

Eidgenössisches Departement des Innern
Kommission für Strassenbauforschung

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
Kommission 10 (Betrieb und Unterhalt)

Forschungsauftrag Nr. 6/79

KONTROLLE DES VERHALTENS DER BEGRÜENUNG
AN NATIONAL-, HAUPT- UND BERGSTRASSEN

Zwischenbericht für die Periode 1979/80

Forschungsstelle:
Ingenieurbüro für Umweltfragen
Dr. W. Zeller
Postfach 159
8032 Zürich

März 1981

INHALTVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	2
1. AUSGANGSLAGE UND VORARBEITEN	7
2. FORSCHUNGSZIELE UND METHODEN	9
3. DIE STANDORTE	13
3. 1 Zuordnung der Standorte zu geographisch-topographisch definierten Naturräumen	14
3. 2 Zuordnung der Standorte zu bioklimatisch definierten Naturräumen	15
3. 3 Zuordnung der Standorte zu geologisch und hydrogeologisch definierten Naturräumen	19
4. DEFINITION DER FORSCHUNGSOBJEKTE UND DEREN ZUORDNUNG ZU DEN STANDORTSTYPEN	22
4. 1 Uebersicht über die bearbeiteten Forschungsobjekte	22
4. 2 Zuordnung der Forschungsobjekte zu den Standortstypen	28
5. BODENUNTERSUCHUNGEN	31
5.01 Physikalische Bodeneigenschaften und Bodenart	34
5.02 Säurewert (pH)	36
5.03 Kalziumkarbonat	38
5.04 Phosphat	40
5.05 Kali	41
5.06 Organischer Kohlenstoff und Humus	42
5.07 Gesamtstickstoff und Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis	44
5.08 Katalase	47
5.09 Blei	50
5.10 Bodeneigenschaften des Mittelstreifens	53
6. DIE ANWENDUNG VON AUFTAUSALZEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF BODEN UND VEGETATION	56
6. 1 Verbrauch von Auftausalzen	57
6. 2 Nachweis von Auftausalzen im Boden	60
6. 3 Wirkung der Auftausalze auf Boden und Vegetation	62

7. VEGETATIONSUNTERSUCHUNGEN	69
7. 1 Deckungsgrad	74
7. 2 Frequenz	83
7. 3 Dichte	87
7. 4 Wuchsleistung	91
7. 5 Stetigkeit	94
7. 6 Vitalität, Reproduktion, Konkurrenz und Sukzession	96
7. 7 Die Vegetation in den Mittelstreifen	103
VERZEICHNIS DER TABELLEN, FIGUREN UND TAFELN	108
BIBLIOGRAFIE	111

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Zwischenbericht ist Teil eines mehrjährigen Forschungsprogramms zur Ermittlung der Bedingungen, unter denen die Vegetation des strassennahen Raumes bei minimalem Unterhaltsaufwand gleichzeitig den Erfordernissen des Strassenverkehrs und des Umweltschutzes gerecht wird.

Mit diesem Ziel vor Augen sind in den beiden Untersuchungsjahren 1979/80 in der östlichen (1979) und in der westlichen (1980) Landeshälfte insgesamt 21 Forschungsobjekte festgelegt, markiert und analysiert worden. Damit ist die endgültige Grundlage für die Untersuchung der Forschungsobjekte im 2-Jahresturnus geschaffen und der erste Durchgang beendet worden.

Zur Erleichterung der Extrapolation der Forschungsergebnisse haben wir die Standorte - und damit implizit auch die dort befindlichen Forschungsobjekte - Naturräumen zugeordnet, die geographisch-topographisch, geologisch-hydrogeologisch sowie bioklimatisch definiert worden sind. Als wesentlich sind aber auch landschaftlich-topographische Kleinformen wie Böschungen oder Geländeeinschnitte erkannt worden; auch diese werden durch unsere Forschungsobjekte repräsentiert. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag jedoch eindeutig auf den bereits durchgeführten Boden- und Vegetationsanalysen.

Schliesslich galt es, in einem Zwischenbericht eine Fülle von Resultaten auszuwerten und darzustellen. Als unerlässliches Hilfsmittel haben sich dabei Tabellen erwiesen; sie sind zahlreich auch in den Text eingeordnet worden. Sie sollen dem Leser Informationen vermitteln, die in dieser Ausführlichkeit im Text keinen Platz finden konnten. Darüber hinaus ist damit für die künftigen Untersuchungen wertvolle Vorarbeit geleistet und ein gutes Arbeitsinstrument erarbeitet worden.

RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Bodenuntersuchungen ergeben für unsere Standorte bezüglich Körnung ein breites Spektrum von Bodenarten. Nur ausgesprochen leichte Böden kommen nicht vor. Die z.T. extreme Verdichtung des Bodens in Verbindung mit der Humusarmut dieser anthropogenen Rohböden ergeben aber fast durchweg für die Vegetation ungünstige Bodenstrukturen. Auf den Lehm Böden bei Eptingen und der Ausbruchdeponie bei Grancia sind sie so schlecht, dass die Pflanzen dadurch offensichtlich leiden.

Die Säurewerte (pH) liegen meist im neutralen bis basischen Bereich, was sich in der Regel durch den hohen bis sehr hohen Kalziumkarbonatgehalt erklärt. Nur im Sotto Ceneri ergaben Rohböden kristallinen Ursprungs tiefere pH-Werte (Minimum 4,9).

Bevor wir uns den Hauptnährstoffen der Pflanze zuwenden, ist daran zu erinnern, dass im Grünbereich der Strassen - ganz im Gegensatz zum Landwirtschaftsareal - gar kein Ertrag erwartet wird. Vielmehr wird ein unterhaltsarmer Vegetationstyp angestrebt, was eher geringe Wachstumsleistungen und damit auch ein knappes Nährstoffangebot voraussetzt. In der Regel möchte man nur im Mittelstreifen gegenüber heute verbesserte Wachstumsleistungen erreichen. In diesem Sinne sind die meist geringen Phosphor- und Stickstoffwerte als eher günstig zu betrachten. Aus demselben Grund wird in der Regel mit Recht darauf verzichtet, den niedrigen Gehalt an organischer Substanz durch eine starke Humusierung wesentlich zu erhöhen. Aber auch aus Gründen des Naturschutzes sind Magerstandorte erwünscht, da sie einigen selten gewordenen Pflanzenarten als Zufluchtsort dienen können.

Die Katalaseaktivität wurde als bodenmikrobiologischer Parameter gewählt, weil die Aktivität der Katalase nicht nur als Gesamtaktivitätskriterium aller im Boden aerob lebender Organismen betrachtet werden kann, sondern auch Beziehungen

zwischen Katalaseaktivität und Wachsfreudigkeit der Vegetation zu erwarten sind. Zum jetzigen Zeitpunkt steht fest, dass die Katalasewerte im Vergleich zur Landwirtschaft mit Ausnahme des Standorts Pfynwald gering sind.

Mit den Bleianalysen wenden wir uns den Immissionen und damit auch den Immissionsschäden zu. Bei unseren Standorten wurden insbesondere im Mittelstreifen und in Fahrbahnnähe (4m-Abstand) beachtliche Bleikonzentrationen festgestellt. Bei den von uns analysierten Säurewerten ($\text{pH} \geq 7$) dürfte aber Blei durch die Pflanzenwurzeln nur in kleinsten Mengen aufgenommen werden. Beim Nordportal des Granciatunnels haben wir auf der Tunnelaustrittsseite ausserordentlich hohe Bleiwerte ermittelt (Maximum 541 ppm), d.h. mehr als das 5fache des in der Landwirtschaft noch tolerierten Gehalts von 100 ppm. Aber auch im Mittelstreifen wird diese Toleranzgrenze meist überschritten. In diesen Fällen ist auch mit einer Beeinträchtigung des Pflanzenwachses zu rechnen.

Seit Beginn der Streusalzanwendung sind im strassennahen Raum Schäden an den Begleitpflanzen aufgetreten. Wenn wir diesem Problem, das häufig besprochen wird, auch in diesem Bericht reichlich Platz einräumen, so aus dem Bestreben heraus, es in den ökologischen Zusammenhang zu stellen und dem Praktiker Hinweise bezüglich Artenwahl, Pflanzalter, Pflanzzeit, Pflanzverband und Pflanzbeet zu geben, die sofort berücksichtigt werden können. Wir verweisen den Praktiker deshalb ausdrücklich auf das Kapitel 6.

Nach der Besprechung der Umweltfaktoren, die den Pflanzenwuchs im strassennahen Raum bestimmen, wenden wir uns nun der Vegetation selbst zu.

Bei Vegetationsstudien können wir im Feld nur vergleichsweise einfache Messungen und Zählungen durchführen. Dazu gehört die Bestimmung des Deckungsgrades, der Frequenz und der Wachseleistung. Für diese Parameter wie auch für die daraus

abgeleiteten Rechenwerte Dichte und Stetigkeit verweisen wir auf die entsprechenden ausführlichen Kapitel. Deren Analyse gestattet aber schon jetzt erste Aussagen über Vitalität, Reproduktion, Konkurrenz und Sukzession bei der strassenbegleitenden Gehölzvegetation.

Die Vitalität oder Lebenskraft der Gehölzpflanzen findet ihren Ausdruck in der Wuchsleistung, im Blüten- und Fruchtansatz usw. Beurteilen wir diese und weitere Lebensäusserungen gesamthaft, so möchten wir die Vegetation der Strassenböschungen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, als vital bezeichnen. Entsprechend sind schwer geschädigte oder gar eingegangene Einzelgehölze selten zu beobachten. Mit Ausnahme eines Falles, in dem der *Iophorus rufus** Föhrenpflanzen stark geschädigt hat, konnte bisher auch kein Massenauftreten von Krankheiten oder Schadinsekten beobachtet werden. Im Gegensatz dazu ist die Vitalität der Mittelstreifenvegetation in der Regel stark reduziert, was wir - etwa in dieser Reihenfolge - auf nachstehende Ursachen zurückführen: Ungenügen der Pflanzbeete, Streusalzeinwirkungen auf ober- und unterirdische Pflanzenteile, Verkehrsunfälle, Staub- und Abgasimmissionen und Fahrtwind. Auch sind Artenwahl und -durchmischung nicht immer optimal.

Wir haben in allen unseren Vegetationsanalysen zwischen gepflanzten und spontan aufkommenden Einzelgehölzen unterschieden. Dies erlaubt uns, unter Berücksichtigung vorgenannter Parameter, bereits an dieser Stelle einige weitere Aussagen, mindestens qualitativer Art, bzw. Trendevaluationen zu machen:

Gehölzzählungen ergaben häufig überraschend hohe Werte für spontan aufkommende Sämlingeeinzelnur Arten. Trotzdem ist in der Regel nicht mit einer raschen Ablösung von gepflanzten Pioniergehölzen durch spontan aufkommende Sekundärgehölze zu rechnen. Die räumliche Expansion, das Verdrängungs- und Beharrungsvermögen der als Pioniergehölze gedachten Weiden und Erlen ist so gross, dass auch bei regelmässigem Auf-den-

*) rotgelbe Kiefernbuschhornblattwespe

Stock-Setzen, andere mitgepflanzte Arten gelegentlich Mühe haben, sich durchzusetzen.

An dieser Stelle mag die abschliessende Bemerkung erlaubt sein, dass es faszinierend zu beobachten ist, wie erstaunlich rasch die Vegetation sich selbst im strassennahen Raum entwickelt. Damit die Vegetation die von ihr erwarteten Aufgaben erfüllt - Blendschutz, Immissions- und Erosionsschutz, Hangfestigung, Schutz vor Seitenwind und Schneeüberwehungen, Biotopersatz und -neubildung, optische Signalwirkung, ästhetische Eingliederung der Strasse in die Landschaft - muss sie überwacht und gepflegt werden.

Schweizerisches National- und Hauptstrassennetz

Réseau suisse des routes nationales et principales

Fig. 1 Lage der Standorte

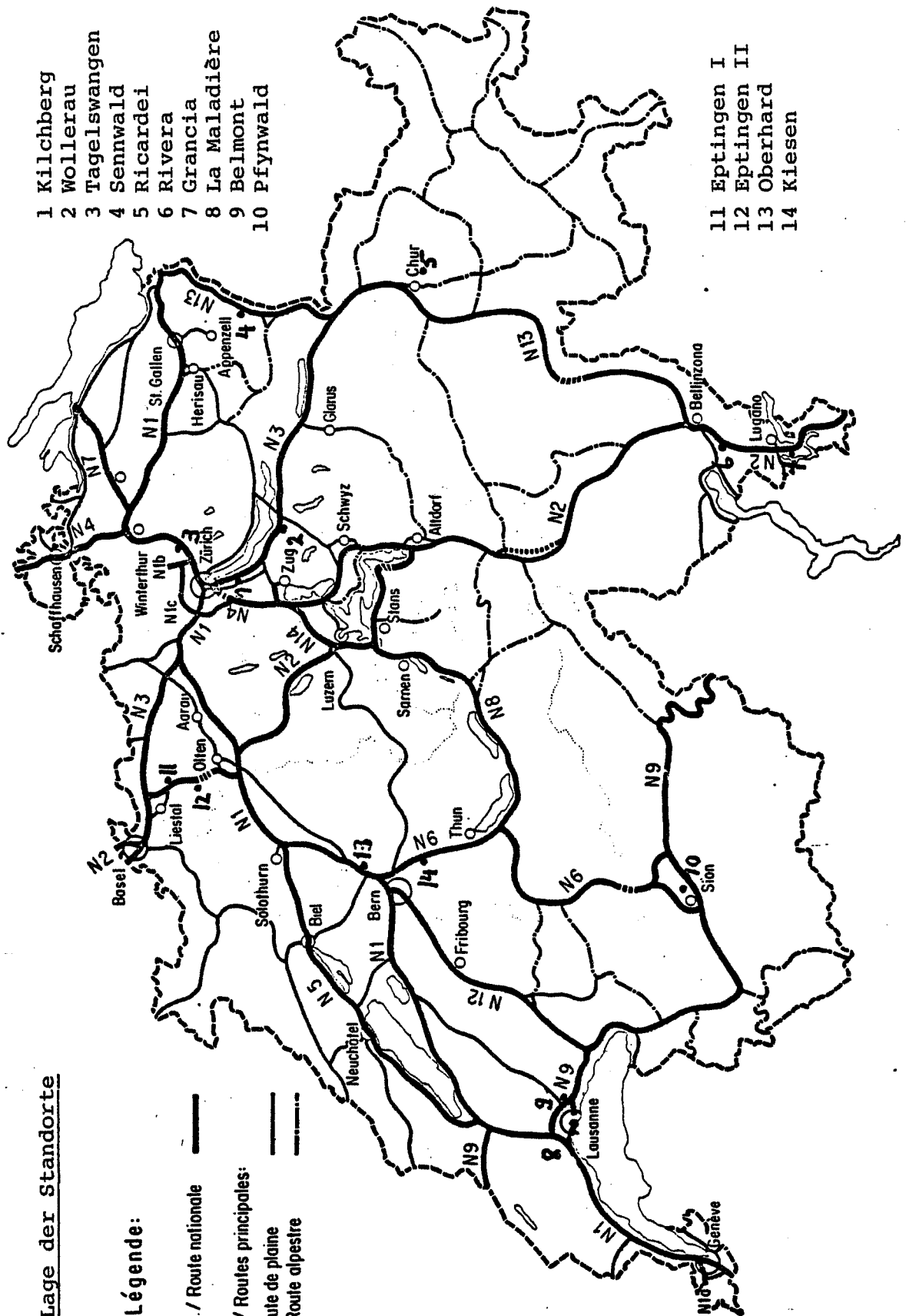
Legende / Légende:

Nationalstrasse. / Route nationale

Hauptstrassen / Routes principales:

Tolstrasse / Route de plaine

Alpenstrasse / Route alpestre



1. AUSGANGSLAGE UND VORARBEITEN

Seit dem Jahr 1977 wird im Rahmen des Forschungsauftrages EDI/VSS Nr. 12-77 "Kontrolle des Verhaltens der Begrünung an National-, Haupt- und Bergstrassen" wissenschaftlich gearbeitet. Bei der Verfügung des Auftrages stützte sich das EDI (Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau) auf einen Bundesratsbeschluss vom 23. Februar 1977, der aufgrund eines Gesuches der Kommission 10 (Betrieb und Unterhalt) der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS) und entsprechend dem Antrag der Kommission für Strassenbauforschung gefasst wurde.

