- wertungen
Sicherung von Ackerland	Windschutzhecken	Bauern in Heiderandgebieten Pflug 1959 Volgmann 1979
Grünlandsicherung	Verbau von Flächen- und Rinnenerosion	Almbauern im Hochgebirge Schiechtl 1973
Sicherung von Böschungen an Verkehrswegen	Schutzwaldpflege Cordonbau Buschlagen Flechtwerke	Forstwirte im Gebirge Couturier 1880 Luchterhandt 1966 Schiechtl 1973
Hochlagenbegrünungen	Berasung und Bebuschung von Ödland Wildbachverbauungen	Stiny 1908 Strele 1934 Hassenteufel 1950 Prückner 1965
Sicherung von Küsten	Dünenbau Strandhaferpflanzung und Silbergrasansaat	Krause 1820 Gerhardt 1900 Van Dieren 1934 Lux 1964
Begrünung von Deponien	Ansaaten Gehölzanpflanzungen	Volgmann 1978 Bittmann 1964
Emissionsschutzanlagen	Gehölzanpflanzungen	Ehlers 1960 Peucker 1974 Rümmler 1983
Bergbaufolgelandschaften	Böschungsgestaltung und Rekultivierung	Heusohn 1929 Knabe 1959 Darmer 1973

Arbeiten an Gewässern sind ab der Zeit bekannt, als der Mensch Wasser nutzte, wie in der Landwirtschaft und er mit seinen Siedlungen dem Wasser nahe kam. Es gibt ein bezeichnendes Zitat von Leonardo



da Vinci (1452–1519): „Die Wurzeln der Weiden lassen die Böschungen nicht so schnell verfallen...“ Archäobotanische Untersuchungen an Baumwurzeln belegen, dass im Elsbachtal im Rheinland bereits im späten Mittelalter Weiden planmäßig gepflanzt worden sind, und zwar nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch als Böschungsbefestigung im Sinne einer landschaftsschützenden Maßnahme (Tegtmeier 2002). Andere Dokumente gibt es aus der frühen Neuzeit. So ordnete beispielsweise der Preußenkönig Friedrich Wilhelm I. 1735 an: „Wo Grabens seynd, müssen auch auf beyden Seiten Weyden gepflanzt werden, um das Ufer dadurch fester zu machen.“ Von 1770–1790 liegen zahlreiche Schriften vor, in denen nicht nur ingenieurbioologische Bauverfahren beschrieben werden, sondern auch von ihrer erfolgreichen Anwendung im Wasserbau berichtet wird.

Zur Sicherung von Küsten nahm gegen Ende des 18. Jahrhunderts die Bedeutung verschiedener Pflanzenarten für die Landgewinnung und die Sicherung des Deich-Vorlandes zu. Ebenfalls wurde ein wirkungsvoller Umgang mit Pflanztechniken in den Dünenbereichen entwickelt. Zudem wurde frühzeitig versucht, auch vegetationslose, verwehungsgefährdete Sandflächen des Binnenlandes durch Pflanzenmaterial festzulegen.

Ende des 19. Jahrhunderts erlangte die Ingenieurbioologie im Gebirge größere Bedeutung. Im Zusammenhang mit der Wildbach- und Lawinerverbauung und den damit verbundenen Sicherungen von Hängen und Böschungen im Alpenraum wurden bereits 1826 Flechtzäune, Steckholzbesatz und Rasenmauern beschrieben (Duile 1880 zitiert nach Pflug 1995). Seitdem gibt es unzählige Erfahrungen, Verbesserungen und wissenschaftliche Untermauerungen, stellvertretend sollen Stiny (1908), von Hassenteufel (1950) und dann Schiechtl (1973) genannt werden. Schiechtl betonte immer wieder, dass „häufig nicht Ökologen, Biologen oder Naturschützer die Väter des naturnahen Bauens, sondern humanistisch gebildete Ingenieure“ waren. Vorangbracht haben die Erkenntnisse der Ingenieurbioologie aber auch gute Zusammenarbeit verschiedener Fachgruppen, beispielsweise des Geobotanikers Gams (1940) mit dem Ingenieur Schiechtl (1958).

Seit den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts ist auch in der planaren bis montanen Stufe Mitteleuropas der Lebendbau an Gewässern weiterentwickelt worden. Hier waren es die Forstingenieure Kirwald und von Kruedener, die besondere Verdienste für die Entwicklung der „biologisch ausgerichteten Ingenieurtechnik“ haben. Auch haben wir Kruedener (1951) die Formulierung des Wortes „Ingenieurbioologie“ zu verdanken. Mit dem Buch gleichen Namens krönte er sein Lebenswerk und schlug den Bogen von dem Standort der Pflanzen über ihre standortkennzeichnenden Aufgaben bis hin zu ihrer Funktion als Baustoff. Kirwalds Verdienste liegen in der landschaftsgerechten Analyse von Gewässern und der naturnahen Sicherung von Problemstandorten durch sogenannte „Gewässerrwälder“, er ist einer der Begründer des naturnahen Wasserbaus.