Die grosse Anzahl abgeschlossener oder noch laufender Untersuchungen aus dem Bereich von Strasse und Umwelt zeigt, dass die Bedeutung dieses Problemkomplexes erkannt worden ist. Entsprechende Kenntnisse sind aber nach wie vor lückenhaft. So sind etwa Fragen der Pflege und des Unterhalts strassen-naher Vegetation noch wenig untersucht (u.a. laut IDS*).

Die Auswirkungen von verkehrsbedingten Schad- und Fremdstoffen auf die Vegetation an Strassen und Autobahnen werden zur Zeit in verschiedenen Ländern erforscht. Immissionsschädigungen (durch Abgase, Strassenschmutz, Streusalz, Belagsabrieb und Fahrtwind) müssen jedoch immer im Zusammenhang mit den am betreffenden Standort gegebenen biotischen und abiotischen Faktoren untersucht werden.

Die Arbeiten dieses Forschungsprogramms dienen der Untersuchung der Bedingungen, unter denen ausgewählte Bepflanzungen in unmittelbarer Strassen- und Autobahnnähe zu leben haben und der langfristigen Beobachtung ihrer Entwicklung und ihres Verhaltens.

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der Arbeiten

*) IDS = Internationale Dokumentation Strasse, IDS - Dokumentationszentrum, Eidg. Polizeiabteilung, Bern.

der Jahre 1979 und 1980. Ein "Bericht über die Vorarbeiten 1977/78" ist bereits im März 1978 vorgelegt worden.

Obwohl wir feststellen konnten, dass die Pflanzungen entlang der Autobahnen in der Regel korrekt angelegt worden sind, deckten die Vorarbeiten z.T. unerwartete Schäden auf. Diese sind unter anderem oft eine Folge ungeeigneter Pflanzbeete. Andere Mängel sind darauf zurückzuführen, dass sich die Pflanzen unter den spezifischen Bedingungen, die in Strassen- und Autobahnnähe herrschen, anders verhalten als bisher angenommen wurde. Die Immissionen des Verkehrs sind dafür nicht die einzige Ursache; es spielen auch der Standort, die Art der verwendeten Pflanzen, die Bepflanzungstechnik, Konkurrenzverhältnisse, Schädlinge und schliesslich Pflege und Unterhalt eine grosse Rolle.

Die Untersuchung dieser Verhaltensveränderungen und die Gewichtung der genannten und allenfalls noch weiterer beeinflussender Faktoren erfordern langfristige Beobachtungen und Abklärungen unter ökologischen (gesamtheitlichen) Gesichtspunkten.

In diesem Sinne ist auch der vorliegende Bericht keineswegs abschliessend oder gar erschöpfend.

2. FORSCHUNGSZIELE UND METHODEN

Ziel der Forschung ist vorrangig die Erkenntnis jener Zusammenhänge, die das Entstehen unterhaltsarmer Gleichgewichtszustände zwischen Pflanzen verschiedener Arten oder Artengruppen (Gräser, Kräuter, Stauden, Büsche und Bäume) fördern. Dabei soll die Vegetation die ihr zugedachten Funktionen (Blendschutz, Immissions- und Erosionsschutz, Hangfestigung, Schutz vor Seitenwind und Schneeüberwehungen, Biotopersatz bzw. -neubildung, ästhetische Wirkung, optische Signalwirkung für den Fahrer) in optimaler Weise erfüllen.

Zu ermitteln sind auch jene Arten, die die besonderen Standortbedingungen im strassennahen Raum (Rohboden, Immissionen) langfristig ertragen und sich dort zu vermehren vermögen. Umgekehrt gilt es jene Standorte zu beschreiben, die die Etablierung erwünschter Pflanzengesellschaften begünstigen.

Die Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojektes ist somit umfassend und eindeutig ökologischer Natur.

Es geht also um die Erforschung der Zusammenhänge, deren Kenntnis das Ausarbeiten von Richtlinien ermöglicht, wie Rasen und Gehölz des strassennahen Raumes angelegt und gepflegt werden müssen, um bei minimalem Unterhaltsaufwand optimal gleichzeitig den Erfordernissen des Strassenverkehrs UND des Umweltschutzes genügen zu können.

Solche Richtlinien werden konstruktive Unterhaltsarbeiten in den Vordergrund rücken. Dabei sollen die Behebung bestehender Fehler ermöglicht und abbauende, zur Monotonisierung des Grünbereichs führende Massnahmen vermieden werden.

Von der genaueren Kenntnis der Bedingungen und Einflussfaktoren, denen die Vegetation in unmittelbarer Strassennähe

ausgesetzt ist, kann auch Aufschluss darüber erwartet werden, wie die Unterhaltsarbeiten ökonomischer gestaltet und organisiert und das Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag verbessert werden können. Dieses Wissen sollte nicht zuletzt auch bei Planung und Bau von Neuanlagen von Nutzen sein und dazu beitragen, dass kostspielige Fehler vermieden werden. Die Grünbereiche von Strassen und Autobahnen können dank dem in diesem Projekt erarbeiteten empirischen Material schon in der Planungsphase besser auf die konkreten Erfordernisse sowohl des Verkehrs als auch des Umweltschutzes abgestimmt werden.

Vor diesem Hintergrund sind auch die weiteren Teilziele des Forschungsvorhabens zu sehen:

- Ein wesentliches Anliegen des Forschungsprogrammes ist die Ermittlung optimaler Standortverhältnisse; sie sind für die verschiedenen Gehölzarten unterschiedlich. An einem gegebenen Standort kann der Grünfachmann die Wuchsbedingungen der Gehölze jedoch nur über die Bodenbeschaffenheit beeinflussen. Daher die bisher oft unterschätzte Wichtigkeit der Pflanzbeetzubereitung. Die übrigen Faktoren sind als durch das Bauwerk, dessen Lage usw. vorgegeben zu betrachten; eine standortgerechte Bepflanzung erfolgt durch die Wahl geeigneter Arten.
- Die Beobachtung der angelegten Pflanzungen und die Erfolgskontrolle geschehen in der Absicht, jene Arten und Artenkombinationen zu ermitteln, die unter den besonderen Standortbedingungen gedeihen und wenig Unterhalts bedürfen.
- Es geht weiter darum, jene Mechanismen zu erforschen, die den Uebergang (Evolution) der angelegten Pflanzungen zu einem naturnahen, unterhaltsarmen Vegetationstyp bestimmen, hemmen oder fördern.

- Zur Erfolgskontrolle und zum Nachweis von Evolutions-trends werden hier Dichtebestimmungen gepflanzter, ab-gehender, nachgepflanzter und spontan aufkommender Gehölzarten herangezogen. Weitere Evaluationsmöglich-keiten des Pflanzungserfolgs erschliessen sich mit der Feststellung des Deckungsgrades und der Wuchsleistung als Mass für die Vitalität der verschiedenen Gehölzarten.
- Diese Daten und Erkenntnisse sollen wiederum dazu bei-tragen, die Planung von Neuanlagen zu erleichtern und das Risiko, teure, korrektive Nachpflanzungen vornehmen zu müssen, zu vermindern. Beides wirkt sich auf die Bau- und Unterhaltskosten positiv aus.
- Ein weiteres Teilziel ist die Ermittlung der Immissions-toleranz, insbesondere der Salztoleranz sowie der Tole-ranz der Gehölzarten gegenüber den im strassennahen Bereich vorherrschenden ungünstigen Bodenverhältnissen.
- Ferner werden Ueberlegungen zum Problem der Beschränkung des Schnitts der Gehölze bei bestehenden Anlagen und der jahreszeitlichen Verteilung der Unterhaltsarbeiten im Grünbereich gemacht.

Die Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojekts ist, wie schon gesagt, eindeutig ökologischer Natur, denn sie setzt das Studium der Interaktionen der Lebewesen (haupt-sächlich Pflanzen) unter sich und mit der unbelebten Natur voraus. Es lag daher nahe, die in der Pflanzen-ökologie üblichen Forschungsmethoden (Aufnahme-Methoden und Stichprobe-Verfahren) am Objekt zu prüfen und die gewählten Methoden den besonderen Umständen anzupassen.

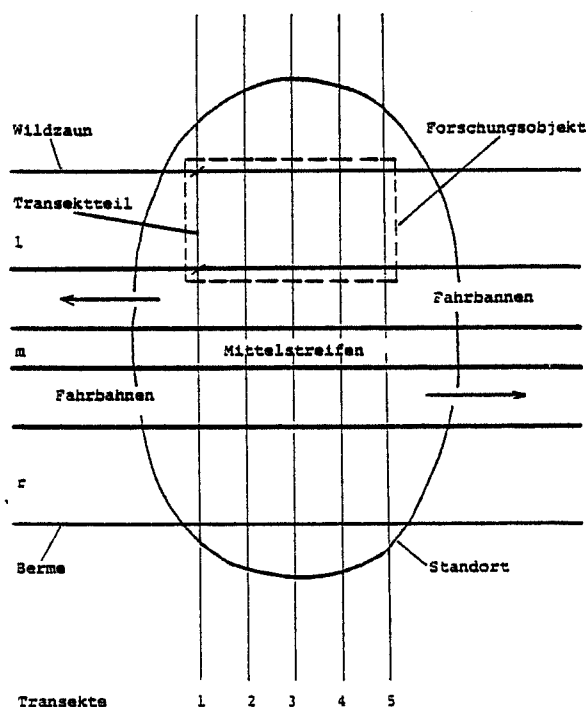
Am Beginn stehen allgemeine Beobachtungen. Es handelt sich um diejenigen Daten, die uns erlauben, einen Standort jederzeit zu identifizieren. Mit eingeschlossen sind aber auch bereits Angaben über Standortbedingungen wie Klima,

Topografie, Bodenverhältnisse etc. und Art und Häufigkeit der vorgenommenen Unterhaltsarbeiten.

Weitere Daten beruhen nicht mehr ausschliesslich auf eigenen Beobachtungen an Ort und Stelle, sondern stammen zum grossen Teil von verschiedenen Amtsstellen. Dazu gehören insbesondere die Angaben über den Unterhalt.

Für die Einzelheiten des Vorgehens verweisen wir an dieser Stelle auf unsere ausführliche Darstellung im "Bericht über die Vorarbeiten" vom März 1978 S. 23ff. Von den dort beschriebenen verschiedenen Aufnahme- und Messmethoden haben sich die sogenannte Linienbeobachtung und die sogenannte Bandbeobachtung als für unsere Zwecke geeignet erwiesen. Die Linienbeobachtung dient der Feststellung des Deckungsgrades bzw. der Deckungsprozente, die Bandbeobachtung jener der Artenfrequenz und - dichte. Diese Methoden sind im vorliegenden Bericht im Kapitel 7, Vegetationsuntersuchungen, beschrieben. Für die Bodenuntersuchungsmethoden verweisen wir auf das Kapitel 5.

Fig. 2 Aufnahmedispositiv für Standorte



3. DIE STANDORTE

Mit dem Ziel, die vorgesehenen Forschungsarbeiten zugleich rationell und treffsicher zu gestalten, haben wir unter Berücksichtigung zahlreicher Kriterien, die im Vorbericht 1977/78 erläutert sind, die als notwendig erachtete Zahl von Standorten und Forschungsobjekten ausgewählt. Für die endgültige Festlegung der Forschungsstandorte konnten wir uns auf die getroffene Vorwahl von 62 in Frage kommender Forschungsstandorte stützen. Programmgemäss sind 1979 sieben Standorte in der östlichen und 1980 sieben Standorte in der westlichen Landeshälfte festgelegt und untersucht worden. Damit ist die endgültige Grundlage für die genehmigte Untersuchung der Forschungsobjekte im 2-Jahres-turnus geschaffen und der erste Durchgang beendet worden.

Als Standort werden im Rahmen dieses Berichts 14 für Forschungszwecke ausgewählte Autobahnabschnitte mit ihrem Umgelände bezeichnet. Diese sind von West nach Ost und von Nord nach Süd fortlaufend numeriert und mit einem Gemeinde- oder Flurnamen kenntlich gemacht. (Für die ausführliche Definition des Begriffs Standort s. Fig. 1.)

Vor der Aufnahme der Forschungsarbeiten stellte sich das Problem der Festlegung der Anzahl und der geographischen Verteilung der Standorte und damit der Forschungsobjekte. Wir haben es mit der Auswahl von 14 über die ganze Schweiz verteilten und für wichtige Naturräume repräsentativen Standorten gelöst. Dabei wird zwar ähnlich wie bei H. Gutersohn, 1973, der Naturraum als Wirkungsgefüge vieler Geofaktoren wie Relief, Geologie und Klima verstanden, doch werden diese Geofaktoren hier vorerst getrennt behandelt. Abschliessend folgt dann eine gesamt-heitliche Betrachtung.

3.1 Zuordnung der Standorte zu geographisch-topographisch definierten Naturräumen

Die Unterschiede zwischen den Naturräumen der Alpennord- und Alpensüdabdachung sind augenfällig und wohlbekannt. Sie fanden bei der Auswahl von Standorten an der N13 im St. Galler Rheintal bei Sennwald einerseits und im Sotto Ceneri an der N2 bei Rivera und Grancia andererseits Berücksichtigung.

Die Bestimmung der Standorte längs der N1 von Genf bis St. Margrethen ergab andererseits einen repräsentativen Längsschnitt des Mittellandes, der von Südwest nach Nordost verläuft. Durch die Hinzunahme der beiden Standorte bei Eptingen an der N2 konnten auch Besonderheiten der Nordwestschweiz berücksichtigt werden.

Der allergrösste Teil der Standorte entfällt im Sinne des Normblattes SNV 640 675 auf die Hügelstufe (300 - 600 m.ü.M.). Die Bevorzugung tiefer Lagen bei der Auswahl der Forschungsobjekte scheint gerechtfertigt, wenn man bedenkt, dass auch der überwiegende Teil des am stärksten frequentierten Strassennetzes in diesem Höhenbereich liegt. Die Hügelstufe kann für unsere Zwecke im Sinne der naturräumlichen Gliederung von Gutersohn, 1973, wie folgt eingeteilt werden:

Sieben Standorte gehören zum intramoränischen Bereich des Mittellandes. Dabei kann der wärmste Standort La Maladière der Zone der Spalierhänge zugeordnet werden, währenddem der nur wenig nördlichere Standort Belmont bereits in den Bereich des höheren Hügellandes fällt. Weiter gehören zum höheren Hügelland die Standorte Kilchberg und Wollerau; zum niederen Hügelland sind hingegen die beiden Standorte Oberhard und Tagelswangen zu rechnen. Der Standort Kiesen liegt im Talboden der Aare.

Die beiden Standorte Eptingen I und II repräsentieren den nordöstlichen Teil des Jura.

Die restlichen fünf Standorte sind nach Gutersohn, 1973, der Alpenregion zugeordnet: Sennwald liegt auf der Alpen-nordflanke im St. Galler Rheintal; zum inneralpinen Gebiet zählen wir den Standort Pfynwald am Fusse des Rhönental-Nordhanges und Ricardei an der Tschierischenstrasse. Die beiden Standorte Rivera und Grancia im Sotto Ceneri sind Teil des Naturraums der Alpensüdflanke.

3.2 Zuordnung der Standorte zu bioklimatisch definierten Naturräumen

Aus der Vielfalt der bioklimatischen Gegebenheiten der Schweiz wurde ein relativ enger Bereich bevorzugt, der für das Mittelland massgebend ist. Diese Gewichtung entspricht wiederum der Frequentierung des schweizerischen Strassennetzes (vgl. Kap. 3.1). Unserer Zielsetzung, die Wachsbedingungen der strassennahen Vegetation an verschiedenen Standorten der Schweiz abzuklären, scheint uns angemessen, auch Pflanzen als Klimaindikatoren beizuziehen. Dabei bedienen wir uns der Pflanzen-Phänologie, welche das zeitliche Auftreten der Entwicklungsstadien bestimmter Pflanzen untersucht. Dies dient häufig als Hilfsmittel der Agrarmeteorologie und wird hier stellvertretend für die Besprechung von Temperaturen verwendet.

Beobachtet man den Blühbeginn von *Taraxacum officinale* (vgl. Primault, 1970) als Indikator des Frühjahrsbeginns in pflanzen-phänologischem Sinne, so ergibt sich für unsere Standorte folgende Tabelle:

Tab. 1 Charakterisierung der Standorte
nach phänologischen Kriterien

Gruppe	Standort	Blühbeginn von <i>Taraxacum officinale</i>
I	Grancia	vor 31. März
II	Rivera Pfynwald La Maladière Kiesen	31. März - 10. April
III	Sennwald Oberhard	10. April - 20. April
IV	Kilchberg Tagelswangen Wollerau Belmont	20. April - 30. April
V	Eptingen I Eptingen II	30. April - 10. Mai
VI	Ricardei	ab 10. Mai

Der besonders frühe Frühlingseinzug in einem Teil des Sotto Ceneri - repräsentiert durch den Standort Grancia in der Gruppe I - und die damit einhergehenden kurzen und milden Winter, erlaubt hier die Verwendung wenig winterharter mediterraner und submediterraner Arten, soweit das aus anderen Gründen überhaupt erwünscht ist.

In der Gruppe II sind Standorte zusammengefasst, die sich aus unterschiedlichen Gründen ebenfalls durch einen frühen Frühjahrsbeginn auszeichnen. Pfynwald repräsentiert die Verhältnisse in einem zentralalpinen Trockental; La Maladière die milden Reblagen auf der Sonnenseite unserer Seen; Kiesen steht häufig unter Föhneinfluss.

In die Gruppe III entfallen die Standorte Oberhard und Sennwald. Der Standort Oberhard kann als Repräsentant für die bioklimatischen Verhältnisse angesehen werden, die in niederen Höhenlagen des schweizerischen Mittellandes

zwischen Genfersee und Reusstal vorherrschend gelten. Im Falle von Sennwald erklärt sich der immer noch recht frühe Frühlingsanfang durch den Föhneinfluss.

In der Gruppe IV erscheinen Standorte niederer Höhenlagen östlich des Reusstals (Kilchberg, Tagelswangen, Wollerau) sowie Belmont als Vertreter der höheren Hügellagen der Westschweiz.

Die beiden nordwestschweizerischen Standorte Eptingen I und II können der Gruppe V zugeordnet werden. Sie repräsentieren mehr oder weniger die niederen Lagen des Jura.

Mit Ricardei wird auch die Zone mit spätem Frühlingsbeginn erfasst, in die ein grosser Teil des alpinen Bereichs fällt.

Aufgrund der Karte mittlerer jährlicher Niederschlagsmengen der Periode 1901 - 1940, H. Uttinger, 1967, haben wir unsere Standorte fünf Gruppen unterschiedlicher Niederschlagswerte beigeordnet:

Tab. 2 Zuordnung der Standorte zu Zonen vergleichbarer mittlerer Jahresniederschläge

Gruppe	Standorte	Niederschlagsmenge (cm/J)
I	Pfynwald	< 60
II	Sennwald, Kiesen	60 - 100
III	Tagelswangen, Kilchberg, Oberhard La Maladière, Eptingen I und II Belmont Ricardei	100 - 140
IV	Wollerau, Grancia	140 - 180
V	Rivera	> 180

Als für schweizerische Verhältnisse trocken fällt der Standort Pfynwald auf, was sich durch seine Lage in einem zentral-alpinen Trockental erklärt.

Auch die Standorte Kiesen und Sennwald sind noch vergleichsweise niederschlagsarm, weil sie in einem von westlich vorgelagerten Bergen bewirkten Regenschatten liegen.

Die Standorte Tagelswangen, Kilchberg, Oberhard und La Maladière repräsentieren mit 100 - 120 cm mittlerem jährlichem Niederschlag sozusagen den "Normalfall" des schweizerischen Mittellandes, währenddem in Belmont, das unweit La Maladière, aber rund 100 m höher liegt und starken Westwinden ausgesetzt ist, bereits höhere Werte gemessen wurden. Die Werte für Eptingen entsprechen denen, die in niederschlagsärmeren Teilen des Jura gemessen werden.

In Wollerau werden, gegenüber dem nur rund 20 km entfernten Kilchberg, wegen der Annäherung an die Alpen wesentlich höhere Regenmengen gemessen. Grancia im Sotto Ceneri und mehr noch Rivera empfangen, als ausgesprochen insubrische Standorte, die höchsten jährlichen Niederschlagsmengen der von uns berücksichtigten Landesteile.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die meisten Standorte als mittelfeucht und mittelwarm zu taxieren sind und dass für sie deshalb bei der Anlage und beim Unterhalt von Pflanzungen im strassennahen Bereich keine von den Normblättern abweichende Besonderheiten berücksichtigt werden müssen. Als Sonderfälle erlauben die Standorte Pfynwald (als Repräsentant des Walliser Talbodens) sowie Grancia und Rivera (als Vertreter Insubriens, d.h. feuchtwarmer Verhältnisse der Alpensüdseite) den Anbau submediterraner, wärmebedürftiger Pflanzen. Während jedoch beim Pfynwald wegen seiner Standortstrockenheit vorteilhafterweise mit der Waldföhre und assoziierten Arten begrünt werden sollte, erlauben die klimatischen Bedingungen von Grancia und Rivera den Anbau von Arten, die gleichzeitig wärme- und feuchtigkeitsbedürftig sowie frostempfindlich sind. Nur Standorte wie Ricardei erfordern ausgesprochen winterharte Gewächse.

3.3 Zuordnung der Standorte zu geologisch und hydro-geologisch definierten Naturräumen

Die meisten Standorte fallen in den Bereich junger Lockergesteine. Bei den Standorten La Maladière, Belmont und Oberhard durchquert die Autobahn tonreiche Moränen; Sennwald und Kiesen liegen im Bereich kiesiger Flussablagerungen von Rhein und Aare. Der Standort Pfynwald liegt auf einem grossen kiesigen Bachschuttkegel. Der Standort Wollerau liegt im Bereich der unteren Süsswassermolasse, die an dieser Stelle sehr tonreich ist. Im Falle von Kilchberg sind bei der Dammschüttung mergelige Gesteine aus einem nahen Tunnelausbruch mit zugeführtem Rheinkies aus einer Grube bei Weiach vermischt worden.

Die Bedeutung des Muttergesteins für die Bodenwasserverhältnisse kann eindrücklich am Beispiel des Standorts Wollerau dargestellt werden. Hier weisen der bergseitige Hanganriss und die talseitige Dammschüttung bei gleicher Exposition (N) auch dieselbe Geländeneigung (2:3) auf. Trotzdem ist der bergseitige Hang, weil Quellhorizonte an die Oberfläche treten, ganzjährig feucht, währenddem die talseitige Dammschüttung mindestens während der Sommermonate zeitweise stark austrocknet, was auf die Entwässerung durch die Strasse zurückgeführt werden kann. Die Wuchsbedingungen für die Vegetation sind in den beiden zugehörigen Forschungsobjekten stark verschieden (s. Kap. 4.1). Dabei ist zu beachten, dass das bergseitig abgegrabene Muttergestein talseits angeschüttet und mechanisch stark verdichtet wurde.

Umgekehrt zeichnet sich der Rohboden des Standorts Pfynwald durch grosse Permeabilität aus, obwohl die Feinerde als mittelschwer bis schwer bezeichnet werden muss. Dies mag auf den grossen Anteil an grobkiesigem Bachschutt zurückzuführen sein.

Beim Standort Eptingen I werden tertiäre Verwitterungslehme (Opalinuston) angeschnitten. Weiter östlich, beim Standort Eptingen II, treffen wir auf mesozoischen Jurakalk (Hauptrogengestein). Es hat sich gezeigt, dass sowohl der bergseitig angeschnittene wie auch der talseitig angeschüttete Opalinuston für die Gehölze besonders ungünstige Wuchsbedingungen ergibt (s. Kap. 4,1). Wir führen das auf seine hohe Wasserundurchlässigkeit, die schlechte Wurzelbelüftung und auf die physiologische Trockenheit dieses humusarmen Tonbodens zurück. Weiter östlich treffen wir beim Nordportal des Belchentunnels (Eptingen II) auf Hauptrogenstein, der zerklüftet ist und daher zahlreichen Gehölzen offensichtlich weit bessere Wuchsbedingungen bietet.

Bei Ricardei tritt Bündnerschiefer zutage und bei den beiden Tessiner Standorten Rivera und Grancia wurde Gneis freigelegt. Die Feinerde der beiden Tessiner Standorte Rivera und Grancia ist als sandiger Lehm zu bezeichnen und die Böden mithin als schwer. Daraus resultieren bei Verdichtung, wie das beim Ausbruchsdepot am Nordportal des Tunnels von Grancia der Fall ist, Staunässe und extrem schlechte Wuchsbedingungen für die Gehölze.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zwei ausgeprägt kristallinen Standorten und einem ausgeprägten Karbonatfels-Standort eine Vielzahl von Standorten auf karbonathaltigen Lockergesteinen unterschiedlicher Durchlässigkeit gegenübersteht. Diese Verteilung der Standorte auf wenige geologische und hydrogeologische Hauptgruppen widerspiegelt jedoch recht deutlich die Anteile von Jura, Mittelland und Alpen am Autostrassennetz.

Auch wenn die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse unterschiedlich sind, so bleibt allen Standorten gemeinsam, dass die Böden durch die Bauarbeiten für die Vegetation nachhaltig und meist ungünstig beeinflusst

wurden. Ungünstig wirken sich durchgehend die Verdichtung sowohl des Lockergesteins wie auch des Oberbodens aus. Die physikalischen Bodeneigenschaften werden im Kapitel 5.01 weiter besprochen.

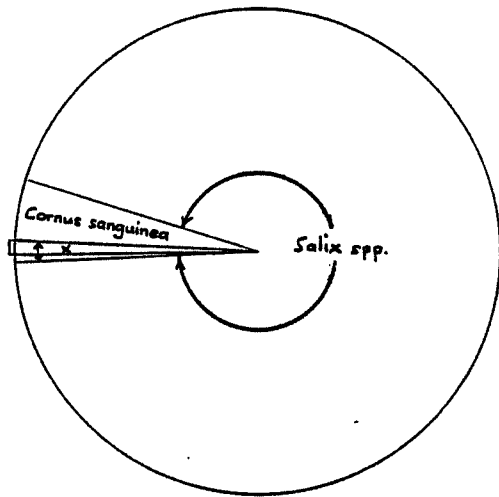
4. DEFINITION DER FORSCHUNGSOBJEKTE UND DEREN ZUORDNUNG ZU DEN STANDORTSTYPEN

Forschungsobjekte sind in dieser Arbeit Ausschnitte aus bezüglich der abiotischen Rahmenbedingungen homogenen Biotopen, die durch den Bau von Autobahnen entstanden sind und durch den Strassenverkehr beeinflusst werden. Sie werden begrenzt im Falle des Mittelstreifens durch die beiden Fahrbahn-ränder, im Falle des links und rechts anschliessenden strassen-nahen Raumes durch einen Fahrbahnrand und in der Regel einen Wildzaun, eine Berme oder einen Feldweg. Die Grenzen vertikal zum Verlauf der Fahrbahn werden durch die aussenliegenden Transekte gebildet (s. Fig. 2, 4, 5 und 6).

Bei den Forschungsobjekten handelt es sich in diesem Bericht um 15 Teilbereiche der vorgenannten Standorte (s. Kap. 3). Sie bilden im Rahmen der Forschungsarbeiten den Gegenstand genauer Untersuchungen, insbesondere bezüglich des Bodens (s. Kap. 5) und der Vegetation (s. Kap. 7). Im nachfolgenden Kapitel 4.1 werden sie auf den Tafeln 1 - 5 kurz vorgestellt und im anschliessenden Kapitel 4.2 bestimmten Standortstypen zugeordnet.