<b>Tab. 1.2 Eckpunkte wissenschaftlicher Untersuchungen zur Entwicklung der Ingenieurbiologie.</b>		
<b>Problemstellung</b>	<b>Untersuchungsfeld</b>	<b>Autor und Jahr</b>
Mechanische Wirkung in Böschungen	Untersuchungen an Pflanzenwurzeln	Schaarschmidt und Konecny 1971 Schiechtl 1973 Tobias 1991 Hähne 1994 Schuppner 2003
Hydraulische Wirkung an Gewässern	Untersuchungen an oberirdischen Pflanzendecken	Felkel 1960 Kirwald 1951, 1955 und 1964 Pasche 1984 Mertens 1989 Gerstgraser 1998 Indlekofer 2003 Rauch 2006
Zusammenhänge in der unterirdischen Wirkung	Beschreibung der Entwicklung von Pflanzenwurzeln	Köstler, Brückner, Bibelriether 1968 Kutschera und Lichtenegger 1986–2002
Stabilität von Bäumen	ambivalente Wirkung von Bäumen in der Ingenieurbiologie	Mattheck und Breoler 1994 Wessolly und Erb 1998
Biotechnische Eigenschaften von Pflanzenarten	Wuchsformen Widerstandsfähigkeit Regenerationsfähigkeit	Buchwald 1954 Schiechtl 1973 Hiller 1974 Stolle 2000 Florineth 2004 und dort diverse Diplomarbeiten
Bioindikation	Standortkennzeichnende Pflanzen Pflanzensoziologie, potenziell natürliche Vegetation und Ingenieurbiologie Zeigerwerte	v. Kruedener 1941 Schlüter 1970 Messmer 1973 Ellenberg 1974 et al., 1992
Naturschutzfachlich und sicherungstechnisch orientierte Pflanzenwahl	Artenkombinationen Herkünfte für Saat- und Pflanzgut	Stolle 2000 Hacker und Krautzer 2006
Methodenverbesserung	Optimierung von Begrünungshilfsstoffen Alternative Begrünungsmethoden	Stalljann 2000 Kirmer und Tischew 2006 Schmidt 2007
Systematisierung von Bauweisen	Richtlinien wie RAS-LG 3 Bauweisenübersichten	FGSV 1983 Zeh 1993, 2007 DIN 18 918, DIN 19 657

Hauptanlass für die verstärkte Zuwendung zur Ingenieurbiologie war der Autobahnbau im 20. Jahrhundert mit seiner modernen Straßenbepflanzung, bei dem sich vor allem die Notwendigkeit ergab, Hänge und Böschungen zu befestigen. Auch neue Eisenbahntrassen und die Sicherung von Deponien waren Herausforderungen der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Neue Techniken, wie das Anspritz-

verfahren zur Begrünung, wurden erprobt (Schad 1962). Die ersten Richtlinien und Normierungen wurden aufgestellt wie die „Richtlinie für den Lebendverbau an Straßen“ durch die Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen (1967) und die DIN 18 918 Sicherungsbauweisen im Landschaftsbau (1972).

Forschungsarbeiten und Dissertationen zu ingenieurb biologischen Themen waren der Anfang von umfangreichen Recherchen zu Baustoffen, Verbesserungen von Techniken oder zur Erweiterung der Palette von Bauhilfsstoffen. Neben der Ausführung und Beschreibung von Baumaßnahmen sind dafür in den letzten Jahren und Jahrzehnten vermehrt wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt worden, um die komplexen Wirkungen ingenieurb biologischer Maßnahmen zu erklären. Für Mitteleuropa sind einige Schlüsselarbeiten und -untersuchungen in Tabelle 1.2 zusammengefasst.

Selbstverständlich ist, dass diese Entwicklung auch dazu führte, Ingenieurb iologie als Studienfach zu verankern. Die erste deutsche, eventuell sogar europaweite universitäre Einrichtung wurde als Lehrstuhl für Gartenkunst, Landschaftsgestaltung und Ingenieurb iologie an der Fakultät für Bauwesen, Abteilung Architektur in Dresden mit Professor Werner Bauch besetzt und widmete sich in der Forschung wasserbaulichen Arbeiten wie Flussverlegungen, Uferbefestigungen an Fließgewässern, Talsperren und Rückhaltebecken. Neben der für die 1960iger-Jahre innovativen Entwicklung von Rasen- und Gehölzmatten wurde ein weiteres DDR-typisches Problem angepackt: die Begrünung und Rekultivierung der zahlreichen Halden, Abgrabungen und Deponien des Bergbaues (Linke 2006). Weitere Lehr- und Forschungseinrichtungen folgten beispielsweise in Hannover (Buchwald 1954), Berlin und Aachen. Die Gründung einer wissenschaftlichen Vereinigung zeigte das gewachsene Interesse an der Auseinandersetzung mit ingenieurb biologischen Fragen (Pflug 1982, Gesellschaft für Ingenieurb iologie 1980–2006).

Heute besteht eine Hauptaufgabe der Ingenieurb iologie und der damit Arbeitenden darin, die vielen bekannten Verfahren aufgabenbezogen und standortgerecht anwenden und modifizieren zu können sowie neue Forschungsfelder unter heutigen Bedingungen auszuloten. Dazu soll das Basiswissen Ingenieurb iologie die Grundlage legen.

## 1.2 Ziele

Ingenieurb iologische Arbeiten und Lösungsansätze basieren auf der genauen Kenntnis und dem Zusammenwirken von Pflanzen in ihrer Umwelt – Böden, Klima, Lage im Raum, Nutzungen etc. Aber auch der Bau und die Eigenschaften von einzelnen Pflanzen, ihre Interaktionen und die Weiterentwicklung von Pflanzenbeständen spielen für ihren Einsatz eine bedeutende Rolle. Deshalb wird in dem Buch ein ausführliches Kapitel dem Baustoff Pflanze gewidmet.

<b>Tab. 1.3 Übersicht von Problemen und Aufgaben verschiedener Fachgebiete, die sich ingenieurbologisch lösen lassen.</b>	
<b>Aufgabenbereich</b>	<b>Problemstellung</b>
Verkehrswegebau	Erosionsschutz auf Böschungen von Einschnitten, Dämmen und Lärmschutzwällen Sicherung von Vegetationstragschichten Sicherung und Begrünung von Regenwassermulden, -gräben und Rückhaltebecken Regenwasserreinigung und -versickerung Gehölzpflege im Hinblick auf Böschungsstabilität und Verkehrssicherheit
Flussbau	Vegetationspflege zur Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss Verbesserung der ökologischen Verhältnisse (Gewässerstruktur) Uferschutz im Bereich hochwertiger Nutzungen Begrünung zum Erosionsschutz und Vegetationspflege auf Deichen und Vorländern
Wasserstraßen	Begrünung und Sicherung terrestrischer Böschungen Struktur- und Biotopanreicherung in der Wasserwechselzone Schutz vor Seitenwind
Talsperren	Sicherung terrestrischer Dammböschungen Ufersicherung in der oberen Wasserwechselzone
Wassergütwirtschaft	Gewässerreinigung Schwebstoffminimierung
Wildbachverbauung	Naturnahe Sanierung von Grabenerosionen Anlage und Pflege rauer Vegetationsstrukturen
Hochgebirgsschutz	Schutzwaldbewirtschaftung in Einzugsgebieten Abmilderung und Lenkung von Lawinen und Muren Fixierung von hohen Schneedecken auf Steilhängen zur Vermeidung von Lawinen
Küstenschutz	Begrünung zum Erosionsschutz und Vegetationspflege auf Deichen und Vorländern, Vorlandentwicklung Dünenbefestigung und -entwicklung
Abfallwirtschaft	Sicherung und Begrünung von Deponieabdeckungen Reduzierung von Sickerwasser Schutz der Oberflächenabdichtung vor Erosion
Bergbau	Verminderung der Staubemission Begrünung und Sicherung von Tagebau- und Deponieböschungen sowie der Gewässer
Kulturbau	Gestaltung und Pflege von Entwässerungsgräben und Landschaftshecken
Forstwirtschaft	Naturnahe Gewässerentwicklung in Waldgebieten Sanierung von Erosionsgräben Sicherung und Begrünung von Wegeböschungen Schutzwaldpflege
Garten-, Park- und Freiraumgestaltung	Sicherung von Böschungen und Hängen Gewässergestaltung, Regenwasserbehandlung und -versickerung
Landschaftspflege	Landschaftsentwicklung mit ingenieurbologischen Vorgehensweisen Hilfsmittel zur Durchsetzung der Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege
Umweltplanung	Planung von Kompensationsmaßnahmen mit ingenieurbologischen Möglichkeiten Vermeidung und Minderung von Eingriffen Ausgleich- und Ersatzmaßnahmen

Die Kenntnis der geotechnischen und hydrotechnischen Situation im Umfeld ist ausschlaggebend für den Erfolg der ingenieurbio- logischer Lösungen. Die Auseinandersetzung mit den Grundlagen ist des- halb eine wichtige Voraussetzung. Gleichzeitig können Planungen nicht ohne Standortbezug durchgeführt werden, um Pflanzeneinsatz und ingenieurbio- logische Bauweisen Erfolg versprechend einzusetzen. Geoökologischen Ansätze und die Methoden der Bioindikation bieten sich hier an und werden in diesem Zusammenhang vorgestellt.

Der Schwerpunkt des Buches liegt auf der Vorstellung ingenieur- biologischer Möglichkeiten im Erd- und Wasserbau und bei Problemen mit Winderosion. Beispiele aus verschiedenen Landschaften sollen das differenzierte Vorgehen veranschaulichen und den Leser befähigen, sich nicht schematisch für bestimmte Bauweisen zu entscheiden, son- dern aus der Analyse aller Randbedingungen Lösungen zu finden.