4.1 Uebersicht über die bearbeiteten Forschungsobjekte (Tafeln 1 - 5)

In den Tafeln 1 - 5 wird der Deckungsgrad der dominanten Baumarten als im Freien optisch markantes Merkmal für die einzelnen Forschungsobjekte graphisch dargestellt. Bei den graphischen Darstellungen fällt auf, dass der Gesamtdeckungsgrad in drei Fällen (Kilchberg, Sennwald, Oberhard links) 100 % übersteigt, was sich durch die Ueberlappung der Baumkronen erklärt (eine genaue Erläuterung des Deckungsgrades findet sich im Kapitel 7.1).

Tafel 1 Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Kilchberg und Wollerau

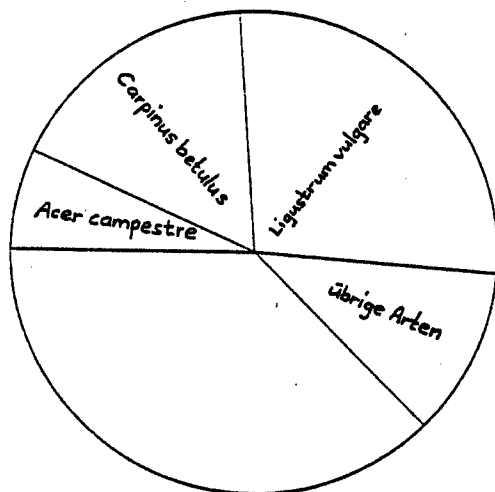
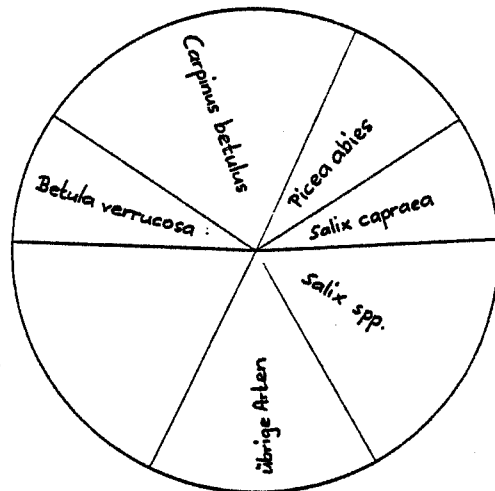
x übrige Arten

1r: Kilchberg, N3, Eröffnung 1966

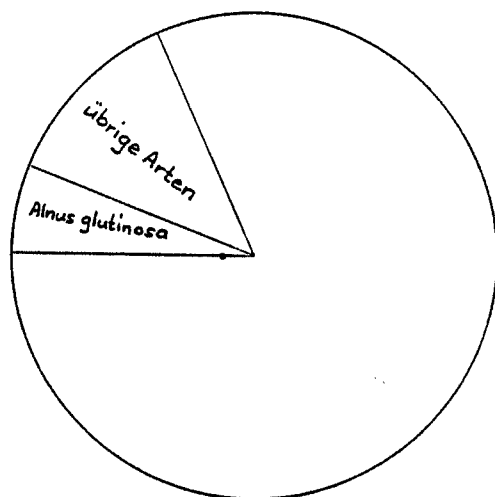
Standortstyp: Damm, ca. 10 m hoch. Exposition SW, Neigung 2 : 3, Muttergestein Moräne, Boden ca. 10 cm humusiert, Reihensbepflanzung ca. 2 x 2 m, zahlreiche Sämlinge.

2r: Wollerau, N3, Eröffnung 1968

Standortstyp: Böschung bergseits, feuchter Schatthang. Exposition N, Neigung 2 : 3, Muttergestein Gehängeschutt, dicht, verschiedene Wasserhorizonte, Boden leicht humusiert, Mischpflanzung in humusierte Pflanzlöcher, zahlreiche Sämlinge.

2 1: Wollerau, N3, Eröffnung 1968

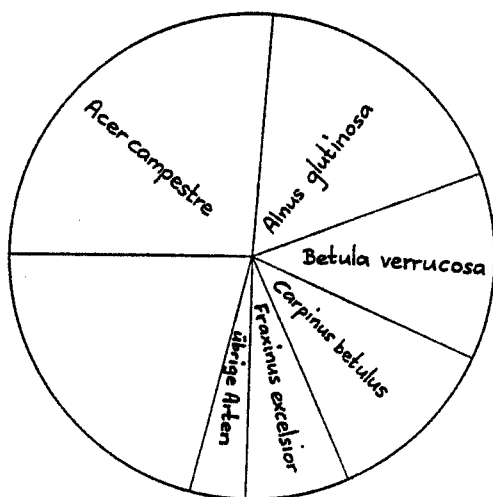
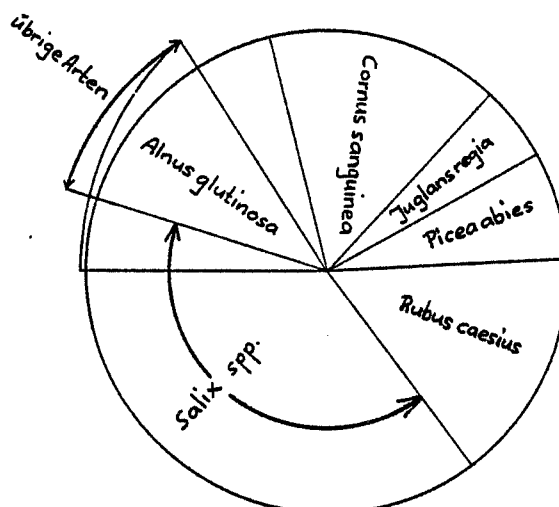
Standortstyp: Böschung talwärts, Schatthang. Exposition N, Neigung 2 : 3, Muttergestein verdichteter Tunnelausbruch, Boden leicht humusiert, mehr oder weniger reihenweise Mischpflanzung, zum Teil blockweise, Sämlinge spärlich.

Tafel 2 Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Tagelswangen, Sennwald und Belmont (r)3 1: Tagelswangen, N1, Eröffnung 1974

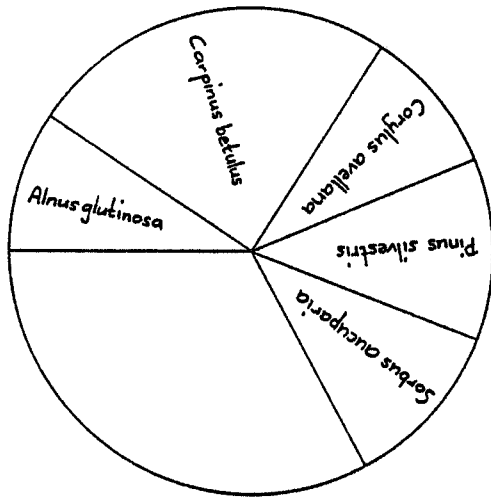
Standortstyp: Böschung bergseits, trockener Sonnenhang. Exposition SE, Neigung 2 : 3, Muttergestein Moräne anstehend, Boden nicht humusiert, Gehölzhydrosaat, gemeinsamer Aufwuchs der Gehölzhydrosaat mit Anflug.

4 1: Sennwald, N13, Eröffnung 1967

Standortstyp: Damm, Hochwasserdamm des Rheines. Exposition W, Neigung 2 : 3, starker Föhneinfluss, Muttergestein Rheinkies, geschüttet, Boden ursprünglich humusiert, zusätzliche Humusbildung an Ort, blockweise Bepflanzung, mässige Ansamung.

9r: Belmont, N9, Eröffnung 1974

Standortstyp: Geländeeinschnitt. Exposition NE, Neigung 2 : 3, Muttergestein Moräne, Boden nicht humusiert, gruppenweise Bepflanzung, mässige Ansamung.

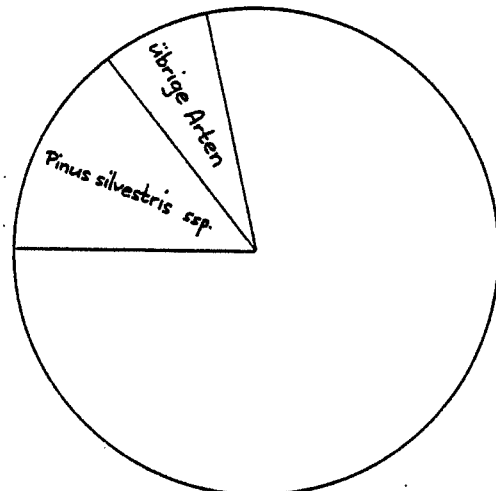
Tafel 3 Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Belmont (1), Pfynwald und Eptingen (r)

9 1: Belmont, N9, Eröffnung 1974

Standortstyp: Geländeeinschnitt. Exposition SW, Neigung 2 : 3, Muttergestein Moräne, Boden nicht humusiert, gruppenweise Bepflanzung, keine Ansamung.

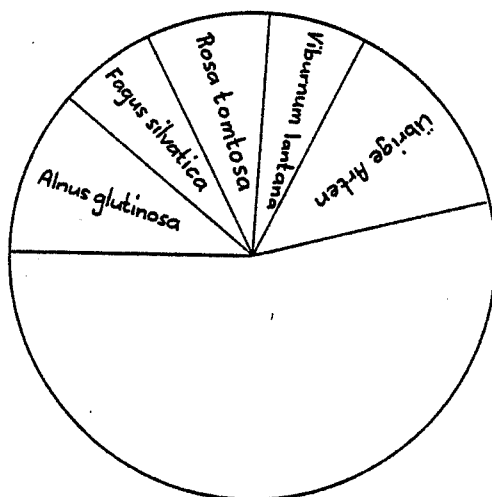
10r: Pfynwald, vormals A9

Standortstyp: Böschung bergseits. Exposition SW, Neigung 2 : 3, Muttergestein grobkiesiger, durchlässiger Bachschutt, Boden nicht humusiert, nur einzelne Waldföhren (*Pinus silvestris*) am Böschungsfuss gepflanzt, starke Ansamung der Grauföhre (*Pinus silvestris* ssp.) und der Aspe (*Populus tremula*).

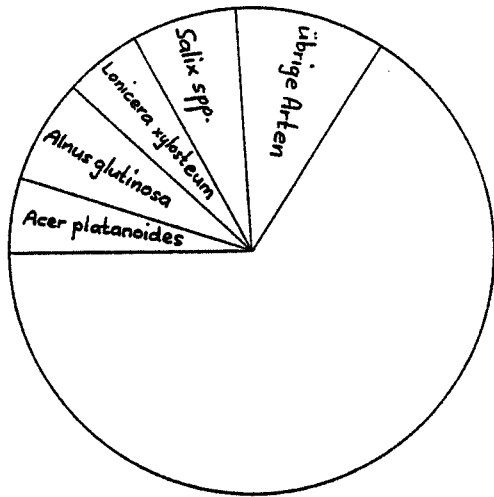


11r: Eptingen, N2, Eröffnung 1970

Standortstyp: Böschung talseits, Exposition SW, Neigung 2/3 - 1/2, Muttergestein stark verdichtete Mischgesteinschüttung, Boden leicht humusiert, Pflanzung in Reihen ca 1 x 1.5 m, schlecht gedeihend, praktisch keine Gehölzansamung.



Tafel 4 Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Eptingen (1 und 1') und Oberhard (r)

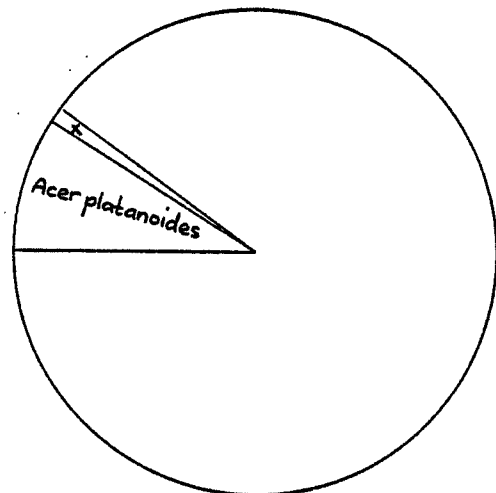
11 1: Eptingen, N2, Eröffnung 1970

Standortstyp: Böschung bergseits. Exposition SW, Neigung 2/3 - 1/2, Muttergestein Opalinuston, sehr dicht, künstlich entwässert, Boden leicht humusiert, Pflanzung in Reihen ca. 1 x 1.5 m, schlecht gedeihend, geringe Gehölzansammlung.

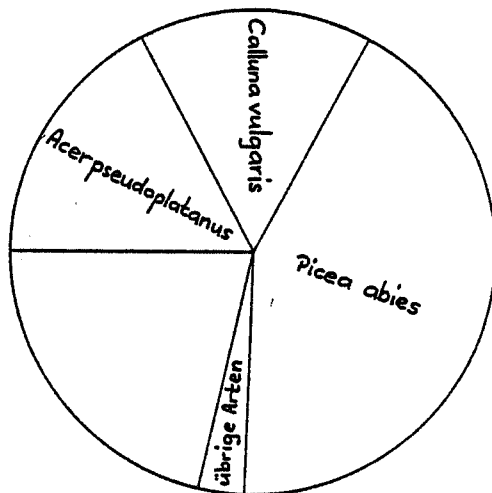
11 1': Eptingen, N2, Eröffnung 1970

(Verlängerung der Transekte 1, 3 und 5 aus dem Forschungsobjekt 11 1.)

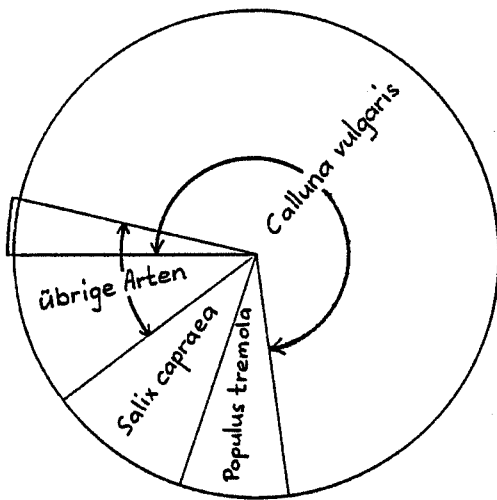
Standortstyp: Böschung bergseits. Exposition SW, Neigung 2/3 - 1/2, Muttergestein Opalinuston, sehr dicht, künstlich entwässert, Boden leicht humusiert, Pflanzung in Reihen ca. 1 x 1.5 m, schlecht gedeihend, keine Ansammlung.



x übrige Arten

13r: Oberhard, N1, Eröffnung 1963

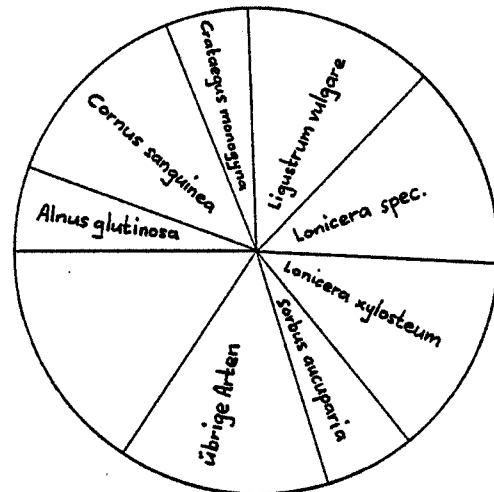
Standortstyp: Geländeeinschnitt. Exposition ESE, Neigung 2 : 3, Muttergestein tonreiche Moräne, Boden humusiert, gruppenweise Bepflanzung, spontane Ausbreitung der Besenheide (*Calluna vulgaris*).