Ziel dieses Buches ist es daher dem interessierten Leser ingenieur- biologische Lösungsmöglichkeiten für die zur Zeit häufig vorkommen- den Probleme verschiedener Fachdisziplinen vorzustellen, wie sie in Tabelle 1.3 zusammengestellt sind.

## 2 Baustoff Pflanze

Der Einsatz von Pflanzen und Pflanzenteilen, aber auch ganzen Pflanzenbeständen bis hin zu Vegetationsstrukturen, bestimmt die Arbeit der Ingenieurbiologie. Eine schützende Pflanzendecke und das Zusammenwirken von Pflanzen mit dem Untergrund ist dabei das Ziel jeder Erosionsschutzmaßnahme.

Pflanzen als Baustoff müssen unter verschiedenen Gesichtspunkten zusammenfassend betrachtet werden:

- Der **Aufbau der Pflanzenkörper** (Anatomie), ihre **äußere Gestalt** (Morphologie) und ihre **Lebensvorgänge** (Physiologie) prägen das Erscheinungsbild und die Wuchsvoraussetzungen einer Pflanze.
- Die **Verbreitung der Pflanzen** im Raum (Chorologie) spielt eine wesentliche Rolle für die Möglichkeiten des Einsatzes einzelner Arten in verschiedenen Landschaften und Erdteilen.
- Die Konzeption mit Pflanzen und die Wirksamkeit hängen von ihrer **Vergesellschaftung** (Soziologie) und den **Wechselbeziehungen** zwischen Arten und Populationen sowie ihren Umweltbedingungen (Ökologie) ab.

Nun werden in der Ingenieurbiologie jahrhundertealte Beobachtungen über die Wirkungsweise von Pflanzen sowie zunehmend wissenschaftliche Untersuchungen zu einzelnen Arten und ihrer Reaktion auf verschiedene Belastungen und Umweltbedingungen genutzt. Beispielsweise untersuchte die Arbeitsgruppe von Florineth (2006) diverse Gehölze auf sprossbürtige Bewurzelung und ihre Auszugwiderstände und konnte aufgrund dieser Untersuchungen die Palette von Arten für Böschungssicherungen entscheidend erweitern.

Ziel der Konzeption ingenieurbiologischer Lösungen ist es, für die unterschiedlichen technischen Anforderungen, die richtigen Pflanzen mit der richtigen Lebensstrategie sowie die richtige Begrünungsmethode und Pflege zu finden.

## 2.1 Ingenieurbioologische Wirkungen von Pflanzen

Was leisten und wie wirken nun Pflanzen, was ihren Einsatz bei technischen Aufgabenstellungen rechtfertigt?

Dazu ist zuerst zu klären, welche Möglichkeiten Pflanzen haben, um in der Umwelt flexibel zu reagieren. Dies sind insbesondere:

- Fortpflanzung über unterschiedliche Wege
- Regenerieren nach Verletzungen und anderen Umwelteinflüssen
- Verwurzeln, vernetzen und verkleben von Substraten
- Auffangen/Aufhalten von Materialien
- Anpassen an bewegliche Feststoffe und Wasser
- Abdecken von Oberflächen
- Pumpen von Wasser aus dem Boden
- Verfestigen als auch Lockern von Substraten

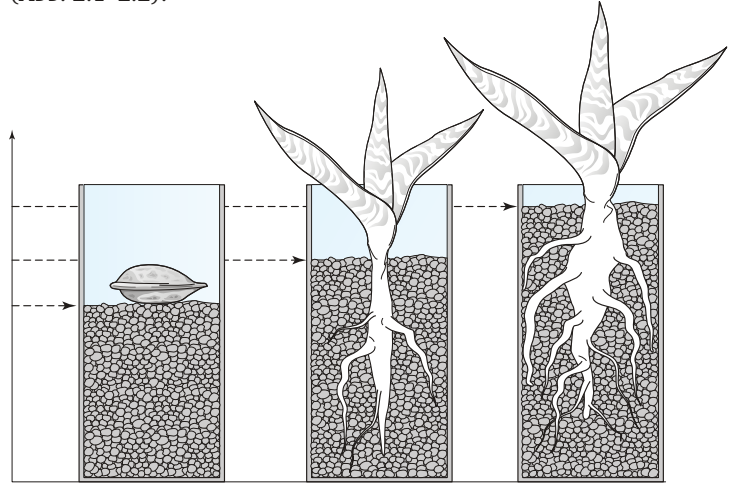
Aus diesen Möglichkeiten ergeben sich komplexe Wirkungen von Pflanzen, von der Morphologie zur Mechanik und von der Physiologie der Organismen zu ökologischen Zusammenhängen, die grob in die vier Kategorien technische, ökologische, gestalterische und ökonomische Wirkungen einteilt werden.