Tafel 5 Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Oberhard (1) und Kiesen (1 u. 1')13 1: Oberhard, N1, Eröffnung 1963

Standortstyp: Geländeeinschnitt. Exposition WNW, Neigung 2 : 3, Muttergestein tonreiche Moräne, Boden humusiert, gruppenweise Bepflanzung, spontane Ausbreitung der Besenheide (*Calluna vulgaris*).

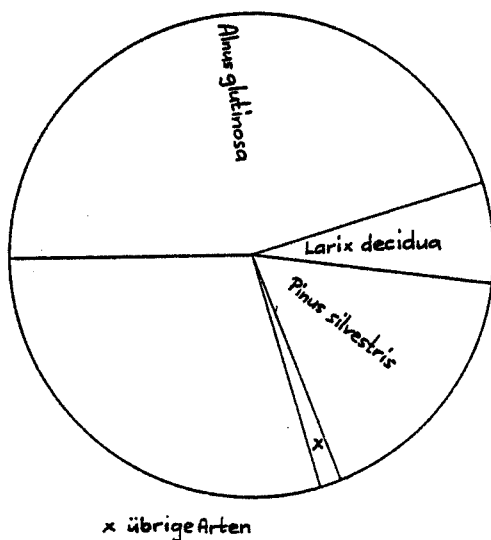
14 1: Kiesen, N6, Eröffnung 1971

Standortstyp: Böschung bergseits. Exposition W, Neigung 2 : 3, Muttergestein verbackener Aarekies, Boden leicht humusiert, artenreiche Bepflanzung, praktisch keine Gehölzansamung.

14 1': Kiesen, N6, Eröffnung 1971

(Verlängerung der Transekte 1 und 3 aus dem Forschungsobjekt 14 1.)

Standortstyp: Böschung bergseits. Exposition W, Neigung 2 : 3, Muttergestein verbackener Aarekies, Boden nicht humusiert, spärliche Bepflanzung, keine Gehölzansamung.



4.2 Zuordnung der Forschungsobjekte zu den Standortstypen

Bei der Auswahl der Forschungsobjekte wurden ganz gezielt die wichtigsten im strassennahen Bereich auftretenden typischen Standortsverhältnisse berücksichtigt. Während die Standorte im vorangehenden Kapitel 3 grossen Naturräumen zugeordnet wurden, sollen hier nun die Forschungsobjekte mit lokal bedingten, aber in allen Naturräumen auftretenden Standortstypen in Beziehung gebracht werden. Die Zuordnung der Forschungsobjekte zu Naturräumen und Standortstypen wird uns schliesslich in die Lage versetzen, die Ergebnisse der Messungen und Beobachtungen bei den einzelnen Objekten bis zu einem gewissen Grade für jene Naturräume und Standortstypen zu generalisieren, die sie repräsentieren.

Im flachen Gelände stellten sich bisher - allein schon wegen des in der Regel wenig breiten strasseneigenen Raumes - nur geringe Begrünungsprobleme. Da aber in Zukunft aus Gründen des Immissionsschutzes wohl auch hier Bäume und Sträucher gepflanzt werden, sind auch zwei Standorte dieses Typs untersucht worden, nämlich La Maladière und die rechte Strassenseite des Standorts Sennwald.

An Böschungen stellten sich die eigentlichen Begrünungsprobleme. Die Vielfalt der hier auftretenden Standortsbedingungen hat die Untersuchung einer Vielzahl von Subtypen notwendig gemacht, die sich hinsichtlich Boden (insbesondere Festigkeit und Dichte), Muttergestein und weiteren abiotischen Faktoren wie auch hinsichtlich der Begrünungsmethode unterschieden. In jedem Fall spielen auch mikrotopographische Verhältnisse (Neigung und Exposition) eine wichtige Rolle.

Die Böschungen bergseits sind besonders vielfältig. Diesem Typ werden insgesamt sechs Standorte zugeordnet: Wollerau, Ricardei, Rivera rechts, Pfynwald, Eptingen links, Kiesen. Die Böschungen sind nord- (Wollerau, Ricardei, Pfynwald), ost- (Rivera rechts) bzw. westexponiert (Eptingen links, Kiesen). Als Vergleichsstandort mit Südwestexposition kann der Standort Kilchberg hinzugezogen werden, der eine talseitige Böschung aufweist, jedoch nur rund 20 km vom Standort Wollerau entfernt ist. Die Böschung beim Standort Rivera rechts weist ein Neigungsverhältnis von 1:1 auf. Das Neigungsverhältnis der Böschung der übrigen Standorte beträgt 2:3.

Die Böschungen talseits zeichnen sich dadurch aus, dass sie immer aus stark verdichtetem Schüttgut bestehen und durch die Strassendrainage trocken gelegt sind. Sie sind deshalb weniger vielfältig als die bergseitigen Böschungen, so dass wir uns mit der Untersuchung von drei Fällen begnügt haben, nämlich Tagelswangen, Rivera links und Eptingen rechts. Die Böschung in Tagelswangen ist südost- jene in Rivera links ist ost- und jene in Eptingen rechts ist westexponiert. Die Böschung in Tagelswangen weist ein Neigungsverhältnis von 1 : 1 auf, jene in Rivera links eines von 2 : 3 bis 1 : 1^{1/4} und jene von Eptingen eines von 2 : 3 auf.

Geländeeinschnitte eignen sich besonders gut für das Studium des Verhaltens der Begrünung längs Strassen, zumal hier auf engem Raum Standorte gegensätzlicher Exposition untersucht werden können. Im übrigen gelten die für die Böschungen bergseits gemachten Beobachtungen auch hier. Von unseren Standorten gehören jene von Belmont, Oberhard und Grancia diesem Standortstyp an. Die Standorte zeigen verschiedene Exposition: Die Böschungen des Geländeeinschnittes bei Belmont sind südwestlich bzw. nordöstlich exponiert, jene bei Grancia ostnordost- bzw. westsüdwestexponiert. Die Böschungen weisen alle ein Neigungsverhältnis von 2 : 3 auf.

Frei im Gelände aufgeschüttete Dämme stellen gewissermassen das topographische Gegenstück zu Geländeeinschnitten dar. Da keine auch in anderer Hinsicht interessierende Standorte berücksichtigt werden konnten, haben wir stellvertretend einseitige Dammböschungen untersucht. Beim Standort Kilchberg haben wir eine südwestexponierte ca. 10 m hohe Strassendammböschung berücksichtigt; bei Sennwald haben wir die der Autobahn zugewandte ostexponierte Seite des Hochwasserdammes in die Untersuchung miteinbezogen.

Tunnelportale können als durch die Technik bedingte Sonderstandorte betrachtet werden. Hier sind die Immissionen kleinräumig sehr unterschiedlich und erreichen punktförmig maximale Werte. Dieser Standortstyp ist bei unseren Standorten Grancia und Eptingen II vertreten.

Mittelstreifen weichen bezüglich Bodeneigenschaften, Immissionsintensität, Schädlingsbefall und Vegetation stark von allen übrigen bisher beschriebenen Standortstypen ab. Sie werden deshalb in den entsprechenden Kapiteln gesondert betrachtet.

Tab. 3 Verteilung der Forschungsobjekte auf die Standortstypen

Standortstypen	Forschungsobjekte
Flaches Gelände	4 r, 8
Böschung bergseits	2, 5, 6 r, 10, 11 l, 14
Böschung talseits	3, 6 l, 11 r
Geländeeinschnitt	7, 9, 13
Dämme	1, 4 l
Tunnelportale	7, 12
Mittelstreifen	6, 7, 8, 9, 12, 13

5. BODENUNTERSUCHUNGEN

Im Laufe der Forschungsarbeiten hat sich gezeigt, dass vermutlich zahlreiche Schäden an Gehölzen eher ungünstigen Bodenbedingungen als, wie ursprünglich angenommen, Immissionen zuzuschreiben sind. Eine verlässliche Aussage darüber kann allerdings noch nicht gemacht werden. Aus diesem Grunde werden die Bodenuntersuchungen über den ursprünglich gesetzten Rahmen hinaus erweitert und zu Kontrollzwecken durch zusätzliche, bis dahin nicht geplante Regenwasser- und Vegetationsanalysen ergänzt.

Die Entnahmestellen der Bodenproben wurden in Uebereinstimmung mit den Forschungsobjekten möglichst repräsentativ über die wichtigsten Standortstypen des strassennahen Bereichs verteilt. Im ersten Forschungsjahr (1979) konzentrierte sich die Probeentnahme auf die Standorte der Osthälfte der Schweiz (CH-E), im zweiten Forschungsjahr (1980) auf die der Westhälfte (CH-W). Damit ist ein erster Durchgang vollendet. Insgesamt wurden bisher an 9 Standorten bei insgesamt 17 Forschungsobjekten 90 Bodenproben entnommen. Die für die Zukunft geplanten Durchgänge ergeben sich aus dem Fünfjahresplan (s. Tab. 4), in dem auch die bereits durchgeführten Probeentnahmen enthalten sind. Wir behalten uns allerdings kleinere Modifikationen des Fünfjahresplanes vor.

Durch die im Zweijahres-Rhythmus zwischen der Ost- und der Westhälfte der Schweiz alternierende Probeentnahme wurde eine zeitliche Staffelung erreicht. Damit konnte einerseits eine unnötig schnelle Wiederholung der Probeentnahme am selben Standort vermieden werden; dennoch erhält man andererseits eine genügende Anzahl Messwerte, die zur Erzielung einer grösseren statistischen Sicherheit notwendig ist.

Folgende Ueberlegungen führten zur Festlegung unterschiedlicher Anzahlen von Bodenanalysen für die verschiedenen Bodenparameter.

Geofaktoren, die als stabil gelten können, werden nur einmal festgestellt (zum Beispiel die Granulometrie). Jene Geofaktoren, bei denen relativ kurzfristige Veränderungen im Bereiche der Möglichkeiten liegen, werden im Rahmen des Fünfjahresplanes 2 - 3 mal untersucht. Die Elektrokonduktibilität wird an einem Standort im 2-Monats-Rhythmus festgestellt. Hier sind deutliche Jahresganglinien zu erwarten, die zweifellos den Verlauf der Salzeinwirkung widerspiegeln werden.

Die Probeentnahmestellen wurden in den für die Vegetationsanalyse vorbereiteten Rahmen einbezogen (s. Kap. 7 Fig. 4). Dabei werden auf den Transektteilen jeweils im Vier- und Zehnmeter-Abstand vom Belagsrand Proben entnommen. Im Umkreis der so bezeichneten Stellen werden drei 30 cm tiefe Mischproben entnommen, die ausserdem untereinander vermischt werden. Die so gewonnene Masse wird in Kunststoffsäcken verpackt der Forschungsanstalt Liebefeld zur Analyse übergeben. Die umgehende Uebergabe im Frischzustand ist für den Katalase-Nachweis von Bedeutung.

Bei der nachfolgenden Besprechung der Untersuchung der Geofaktoren ist in der Regel die dabei angewandte Methode erwähnt. Weitere Angaben über die verwendeten Methoden sind über die Forschungsanstalt Liebefeld zu erfahren.

Bei dieser Gelegenheit muss mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass unsere Bodenuntersuchungen Standorte betreffen, die keinen Nutzpflanzenenertrag erbringen sollen; Bodeneigenschaften, die den Wuchs der Gewächse retardieren, können sogar von Vorteil sein, da langsam wachsende Pflanzen weniger unterhaltsbedürftig sind. Quervergleiche mit der Landwirtschaft werden gelegentlich im Text gezogen, da sich die gebräuchlichen Untersuchungsmethoden aus der Land- und Forstwirtschaft entwickelt haben.

Die Zahlen in Klammern sind Rechenwerte. Sie wurden also bei der Feststellung des Fünfjahrestotals der Analysen (1717) nicht mitgezählt. Die Spalte "Leitanalyse" bezieht sich auf den Schwerpunkt der Untersuchungen beim jeweiligen Standort. In den beiden Standorten Wollerau und Oberhard sind Profilaushebungen und beim Standort Belmont sind Messungen der elektrischen Leitfähigkeit (EL) und des Kochsalzgehalts (NaCl) vorgesehen.

Nachfolgend werden die untersuchten Bodenparameter kurz dargestellt und die erhaltenen Werte interpretiert.

5.01 Physikalische Bodeneigenschaften und Bodenart

Die physikalischen Bodeneigenschaften im strassennahen Raum sind allein schon vom Bauwerk her von grosser Bedeutung, denn Hangnässe und Erodierbarkeit können dieses gefährden. Aber auch in Bezug auf den Boden als Pflanzenstandort sind physikalische Bodeneigenschaften wie Korngrössenverteilung und Wasserdurchlässigkeit sehr wichtig.

Auf eine labormässige Körnungsanalyse wurde trotzdem verzichtet, weil die Bodenart im physikalischen Sinne mittels Fingerprobe durch geübtes Personal mit beachtlicher Genauigkeit ermittelt werden kann. Bei der Fingerprobe gelten als Kriterien Plastizität, Rollfähigkeit, Schmierfähigkeit und Rauigkeit.

Die Beurteilung der Bodenkörnung und darauf basierend die Benennung der Bodenarten erfolgt gemäss Praxis der Eidg. Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Die Differenzierung und Bezeichnung der Bodenarten nach "Schwere" bezieht sich zwar auf die Bearbeitbarkeit in der Landwirtschaft (s. Scheffer-Schachtschabel), doch sind diese Ausdrücke allgemeinverständlich und werden deshalb in der Tabelle der genaueren Bodenbezeichnung beigelegt.

Tab. 5 Beurteilung der Bodenart aufgrund
von Humusgehalt und Körnung

Standort		Strassen- klasse	Humusgehalt	Körnung	
Nr.	Bezeichnung				
2	Wollerau	N3	humusarm bis schwach humos*	sandiger Lehm	leicht bis mittelschwer
3	Tagelswangen	N1	humusarm*	toniger Lehm	schwer
6	Rivera	N2	humos	sandiger Lehm	leicht bis mittelschwer
7	Grancia	N2	humos	sandiger Lehm	leicht bis mittelschwer
8	La Maladière	N1	humusarm bis schwach humos*	sandiger Lehm	leicht bis mittelschwer
9	Belmont	N9	humusarm*	toniger Schluff	mittelschwer
10	Pfynwald	**	schwach humos bis humos*	Lehm	mittelschwer
11	Eptingen I	N2	humusarm bis humos*	Ton	schwer
12	Eptingen II	N2	schwach humos*	Ton	schwer

*) Angaben aufgrund chemischer Analysen (s. Tab.)

**) vormals A9

Der Humusgehalt wird häufig in die Bodenartbezeichnung mit-
einbezogen, vermutlich deshalb, weil er sich wie die Körnung
auf die physikalischen Bodeneigenschaften stark auswirkt
(z.B. schwach humoser sandiger Lehm). Für die Einteilung in
Humusgehaltsklassen folgen wir in Tab. 12 wiederum der
Praxis der Eidg. Landwirtschaftlichen Forschungsanstalten.
Für genauere Angaben über die Humusgehalte unserer Böden
verweisen wir auf das entsprechende Kapitel

Aus der Tab. 5 ersehen wir, dass sich die Bodenart unserer
Forschungsobjekte über ein breites Spektrum erstreckt.
Während jedoch ausgesprochen leichte Böden ganz fehlen,
finden wir sehr wohl ausgesprochen schwere Böden, insbe-
sondere bei den beiden Jurastandorten Eptingen I und II.
Dies erklärt sich teilweise aus den in Kapitel 4.2 für die

einzelnen Standorte dargestellten geologischen Gegebenheiten. Beachten wir jedoch gleichzeitig den meist geringen Humusgehalt sowie die Verdichtung des Bodens durch Baumaschinen, so erklären sich viele der beobachteten physiologischen Schäden an Pflanzungen durch ungünstige physikalische Bodeneigenschaften. Als Beispiel seien die beobachteten beachtlichen Abgangsraten und die verbreitete Spitzendürre beim Standort Eptingen I einerseits und auf einer Ausbruchdeponie bei Rivera andererseits erwähnt. In beiden Fällen ist die Wasser- und Luftversorgung der Gehölzwurzeln zweifellos sehr ungünstig, wobei wir im Falle der schweren Tonböden von Eptingen mit der physiologischen Trockenheit und im Falle der Ausbruchdeponie von Rivera zusätzlich mit Staunässe während eines Teils des Jahres zu rechnen haben.

5.02 Säurewert (pH)

Die Säurewerte der Böden sind für die Vegetation des strassen-nahen Raumes von doppelter Bedeutung: Einerseits geben sie Auskunft über die Azidität des aus den Bauarbeiten hervorgegangenen Rohbodens, andererseits widerspiegeln sie auch den am Sorptionskörper des Bodens durch Streusalzimmissionen eingangebrachten Kationenaustausch. Diese Feststellung bedarf einer kurzen theoretischen Erläuterung: Tonminerale sind oft starke Kationenaustauscher, indem sie einerseits Wasserstoffionen abgeben und andererseits verschiedene Kationen binden. Die Eintauschstärke und Haftfestigkeit nimmt in folgender Reihenfolge ab: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Demgemäss ändert sich der pH-Wert eines Bodens: bei freien Na^+ beträgt er um 11, bei freien Ca^{2+} um 8, bei freien Al^{3+} um 4.

Tab. 6 Säurewert (pH)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
				4m		10m	
Nr.	Bezeichnung			l	r	l	r
2	Wollerau	N3	1	7,4	7,2	6,9	7,3
			3	7,7	7,5	7,8	7,4
			5	7,0	7,5	7,8	7,6
3	Tagels- wangen	N1	1	7,3		7,7	
			3	7,7		7,7	
			5	7,6		7,7	
6	Rivera	N2	4		6,3	4,9	
7	Grancia	N2	1	7,5	6,8	7,6	7,4
			4	7,5	7,5	7,8	7,2
9	Belmont	N9	1	7,8	8,0	7,9	8,0
			3	7,9		7,9	
			5	7,9	8,1	8,2	8,2
10	Pfynwald	*	1	7,8		7,7	
			3	7,7		7,7	
			5	7,8		7,7	
11	Eptingen I	N2	1	8,0	7,7	7,8	7,8
			3	7,8	7,6	8,1	7,8

* vormals A9

Für den konkreten Fall bedeutet das, dass die Reaktion der karbonatreichen Böden unserer Standorte (es ist die Mehrzahl) im neutralen bis alkalischen Bereich liegt. Dies bedeutet ferner, dass infolge der Streusalzeinwirkung der Säurewert lokal begrenzt (vor allem im Mittelstreifen) ansteigt. Nachfolgend ein paar Präzisierungen zu den gemessenen Säurewerten:

Die Reaktion der meisten Böden unserer Standorte liegt im schwach alkalischen Bereich. Die Spannbreite reicht dabei von neutral (pH 6,9 bei Wollerau) bis alkalisch (pH 8,2 bei Belmont). Diese Werte liegen im Mittel etwas höher als der für Ton- und Lehmböden für Kulturpflanzen als optimal erachtete Wert von pH 6,8. Erst weitere Messungen und der Rückgriff auf forstliche Erfahrungen werden zeigen, ob

diese in der Regel leichte Alkalinität unserer Böden für die bereits gepflanzten Gehölze von Bedeutung ist. Immerhin zeigen unsere Messungen schon jetzt, dass sich für unsere Zwecke basophile Gehölze meist besonders eignen.

Die für das Tessin erhaltenen Werte erscheinen vorläufig noch widersprüchlich. Erst weitere Messungen und geologische Beobachtungen werden eine Interpretation der breiten Streuung der pH-Werte von 4,9 (stark sauer) bis 7,8 (stark alkalisch) gestatten. Immerhin kann schon jetzt als sicher gelten, dass im strassennahen Bereich des Tessins lokal begrenzt saure Böden auftreten. Dieser Tatsache sollte durch die Berücksichtigung azidophiler Arten vermehrt Rechnung getragen werden. Die im Falle Grancia festgestellte Diskrepanz zwischen den Säurewerten des Mittelstreifens und jenen der Böschungen geht möglicherweise auf Salzeinwirkung zurück. Weitere Angaben über die Streusalzwirkung und die elektrische Leitfähigkeit sind im Kapitel 6 zu finden.

5.03 Kalziumkarbonat

Der CaCO_3 -Gehalt begünstigt ein grobporiges und stabiles Bodengefüge und damit die biologische Aktivität der Klein- und Kleistlebewesen im Boden, d.h. deren Anzahl und Vielfalt und deren Stoffwechsel. CaCO_3 verzögert die Verschlämmung des Bodens. Da zwischen der Ca-Sättigung und dem Säurewert eine enge Beziehung besteht, können diese Feststellungen bis zu einem gewissen Grad auch auf den Einfluss des pH bezogen werden. (vgl. Scheffer-Schachtschabel, 1966, S. 205f und Kap. 5.02)

Um den Anteil des kohlensauren Gesamtkalks im Boden festzustellen, wird das Gasvolumen von Kohlendioxid gemessen, das bei Zugabe von Salzsäure zu einer Bodenprobe in einem geschlossenen Raum frei wird. Mit Hilfe des Passongerätes kann der CaCO_3 -Gehalt des Bodens direkt abgelesen werden. Der CaCO_3 -Gehalt im Boden wird in Worten wie folgt umschrieben:

Tab. 7 Kalziumkarbonatgehalt in Klassen

Klasse (%)	Bezeichnung
< 0,1	praktisch kalkfrei
0,1 - 10	kalkhaltig
10,1 - 25	kalkreich
25,1 - 40	sehr kalkreich
> 40	Kalkboden

Tab. 8 Kalziumkarbonat (CaCO_3 in %)

Standort Nr. Bezeichnung	Strassen- klasse	Transekte	Position			
			4m		10m	
			l	r	l	r
2 Wollerau	N3	1	3,4	27,0	0,1	22,3
		3	17,5	44,8	38,0	27,8
		5	21,6	26,0	32,4	28,4
3 Tagels- wangen	N1	1	50,6		48,2	
		3	50,2		49,6	
		5	51,6		46,2	
6 Rivera	N2	4	0,1	0,1	0,1	0,1
7 Grancia	N2	1	0,1	<0,1	4,2	4,7
		4	0,5	14,5	10,0	6,4
9 Belmont	N9	1	24,0	29,6	21,0	26,6
		3	38,6		39,0	
		5	20,8	27,8	22,8	40,0
10 Pfynwald	*	1	63,6		62,0	
		3	65,0		59,4	
		5	58,6		46,6	
11 Eptingen I	N2	1	11,8	28,6	10,0	20,0
		3	26,8	26,0	26,9	30,2

* vormals AG

Die für die Böden unserer Standorte ermittelten CaCO_3 -Werte schwanken sehr stark; die Mehrzahl dieser Böden muss jedoch als kalkreich bis sehr kalkreich bezeichnet werden. Die niedrigsten Werte wurden an Bodenproben von Rivera festgestellt, die schon durch tiefe pH-Werte aufgefallen sind. Da Rivera einen mit Braunerde überdeckten Gneisschotterboden aufweist, überraschen diese Werte allerdings nicht. Der Pfynwald stockt auf dem Geröllkegel des Illgrabens. Dort wurde der höchste Kalziumcarbonatsgehalt gemessen. Der Moräneboden bei Tagelswangen ergab ebenfalls hohe CaCO_3 -Werte (46,2 - 51,6 %). Auf den ersten Blick mag erstaunen, dass die Werte für die

beiden Standorte im Jura nicht sehr hoch sind. Dies erklärt sich jedoch für den Standort Eptingen I durch das Muttergestein (Opalinuston). Der Kalziumcarbonatanteil des Bodens bewegt sich hier zwischen 10 und 30 %.

5.04 Phosphat

Der Phosphatgehalt der Böden ist insofern wichtig, als Phosphor für die Pflanzen oft den begrenzenden Faktor im Sinne des Liebig'schen Gesetzes vom Minimum darstellt.

Zur Phosphatbestimmung wird der mit CO_2 -Wasser extrahierte Boden mit Sulfaminsäure von Nitrit befreit und der blaue Phosphormolybdänkomplex mit Ascorbinsäure entwickelt. Zur Feststellung der in Tab. 9 und im nachfolgenden Text verwendeten P-Testzahlen gilt die Beziehung $0,0356 \text{ mg P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ gr. Boden}$. Für weitere Angaben siehe FA Reckenholz P./f 1970.

Tab. 9 Phosphat (P-Testzahl)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
				4m		10m	
Nr.	Bezeichnung			1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	2,0	3,5	2,0	1,5
			3	2,5	1,0	1,0	1,0
			5	1,0	1,0	2,0	1,5
3	Tagels- wangen	N1	1	3,5		3,0	
			3	2,5		3,5	
			5	3,0		2,5	
9	Belmont	N9	1	1,0	1,0	1,0	1,0
			3	1,0		1,0	
			5	1,0	1,0	1,0	1,0
10	Pfynwald	*	1	2,0		2,5	
			3	2,0		2,5	
			5	2,5		2,0	
11	Eptingen I	N2	1	0,5	1,0	0,5	0,5
			3	1,0	1,0	0,5	1,0

* vormals A9

Bei den untersuchten Standorten wurden für landwirtschaftliche Begriffe niedrige Werte gefunden; der höchste beträgt 3,5, er wurde zugleich bei Wollerau und Tagelswangen festgestellt,

der niedrigste mit 0,5 fand sich in Eptingen. Die beiden Standorte mit relativ hohen Phosphatwerten (Wollerau und Tagelswangen) weisen gleichzeitig hohe bis extrem hohe Katalase-Werte auf, was mit der allgemeinen Erkenntnis übereinstimmt, dass eine ausreichende Phosphorversorgung des Bodens seiner biologischen Aktivität förderlich ist. (Scheffer-Schachtschabel, 1966, S. 297 und Kap. 5.08)

Geht man davon aus, dass mit steigenden Kalziumkarbonatgehalten die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors geringer wird, so muss bei mehreren Standorten von Phosphormangel gesprochen werden. Dies gilt insbesondere für den Standort Belmont ($\text{CaCO}_3 \approx 40\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 \approx 1\%$). Im Falle des Standorts Tagelswangen ist der Phosphorgehalt nach Begriffen der Agrikulturchemie knapp genügend ($\approx 3\%$). Berücksichtigt man aber den hohen Kalziumkarbonatgehalt von $\approx 50\%$, so muss auch hier von einem im Verhältnis geringen Phosphorangebot für die Pflanzen gesprochen werden.

5.05 Kali

Auch Kali zählt zu den Hauptnährstoffen für die Pflanzen. Die K_2O -Gehalte der Böden liegen nach Scheffer-Schachtschabel (1966) meist zwischen 0,2 und 3,3 %, bei Alkaliböden zwischen 2,5 und 6,7 % K (entsprechend K-Testzahlen von 0,2 - 4,0 und 4,0 - 8,1).

Der Kali-Gehalt des Bodens wird mittels Extraktion und Flammenphotometrie bestimmt. Der luftgetrockneten und zerriebenen (Körnung $< 2\text{mm}$) Bodenprobe wird kohlensäuregesättigtes Wasser zugegossen (Boden : Wasser = 1 : 2,5). Nach einer Stunde wird die Lösung geschüttelt und durch einen trockenen Faltenfilter filtriert. Im klaren Filtrat ist am gleichen Tag der K_2O -Gehalt flammenphotometrisch zu bestimmen. Die in Tab. 10 und nachfolgend im Text verwendete K-Testzahl bedeutet nichts anderes als $\text{mg K}_2\text{O} / 100 \text{ gr. Boden}$.

Tab. 10 Kali (K-Testzahl)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
Nr.	Bezeichnung			4m		10m	
				1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	1,3	2,7	1,8	2,3
			3	1,7	1,0	1,4	0,9
			5	2,9	1,4	1,6	1,6
3	Tagels- wangen	N1	1	2,7		1,6	
			3	2,3		2,1	
			5	2,7		1,9	
9	Belmont	N9	1	1,8	2,1	1,2	1,2
			3	1,6		1,2	
			5	2,8	3,1	2,5	2,1
10	Ffynwald	*	1	2,8		2,5	
			3	2,5		2,6	
			5	2,6		2,5	
11	Eptingen I	N2	1	7,2	2,8	4,3	2,7
			3	4,5	2,7	4,7	3,2

* vormalig A9

Aufgrund von Tab.10 ergibt sich, dass mit Werten von 0,9 (Wollerau) und 2,8 (Pfynwald) die Böden der meisten Standorte nach landwirtschaftlichen Begriffen mässig bis genügend mit Kali versorgt sind. Die hohen Kaliwerte, die beim Standort Eptingen bergseits, also auf gewachsenem Mutterboden, gefunden wurden (4,3 - 7,2 %), können mit dem Gehalt des Opalinustons an kalkhaltigen Mineralien in Verbindung gebracht werden. Hingegen ist der Kaligehalt auf der talseitig geschütteten Böschung auffallend geringer, nämlich nur 2,7 - 3,2 %. Dies erklärt sich durch die baubedingte Umverteilung des Bodens.