Von den **technischen Wirkungen**, die ja für die Ingenieurbioologie im Vordergrund stehen, sind die folgenden von besonderer Bedeutung:

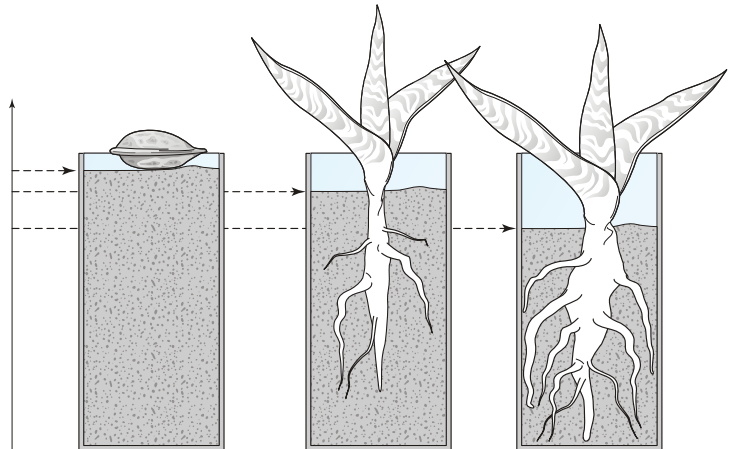
- Abdeckung von Boden durch oberirdische Pflanzenteile und oberflächennahe Wurzeln, dadurch Schutz der Bodenoberfläche vor Wind-, Niederschlagswasser- und Fließwassererosion sowie Schurf durch Schnee-, Eis- und Geröllschübe und Frosteinwirkung.
- Entstehung von unterschiedlichen strömungsrelevanten Strukturen und Rauigkeiten.
- Beeinflussung von Wind- und Wasserströmungen durch Bremsen, Lenken sowie Düseneffekte durch die Pflanzenbestände.
- Beeinflussung von Schnee-, Sand- und Staubverwehungen ebenso wie der Sedimenttransport in Gewässern.
- Unterirdische Festigung durch unterschiedliche Wurzelsysteme, wodurch Vernetzung und Bewehrung im Boden entsteht.
- Verfestigen von Boden durch Kohäsion und Symbiose mit Mikroorganismen.
- Filterwirkung von Pflanzenwurzeln, Absorptions- und Reinigungswirkung durch Oberboden bei Regenwasserüberströmung.
- Staubbinding an Pflanzenoberflächen, Staubsedimentation durch erhöhte Feuchtigkeit in Pflanzenbeständen.
- Reduktion von Sickerwasser durch die Transpirationsleistungen von Pflanzen.
- Lockerung von Boden durch Dickenwachstum – ist für die Bodenbildung vorteilhaft, aber in der Nähe von Bauwerken unerwünscht.
- Spreng- und Hebelwirkung durch Momenteintrag – ungünstig in Mauerwerken, Pflasterfugen und Verkehrswegen.
- Einwachsen von Wurzeln in Leitungen, Dichtungen und Dränagen.

Da es bei der Pflanzenverwendung in der Ingenieurbiologie grundsätzlich sowohl positive als auch negative technischen Wirkungen gibt, kommt der Auswahl der richtigen Zielvegetation für die jeweilige Problemstellung des Erd- oder Wasserbaus eine hohe Bedeutung zu (Abb. 2.1–2.2).

**Abb. 2.1**  
Wechselbeziehung zwischen Pflanze und Boden (nach Hartge 1985). Vordringen einer Wurzel in dicht gelagerten Sand – der benötigte Raum wird durch Hochschieben erzeugt.



**Abb. 2.2**  
Wechselbeziehung zwischen Pflanze und Boden (nach Hartge 1985). Vordringen einer Wurzel in wasserreichen luftfreien Ton – der benötigte Raum wird durch Wegschieben unter Entwässerung erzeugt, dabei nimmt das Gesamtvolumen ab und es entstehen Schrumpfungsrisse.



Das Einbringen von Pflanzen hat weiterhin natürlich immer eine **ökologische Wirkung**. Zuerst sind hier die Schaffung neuer Lebensräume und die Habitatfunktion zu nennen, abgesehen von den allgemeinen Wohlfahrtswirkungen (Abb. 2.3). Im Einzelnen sind folgende Gesichtspunkte interessant:

- Verbesserung von Böden und Klima durch das Zusammenwirken von Pflanzen und Pflanzenbeständen.



**Abb. 2.3**

Weidenbestände am Flussufer mit technischen Auswirkungen durch Energieminderung der Anströmung und Bildung von Ruhezonen dahinter, ökologische und gestalterische Wirkungen durch Struktur und Habitus.

- Stabilisierung von Biozönosen durch Entwicklung und Sukzession sowie durch Verbesserung der Bodenbildung.
- Ausgleich im Wasserhaushalt durch Transpiration und Interzeption der Pflanzen.
- Verlangsamung von Oberflächenabflüssen und damit Retention pflanzenverfügbaren Wassers.
- Dämpfung von Hochwasserspitzen und Förderung von Grundwasserneubildung durch den Wassertransport und -rückhalt über Pflanzen und Pflanzenbestände.
- Dämpfung von klimatischen Extremen im Bestands- und Geländeklima durch Pflanzenwachstum und -strukturen, beispielsweise bei Schlagregen, Hagel, oberirdischem Treibzeug, Frost, Hitze und Kälte.
- Reinigungswirkung durch Pflanzen in Bodenfiltern, die die mikrobielle Umsetzung fördern.