5.06 Organischer Kohlenstoff und Humus

Unter organischer Substanz versteht man alle in und auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe.

Zur Ermittlung der organischen Substanz des Bodens wird dessen Gehalt an organischem Kohlenstoff bestimmt. Dies erfolgt auf konduktometrischem Wege nach trockener Verbrennung im O_2 -Strom durch Bestimmung des in NaOH eingeleiteten CO_2 mit einem Gasanalysegerät.

Methodische Fehlerquellen: Um eine quantitative Verbrennung der organischen Stoffe zu gewährleisten, wird die Temperatur so hoch gewählt, dass auch anorganisch gebundener Kohlenstoff quantitativ entweicht. Bei kalkhaltigen Proben muss daher der auf Kalk entfallende C-Anteil abgezogen werden.

Die am Schreiber abgelesenen mg C werden in % C (abzüglich Karbonat C) umgerechnet. Die Humusprocente erhält man dann durch Multiplikation mit dem Faktor 1,724.

Tab. 11 Organischer Kohlenstoff ($C_{org.}$ in %)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
Nr.	Bezeichnung			4m		10m	
				1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	1,7	1,0	2,2	0,8
			3	0,4	0,2	0,4	1,0
			5	0,7	1,0	0,5	1,0
3	Tagels- wangen	N1	1	0,4		0,6	
			3	0,4		0,6	
			5	0,8		0,5	
9	Belmont	N9	1	0,6	0,4	0,4	0,4
			3	0,2		0,2	
			5	0,2	0,4	0,2	0,2
10	Pfywald	*	1	1,4		2,4	
			3	2,4		3,6	
			5	1,6		2,6	
11	Eptingen I	N2	1	0,8	2,0	0,7	1,6
			3	0,8	3,2	0,6	1,7

* vormalig A9

Tab. 12 Humus (in %)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
Nr.	Bezeichnung			4m		10m	
				1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	2,9	1,7	3,8	1,3
			3	0,7	0,3	0,7	1,7
			5	1,2	1,7	0,8	1,7
3	Tagels- wangen	N1	1	0,7		1,0	
			3	0,7		1,0	
			5	1,4		0,8	
9	Belmont	N9	1	1,0	0,7	0,7	0,7
			3	0,3		0,3	
			5	0,4	0,7	0,4	0,3
10	Ffynwald	*	1	2,4		4,1	
			3	4,1		6,2	
			5	2,7		4,5	
11	Eptingen I	N2	1	1,3	3,4	1,2	2,7
			3	1,3	5,6	1,0	2,9

* vormals A9

Angesichts des im autobahnnahen Bereich vorherrschenden Bodentyps (anthropogene Rohböden), kann der Gehalt an organischem Kohlenstoff und damit an Humus als nicht allzu gering bezeichnet werden. Die Werte bewegen sich in der Regel zwischen 0,8 und 2,2 für den organischen Kohlenstoff und 1,2 und 3,8 für den Humus. Die Bodenproben von Tagelswangen und Belmont ergaben niedrige Werte, jene von Eptingen und Pfynwald vergleichsweise hohe. Diese Unterschiede sind unseres Erachtens eher der wechselnden Beimengung von Humus während der Bauarbeiten und der unterschiedlichen Oberflächenumhumusierung zuzuschreiben, als einer differenzierten Neubildung von Humus.

5.07 Gesamtstickstoff und Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis

Der Gesamtstickstoff wird durch Kjeldahl-Aufschluss bestimmt, während das C/N-Verhältnis ein reines Rechenresultat ist:

$$C_{org.} / N_{tot.}$$

Bei der Bestimmung des Gesamtstickstoffs werden der organische Stickstoff (der ca. 98 % des Gesamtstickstoffs ausmacht) und ein Teil des

Tab. 13 Gesamtstickstoff (N_{tot} in ppm)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
Nr.	Bezeichnung			4m		10m	
				1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	0,185	0,076	0,219	0,067
			3	0,045		0,041	0,075
			5	0,061	0,085	0,047	0,070
3	Tagels- wangen	N1	1	0,045		0,058	
			3	0,036		0,051	
			5	0,036		0,042	
9	Belmont	N9	1	0,059	0,047	0,066	0,057
			3	0,043		0,051	
			5	0,052	0,057	0,045	0,039
10	Pfywald	*	1	0,134		0,175	
			3	0,175		0,236	
			5	0,130		0,210	
11	Eptingen I	N2	1	0,048	0,138	0,059	0,117
			3	0,055	0,210	0,035	0,112

Tab. 14 Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N)

Standorte		Strassen- klasse	Transekte	Position			
				4m		10m	
Nr.	Bezeichnung			1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	9,14	13,33	10,04	11,94
			3	8,89		9,88	14,08
			5	11,29	11,76	10,75	14,29
3	Tagels- wangen	N1	1	8,99		10,34	
			3	10,96		11,88	
			5	12,31		11,90	
9	Belmont	N9	1	10,26	8,51	6,11	7,09
			3	4,71		3,92	
			5	3,88	7,09	4,49	5,13
10	Pfywald	*	1	10,45		13,75	
			3	13,75		15,25	
			5	12,31		12,41	
11	Eptingen I	N2	1	16,67	14,49	11,86	13,68
			3	14,55	15,24	17,14	15,18

* vormals A9

Ammoniumstickstoffs erfasst. Unberücksichtigt bleibt der in Tonmineralien eingebaute Ammoniumstickstoff und der Nitratstickstoff. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs gibt somit in erster Linie Auskunft über die im Boden vorhandene organische Substanz, nicht aber darüber, wieviel Stickstoff durch die Pflanzen aufgenommen werden kann. In diesem Lichte muss die Tab.13 betrachtet werden.

Wir ersehen aus ihr, dass sich die Werte zwischen 0,035 ppm (Eptingen I) und 0,236 ppm (Pfynwald) bewegen. Ein Vergleich mit Tab. 12 zeigt, dass Bodenproben mit höheren Gesamtstickstoffwerten auch die höchsten Kohlenstoff- bzw. Humuswerte aufweisen. Immerhin ist diese Beziehung nicht linear, was sich bei der Bestimmung des Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnisses zeigt (Tab.14).

Bei der näheren Betrachtung des C/N-Verhältnisses (Tab.14) erweist sich, dass bei mehr als 2/3 der Bodenproben das C/N-Verhältnis über 10, aber nur in 4 von 41 Fällen über 15 liegt.

Wie steht es nun mit der Stickstoffversorgung der Pflanzen unserer Forschungsobjekte? Gehen wir davon aus, dass bei C/N-Verhältnissen über 15 bereits eine biologische Stickstoffsperre für die Pflanzen eintritt, d.h. dass dann an sich pflanzenverfügbarer Stickstoff durch die Mikroorganismen des Bodens benötigt und festgelegt wird, so müssen 4 von 41 Fällen (Eptingen und Pfynwald) trotz z.T. beachtlicher Gesamtstickstoffwerte (Max. 0,236 ppm: Pfynwald) als im landwirtschaftlichen Sinne stickstoffunterversorgt gelten. In etwas weniger als 2/3 der Fälle liegt das C/N-Verhältnis zwischen 10 und 15, was in landwirtschaftlichem Sinne immer noch als ungünstig gilt. Im übrigen knappen Drittel der Fälle, wo das C/N-Verhältnis weniger als 10 beträgt, ergibt sich eine Stickstoffmangelsituation aus den geringen Stickstoffgehalten selbst. Daraus folgt, dass alle geprüften Böden in landwirtschaftlichem Sinne unter Stickstoffmangel leiden; hält man sich aber an unsere Zielsetzung, im strassennahen Bereich unterhaltsarme Standortsverhältnisse zu schaffen, was

wachstumshemmende Standortsverhältnisse impliziert, so kann der verbreitete Stickstoffmangel als günstig gelten. In diesem Zusammenhang mag es interessieren, dass Erlen sowie die Leguminosen in Wurzelknöllchen stickstoffbindende Bakterien enthalten, die es der Erle erlauben, auf diesen stickstoffarmen Böden gut zu gedeihen. Diese Baumart wird denn auch häufig als Pioniergehölz verwendet (s.Kap. 7.2).

5.08 Katalase

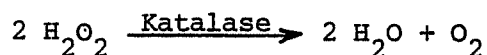
Die Katalaseaktivität wurde als bodenmikrobiologischer Parameter gewählt, weil die Aktivität der Katalase als Gesamt-

Tab. 15 Katalase (Vol.% O₂)**

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
Nr.	Bezeichnung			4m		10m	
				l	r	l	r
2	Wollerau	N3	1	4,04	3,36	4,13	1,44
			3	0,94	0,33	0,94	2,39
			5	2,77	3,27	0,60	2,19
3	Tagels- wangen	N1	1	3,31		4,26	
			3	2,04		3,76	
			5	4,86		1,57	
9	Belmont	N9	1	6,77	1,40	1,80	0,46
			3	2,95		1,47	
			5	3,27	1,99	1,15	1,05
10	Pfynwald	*	1	8,76		5,10	
			3	9,75		5,58	
			5	3,41		25,75	
11	Eptingen I	N2	1	0,29	1,03	0,66	1,18
			3	0,88	2,29	0,66	1,62

* vormalig A9

***) Die spezifische Reaktion der Katalase beruht auf einer Spaltung des H₂O-Moleküls in Wasser und Sauerstoff.



Die Katalaseaktivität kann deshalb an der Sauerstoffproduktion gemessen werden und wird ausgedrückt in Vol.% O₂.

aktivitätskriterium aller aerob lebender Organismen im Boden betrachtet werden kann; mit dieser Enzymaktivität wird den meisten biochemischen Prozessen im Boden Rechnung getragen. Uebersichtlich beobachtet man in der Landwirtschaft in der Regel eine lineare Beziehung zwischen Katalaseaktivität und Pflanzenertrag. Auf unsere Verhältnisse übertragen ist eine vergleichsweise Beziehung zwischen Katalaseaktivität und Wuchsfreudigkeit der Vegetation zu erwarten, doch kann das mit den bisherigen Messwerten nicht bewiesen werden. Mit Katalasewerten < 5 muss die mikrobiologische Aktivität der meisten analysierten Bodenproben als gering bezeichnet werden. Praktisch nur die Bodenproben des Standorts Pfynwald bilden eine Ausnahme; hier wurde ein Spitzenwert von 25,75 festgestellt (s. Tab. 15). So hohe Werte findet man üblicherweise nur in Aeckern und Gärten. Wir bringen diese Tatsache mit den vergleichsweise hohen Humusgehalten (4 - 6%) und der ausgezeichneten Durchlüftung des Bodens in Zusammenhang. Andererseits ergaben die Proben von Eptingen I trotz vergleichbarer Humusgehalte (2,7 - 5,6%) nur niedrige Katalasewerte (0,3 - 2,3%), was wir auf die starke Verdichtung der dortigen Tonböden zurückführen. Die Werte für den gewachsenen Boden auf der bergseitigen Böschung (linke Strassenseite) und für den aus demselben Material talseits geschütteten Boden (rechte Strassenseite) sind dabei ähnlich.

Um beim Vergleich Pfynwald - Eptingen I zu verbleiben, stellen wir im Pfynwald, wo nur wenig gepflanzt wurde, ein massenhaftes Aufkeimen und gutes Gedeihen verschiedener Gehölze, insbesondere aber der Grauföhre, fest. Auch die gepflanzten Waldföhren gedeihen gut. Die Vegetation macht einen gesunden Eindruck und signifikante Schäden oder Schädlinge konnten nicht beobachtet werden. Demgegenüber ist die Population der Gehölzsämlinge am Standort Eptingen I ausgesprochen spärlich. Die Wuchsfreudigkeit der Gehölze ist gering, Spitzendürre und Schädlingsbefall sind verbreitet und Abgänge recht häufig. Insbesondere die Waldföhre litt hier 1980 unter dem

Massenbefall durch die Afterraupen der rotgelben Kiefernbuschhornblattwespe (*Lophyrus rufus* Ratzeburg).

Wir möchten hier die Interpretation der aufschlussreichen Katalasewerte vorläufig abschliessen. Zu gering ist noch die Zahl der Analyseresultate; zu verschieden sind die Standorte auch in anderer Hinsicht.

5.09 Blei

Blei wird sowohl als Bleihalogenid wie auch als Schwermetall im Staub (Autoabgase) in die Umwelt emittiert und gelangt durch Luft und Wasser in den Boden, wo es stark festgelegt wird. Zumindest bei pH-Werten über 6, somit bei allen ausser den Tessiner Kristallin-Standorten, wird es durch die Pflanzenwurzeln nur in kleinsten Mengen aufgenommen. Bei pH-Werten zwischen 5 und 6 muss mit einer grösseren Mobilität des Bleis im Boden und deshalb mit einer stärkeren Aufnahme durch die Pflanzen gerechnet werden; allerdings können hohe Ton- und Humusgehalte die Mobilität wieder einschränken. (Keller, 1977)

Um den Bleigehalt im Boden feststellen zu können, wird eine Bodenprobe mit 2N HNO_3 von ca. 100° C ausgezogen, was erfahrungsgemäss ca. 80 - 90 % der Gesamtmenge an Blei in Lösung bringt. Unsere Zahlen beziehen sich auf die Gesamtmenge an Blei, da diese bei Beobachtungen über längere Zeit bekanntermassen der beste Indikator für die Anreicherung im Boden ist. Zur Abschätzung einer direkt wirksamen, d.h. einer von den Pflanzen direkt aufgenommenen Fraktion, muss zusätzlich ein leicht löslicher Anteil (bspw. Extraktion mit verdünnten Salzlösungen) bestimmt werden.

Bei den Untersuchungen des Bleigehalts der Böden traten sowohl innerhalb wie auch zwischen unseren Standorten sehr grosse Schwankungen auf. Das erstaunt allerdings kaum, da Blei natürlicherweise gar nicht oder nur in sehr kleinen Mengen im Boden vorkommt. Der Bleigehalt der untersuchten Standorte rührt also ausschliesslich vom Verkehr, d.h. von Autoabgasen von kloppfreiem Benzin her. Bei den meisten Standorten ist deshalb der Bleigehalt bei der Bodenprobe am höchsten, die der Fahrbahn am nächsten entnommen wurde. Im allgemeinen schwanken die Blei-Werte zwischen 15,4 (Eptingen) und 45,8 ppm (Wollerau).