Die **gestalterische Wirkung** zeigt sich bei der Einbindung von Baumaßnahmen nach Eingriffen in die Landschaft. Ingenieurbioologisch initiierte Vegetationsstrukturen führen zur:

- Schaffung von neuen Akzenten durch die Vielgestaltigkeit von Vegetation.
- Wiederbegrünung größerer und im Landschaftsbild starr wirkender vegetationsfreier Flächen nach Baumaßnahmen.
- Raumbetonungen und landschaftsästhetische Eingliederung von Bauwerken in die umgebende Landschaft.
- Verdecken von Bauwerken.

- Schaffung von Blickachsen und Vermittlung von Raum- und Geschwindigkeitsgefühl an Verkehrswegen durch Straßenbegleitgrün- und Böschungsbepflanzung.

Mit der **ökonomischen Wirkung** zeigt sich der nachhaltige Einsatz von Pflanzen und Pflanzenbeständen durch ihre Lebensdauer und Regenerationsfähigkeit sowie die Ausnutzung der Kräfte der Natur. Ohne weitere künstliche Energiezufuhr können sich lebende Systeme entwickeln, deren Stabilität sogar mit der Zeit noch zunimmt, auch wenn die Erstellung nicht immer günstiger ist, als klassische technische Systeme.

Ingesamt ist Bilanz über die Summe der Wirkungen zu ziehen und als Planungsgrundlage anzusehen. Beispielsweise ist eine Betrachtung über die Lebens- und Nutzungsdauer mit ihren Erstellungs- und Unterhaltungskosten eventuell sogar Abbruch- und Entsorgungskosten zu erstellen. Günstige Nebenwirkungen führen häufig zu einer positiven ökonomischen Gesamtbewertung.

## 2.2 Biotechnische Eigenschaften von Pflanzen

In diesem Abschnitt werden zuerst die wichtigsten Eigenschaften beschrieben, die ausschlaggebend für die Pflanzenwahl entsprechender ingenieurbioologischer Bauweisen sind. Anschließend werden diese in Bezug auf ihren Einsatz spezifiziert.

Bevorzugt werden Pflanzen verwendet, die ganz allgemein folgende Eigenschaften aufweisen:

- große ökologische Amplitude
- hohe Anwuchsrate
- Schnellwüchsigkeit
- technisch günstige Wuchsform
- günstiges Verhältnis von Wurzel- und Triebmasse
- hohe mechanische und hydraulische Belastbarkeit
- hohe Verdunstungsrate
- Rohbodenpionier
- günstige Beeinflussung der weiteren Entwicklung
- mehrere Strategien der Vermehrung bzw. Vermehrbarkeit
- leichte Beschaffung und Verarbeitung
- sichere Ansiedlung auf unterschiedlichen Standorten bei verschiedenen Rahmenbedingungen

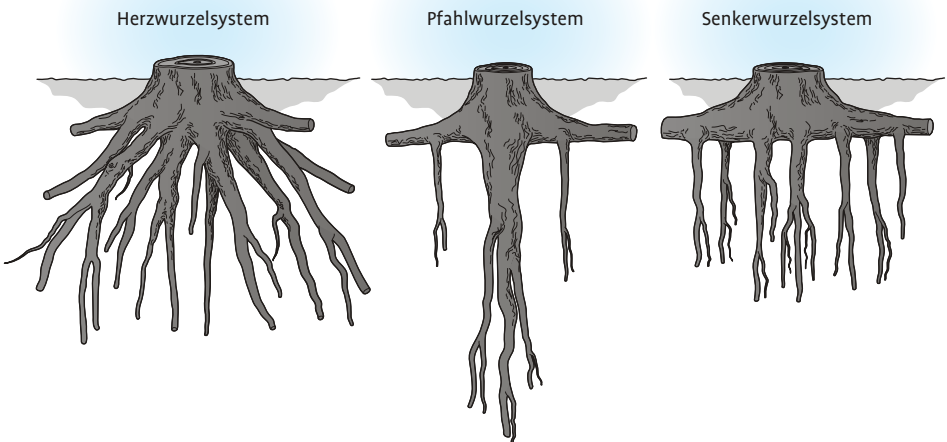
Die Fähigkeiten der oberirdischen (Sprosse) und der unterirdischen Organe (Wurzeln) müssen auf die biotechnischen Möglichkeiten bezogen, zuerst getrennt analysiert werden. Später ist der Wirkungskomplex zu betrachten und zur Planung heranzuziehen.

### 2.2.1 Wurzelsysteme

„Pflanzenwurzeln haben physiologische und mechanische Aufgaben zu erfüllen, wie Nährstoff- und Wasseraufnahme aus dem Boden und die Verankerung im Boden. Dazu ist sowohl ein empfindliches Feinwurzelsystem, als auch ein mechanisches starkes Grobwurzelgerüst notwendig.“ (Schiechl und Stern 2002)

Für die unterirdische Sicherung ist die Wurzelform ein wichtiges Kriterium. Entscheidend ist dabei das Zusammenwirken verschiedener Wurzelformen, um eine besonders stabile Verzahnung von Pflanzenbeständen zu erreichen. Gut untersucht sind die wichtigsten Waldbäume (Köstler et al. 1968). Kutschera und Lichtenegger (1982, 1992, 1997, 2002) haben Pionierarbeit bei der Analyse krautiger Pflanzenarten und der Systematisierung von Wurzelbildern geleistet.

Nach Form, Wuchsrichtung und Verteilung der Grobwurzeln werden bei Bäumen und Sträuchern drei Grundtypen der Wurzeltracht unterschieden: **Herz-, Pfahl- und Senkerwurzeln** (Abb. 2.4).

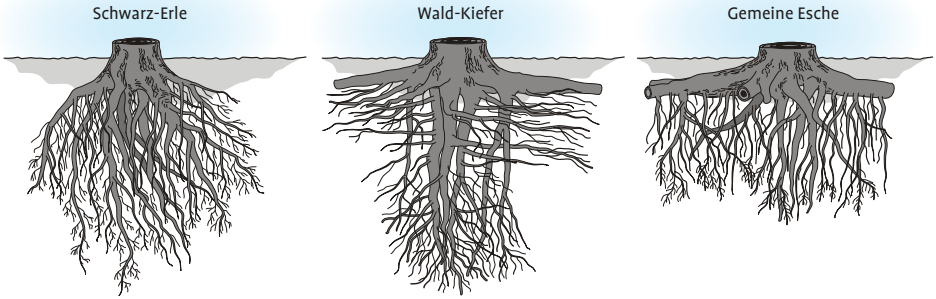


Charakteristische Beispiele für die verschiedenen Wurzeltypen sind die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) mit einem Herzwurzelsystem, die Kiefer (*Pinus sylvestris*) mit einem Pfahlwurzelsystem und die Esche (*Fraxinus excelsior*) mit einem Senkerwurzelsystem (Abb. 2.5). Auch Wurzeltiefen spielen für die Verankerung eine Rolle, beispielsweise sind Baumweiden Flachwurzler.

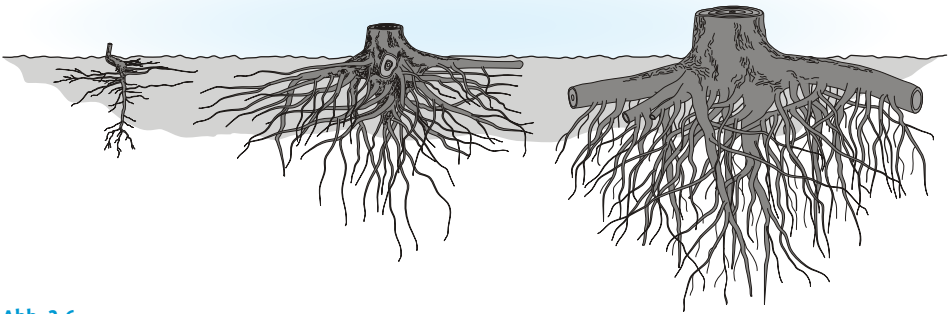
Die Unterteilung darf jedoch nicht schematisch gesehen werden, da sich das Wurzelbild je nach Entwicklungsphase einer Art (Abb. 2.6), nach Untergrund (Abb. 2.7) oder unterschiedlicher Stressfaktoren abwandeln kann. Trotzdem ist es für die Planung mit Pflanzen notwendig, die erbliche Tendenz einzuschätzen.

**Abb. 2.4**

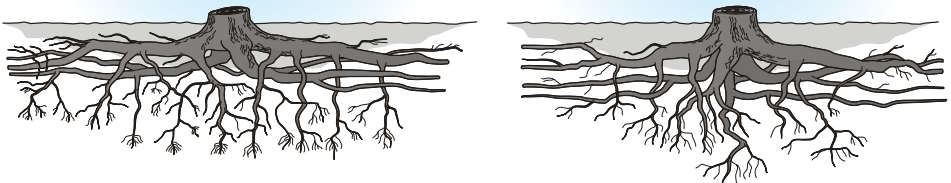
Wurzelsysteme von Gehölzen, generalisiert (nach Köstler et al. 1968).



**Abb. 2.5**  
Wurzelsysteme von Gehölzen, beispielhaft (nach Köstler et al. 1968).



**Abb. 2.6**  
Das Jugendstadium der Trauben-Eiche (*Quercus petraea*) ähnelt, wie bei vielen Arten, dem Pfahlwurzelsystem. Erst im weiteren Verlauf entwickeln sich Senker- und senkerartige Herzwurzeln (nach Köstler et al. 1968).



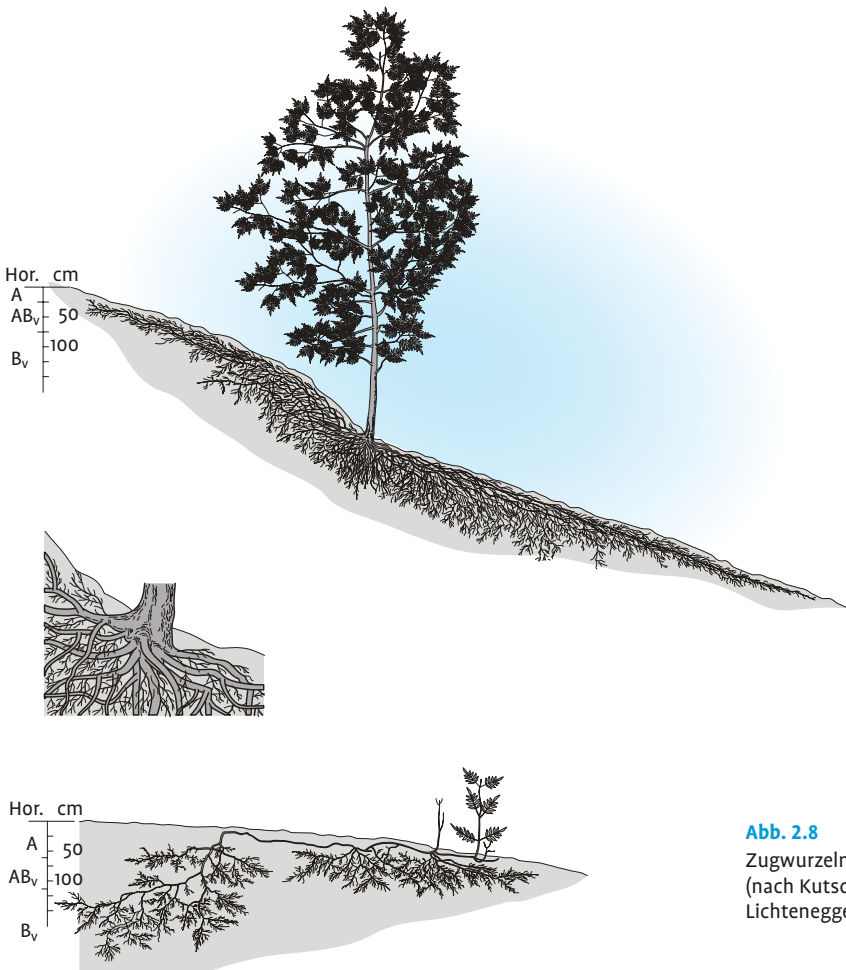
**Abb. 2.7**  
Veränderung des Wurzelwachstums durch unterschiedliche Substrate. Wurzeltracht der Trauben-Eiche (*Quercus petraea*) im mineralreichen Lehm mit Bodenskelett im Untergrund (rechts) und auf schwerem, lehmigem Boden mit größerem Skelettanteil (links) (nach Köstler et al. 1968).

Auch Kräuter und Gräser werden in verschiedene Typen eingeteilt:

- **Exensivwurzler** mit einer starken und tiefen Hauptwurzel
- **Intensivwurzler** mit kurzen, aber dicht beieinander liegenden feinen Wurzeln
- **Kombinierte Wurzler** mit weit streichenden Wurzeln, die am Ende stark verzweigt sind (Schiechtel 1985)

Neben der Wurzelform spielen die Aufgaben des Wurzelsystems eine wichtige Rolle. Für bodenfestigende Aufgaben ist besonders auf die Armierungswirkung zu achten:

- Sogenannte **Zugwurzeln** verankern die Pflanzen mit dem anstehenden Boden und entwickeln eine Zugfestigkeit. Zugwurzeln sind somit immer Reaktionen auf Bewegung und Belastung.



**Abb. 2.8**  
Zugwurzeln von Esche  
(nach Kutschera und  
Lichtenegger 2002).

- **Dübelwurzeln** dagegen vernageln den Boden und übertragen Querkräfte zur Bruchfläche unter Ausnutzung der Scherfestigkeit.

Die Abbildungen 2.8–2.10 zeigen die Auswirkungen von Zug- und Dübelwurzeln an einzelnen Beispielen. Im Kasten „Mechanische Eigenschaften von Pflanzenwurzeln“ wird ein einfacher modellhafter Berechnungsansatz vorgestellt.

**Abb. 2.9**

Zug- und Dübelwurzeln einer Grau-Erle.  
Ebenfalls zu sehen sind Wurzelknöllchen mit Actinomyceten.



**Abb. 2.10**

Die abgerutschte Bodenscholle an der Eisenbahnböschung zeigt deutlich die Zugbeanspruchung der Robinienwurzeln.