Tab. 16 Blei (Pb^{++} in ppm)

Standort		Strassen- klasse	Transekte	Position			
				4m		10m	
				1	r	1	r
2	Wollerau	N3	1	50,6	45,8	31,4	25,4
			3	25,4	18,3	20,6	24,3
			5	37,4	37,4	20,6	45,8
3	Tagels- wangen	N1	1	13,5		20,6	
			3	12,3		17,1	
			5	20,6		12,3	
6	Rivera	N2	4		54,1	48,3	
7	Grancia	N2	1	541	61,0		63,3
			4	150		55,2	41,3
9	Belmont	N9	1	28,9	18,2	16,7	15,8
			3	19,9		15,3	
			5	26,4	23,9	18,9	11,3
10	Pfywald	*	1	31,4		27,5	
			3	35,8		29,0	
			5	31,4		31,1	
11	Eptingen I	N2	1	17,5	25,5	27,6	15,2
			3	30,6	30,6	10,0	15,4

* vormals A9

Da die meisten Böden der untersuchten Standorte einen pH-Wert >7 aufweisen, dürfte Blei, wie schon erwähnt, bei den meisten Standorten durch Pflanzenwurzeln nur in kleinsten Mengen aufgenommen werden. Der geringe Humusgehalt an den meisten Standorten relativiert diese Feststellung allerdings etwas.

Beim Standort Grancia, wo der in der Landwirtschaft tolerierte Wert von 100 ppm lokal gleich um das 5fache überschritten wird, ist wohl trotzdem mit Schädigungen gewisser Pflanzenarten zu rechnen. Hier wurde auf der linken Autobahnseite ca. 20 m vom Tunnelportal und 4 m vom Fahrbahnrand entfernt ein maximaler Bleigehalt von 541 ppm ermittelt. Wir bringen diese ausserordentlich starke Kontamination mit der Tatsache in Zusammenhang, dass die Seite des Tunnelausgangs erhöhten Abgasimmissionen ausgesetzt ist. Bei 10 m Entfernung von der

Fahrbahn nehmen die Werte aber schon deutlich ab: 55,2 ppm. Die Resultate von Pfynwald sind homogener als jene der übrigen Standorte - sie schwanken nur zwischen 29,0 und 35,8 ppm - was sich möglicherweise mit der stärkeren Durchwirbelung der Luft bei Gegenverkehr erklären lässt.

5.10 Die Bodeneigenschaften des Mittelstreifens

Im Gegensatz zu den von uns untersuchten Seitenborden der Autostrassen weisen die Mittelstreifen so viele Gemeinsamkeiten auf, dass es gerechtfertigt erscheint, die Bodeneigenschaften für diesen Standortstyp für sich zu betrachten. Die Einheitlichkeit der Randbedingungen erstreckt sich hier auf die Topographie, die konstruktionsbedingte räumliche Enge, die baubedingte starke Durchmischung und Verdichtung des Bodens und die verkehrsbedingten besonders intensiven Immissionen einschliesslich Streusalz.

Diese Rahmenbedingungen sind für die Vegetation so überwiegend, dass die nachfolgend diskutierten Messwerte zum vorneherein relativiert werden müssen. Für die Methodik verweisen wir auf die vorangehenden Kapitel 5.01 - 5.09.

Wie im Kapitel 6 weiter ausgeführt wird, ist anzunehmen, dass die Wintersalzung Auswirkungen zeigt, die sich im Mittelstreifen kumulieren. Das Salz gelangt hier zum Teil schon bei der Streuung direkt auf den Boden, zusätzlich aber auch indirekt durch den Verkehrsgischt. Die Gesamtsalzmenge gelangt schliesslich von der Oberfläche der Pflanzen und des Bodens mit dem Regen- und Schmelzwasser in den Boden.

Wir haben schon mehrfach darauf hingewiesen, dass mit der Wintersalzung ein Anstieg der pH-Werte zu erwarten ist, was wir aber selbst für den Mittelstreifen bisher noch nicht nachweisen konnten. Die pH-Werte entsprechen mit nichtsignifikanten, innerhalb der Fehlergrenzen liegenden Abweichungen den an den Seitenborden im Abstand von 4 m gefundenen Werten. So ist vor allem festzuhalten, dass von den bisherigen Mittelstreifen-Messwerten im Vergleich zu den Seitenbord-Proben an keinem Standort ein Umschlag von sauer nach neutral resp. von neutral nach basisch festzustellen war. Zusätzliche Untersuchungen auch der

elektrischen Leitfähigkeit des Bodens sind deshalb erforderlich.

Wo Kalziumkarbonat-Messungen im Mittelstreifen durchgeführt wurden, ergaben sich wiederum mit den Seitenbord-Proben übereinstimmende Werte, immerhin mit der Ausnahme von Belmont, wo der höchste Wert, also die kalkreichste Probe, im Mittelstreifen festzustellen war.

Der Humusgehalt ist im Mittelstreifen gegenüber dem Umgelände durchschnittlich etwas höher, ebenso scheint der Katalasewert leicht angehoben, was jedoch kaum auf ein viel regeres Bodenleben schliessen lässt, sind doch die Werte absolut gesehen immer noch äusserst tief. Die Ursache dürfte die Humusierung der Pflanzlöcher und -gräben sein. Damit im Zusammenhang sind auch die beim Standort Belmont ausserdem leicht erhöhten Werte für Phosphate, Humus, Gesamtstickstoff und das C/N-Verhältnis zu sehen.

Entsprechend den hohen Katalasewerten ergab sich für den Standort Belmont im Transekt 1 ein sehr hoher Phosphatwert, was eine günstige Abweichung gegenüber den Seitenbord-Proben darstellt. Während dort Phosphormangel konstatiert werden musste, ist der Wert vom Mittelstreifen als im landwirtschaftlichen Sinne gut zu betrachten. Berücksichtigt man aber auch den hohen Kalziumkarbonatgehalt dieses Bodens, so muss auch diese Feststellung wiederum relativiert werden, da Phosphat dadurch an Pflanzenverfügbarkeit verliert.

Aehnliches ist für La Maladière festzustellen. Die Phosphatwerte schwanken zwischen genügend und gut, während die sehr kalkreichen Böden der Vegetation den Phosphataufschluss erschweren.

Eindeutig hat sich beim heutigen Stand der Untersuchungen jedoch gezeigt, dass die Bleikonzentration im Mittelstreifen kräftig erhöht ist und in den meisten Fällen die für landwirtschaftliche Böden geltende Toleranzschwelle von 100 ppm überschreitet; ob damit auch eine Schadschwelle für die Mittelstreifenvegetation überschritten ist, bleibt abzuklären.

Tab. 17 Bodenuntersuchungen im Mittelstreifen

chemisch-physi- kalische Messwerte	Anzahl Proben	Transsekt Nr.	Bodenart	pH	CaCO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	C _{org}	Humus	N _{tot}	C/N	Katalase	Pb
8 La Maladière	5	1	humusarmer, sandiger Lehm	7,1	20,8	4,5	0,9	1,0	1,7	0,122	8,23	4,74	264
		2	humusarmer, sandiger Lehm	7,4	30,4	4,0	1,4	0,8	1,3	0,126	6,35	5,39	542
		3	schwach humoser, sandiger Lehm	7,4	42,0	5,0	0,9	1,3	2,2	0,084	15,48	3,27	486
		4	schwach humoser, sandiger Lehm	7,4	34,2	6,5	1,4	1,4	2,4	0,110	12,17	3,43	535
		5	schwach humoser, sandiger Lehm	7,4	27,6	7,0	3,4	1,2	2,0	0,106	11,32	4,82	769
9 Belmont	2	1	humusarmer Lehm	7,8	42,0	6,5	2,1	1,0	1,7	0,130	7,69	6,31	150,5
		5	humusarmer, toniger Schluff	8,4	32,4	1,0	3,0	0,2	0,3	0,044	4,60	2,71	45,8
12 Eptingen II	6	1	schwach humoser Ton	7,6	17,6	1,0	1,2	1,6	2,7	0,180	8,89	2,49	101
		2	schwach humoser Ton	8,0	19,8	1,0	1,1	1,5	2,5	0,169	8,88	1,28	56,7
		3	schwach humoser Ton	7,6	17,6	1,0	1,4	1,7	2,9	0,174	9,77	1,49	77,9
		4	schwach humoser, lehmiger Ton	7,5	12,6	2,0	1,7	2,1	3,6	0,265	7,92	3,98	76,0
		5	schwach humoser, lehmiger Ton	7,5	12,8	3,5	1,4	1,8	3,1	0,257	7,00	2,56	73,4
		6	schwach humoser Ton	7,6	13,6	1,0	1,2	2,2	3,8	0,181	12,15	0,74	32,3

6. DIE ANWENDUNG VON AUFTAUSALZEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN
AUF BODEN UND VEGETATION

Seit Beginn der Streusalzanwendung traten Schäden an den Begleitpflanzen von Autobahnen und -strassen auf. Dem Einfluss des Salzes auf Vegetation und Boden wurde deshalb in den letzten Jahrzehnten grösste Aufmerksamkeit geschenkt, viele Untersuchungen durchgeführt und Empfehlungen ausgearbeitet. Alle Versuche zur Resistenzermittlung von Gehölzen lassen sich jedoch nur bedingt auf andere Gebiete übertragen.

Im ersten Teil dieses Kapitels werden Angaben über den Salzverbrauch gemacht, wobei noch offen gelassen werden muss, wieviel dieses Salzes direkt oder indirekt in die strassen-nahe Vegetation gelangt und im zweiten Teil werden die zur Salzbestimmung angewandten Methoden dargestellt. Der dritte Teil dieses Kapitels, der sich mit den Auswirkungen der Auftausalze auf Boden und Vegetation beschäftigt, ist besonders ausführlich abgefasst. Hier geht es uns darum, Erkenntnisse, die den Praktiker interessieren, jetzt schon bekanntzugeben.

6.1 Verbrauch von Auftausalzen

Zur Bekämpfung der Strassenglätte im Winter wird bei uns in grossem Umfang Streusalz verwendet. Dieses gelangt dabei auch in den strassennahen Raum, wo es bei stärkerer Konzentration die Vegetation schädigt.

Die Wirkung des Salzes auf Boden und Vegetation wird weiter unten dargestellt (s.Kap. 6.3); an dieser Stelle wird vorerst versucht, den Salzverbrauch bei unseren Forschungsobjekten zu quantifizieren. Als Massstab verwenden wir den Salzverbrauch in kg pro m² Fahrbahn pro Streuperiode (Winter). Wieviel von diesen Salzmengen in den begrünten, strassennahen Raum gelangen, ist allerdings noch unbekannt.

Der Verbrauch von Auftausalz konnte aufgrund einer Umfrage bei den zuständigen Werkhöfen für einige unserer Standorte annähernd ermittelt werden. Die Berechnung des Verbrauchs in kg/m² geht aus dem Beispiel für den Standort Tagelswangen hervor (s.Tab 18).

Zu den Erhebungen (Tab.18) ist noch folgendes zu bemerken:

- Vermutlich werden bei den meisten Werkhöfen Anschlusswerke bei den angegebenen Kilometerzahlen mitberücksichtigt.

- Für die Anschlusswerke gilt eine fiktive Kilometerzahl: $\frac{\text{Fläche} \cdot 1,6}{21}$

wobei: Fläche = Fahrbahnfläche + Pannenstreifen

21 = Fahrbahnfläche + Pannenstreifen (m Breite)

1,6 = Korrekturfaktor

- Der Streckenabschnitt Ohringen-Aubrücke beträgt effektiv 22 km, daher Salzverbrauch in kg / 22. Die Anschlusswerke werden auf dieser Teilstrecke durch einen zweiten Wagen gesalzt.

- Die Standspur wird allgemein nicht gesalzt.

- Unter "km-Autobahn" werden allgemein beide Fahrtrichtungen zusammen verstanden.

- Die hier wiedergegebenen Werte gelten nur bedingt für unsere Standorte, da die wiedergegebenen Werte über Streckenabschnitte ermittelt wurden, die weit darüber hinausreichen.

Tab. 18 Aufwand Winterdienst

Tagelswangen

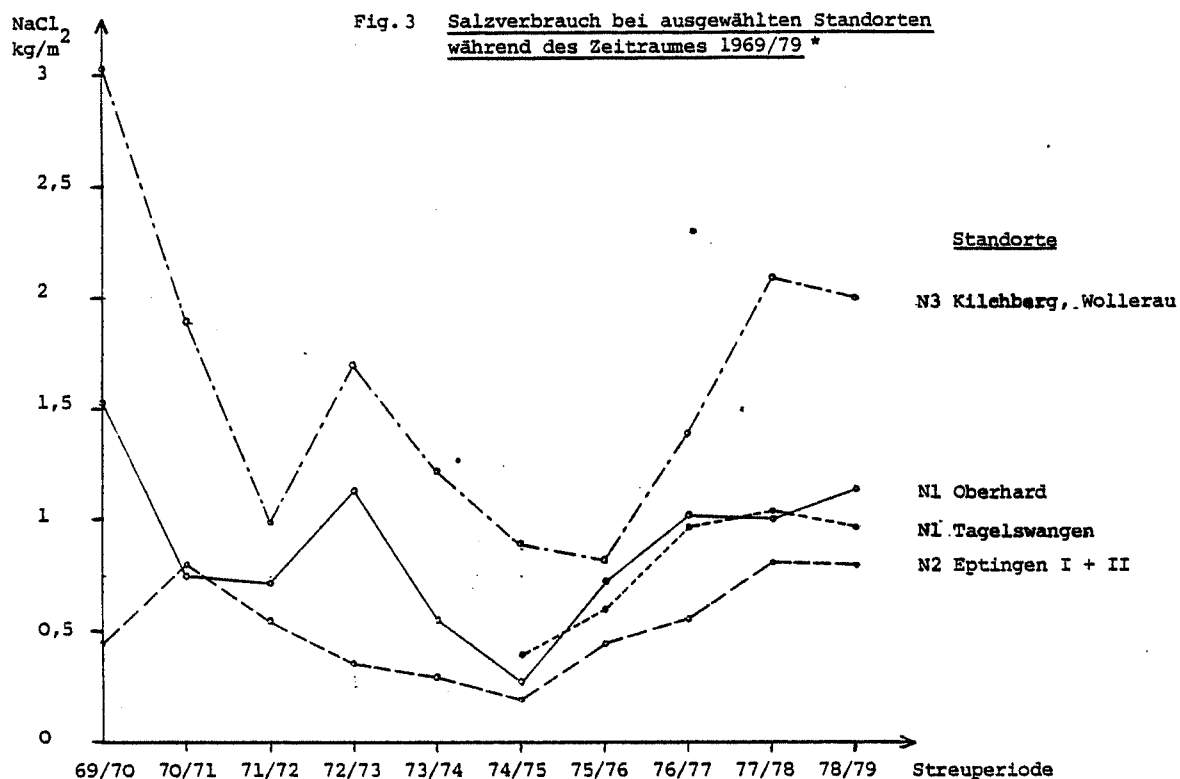
Winter	Salzverbrauch						Einsätze		
	kg		kg/m ²		kg/km		salzen	pflügen +salzen	total
	NaCl	CaCl	NaCl	CaCl	NaCl	CaCl			
3									
1974/75	163700	-	0.404	-	7440	-	71	12	83
1975/76	241800	-	0.597	-	10990	-	83	16	99
1976/77	356700	-	0.880	-	16213	-	108	29	137
1977/78	428800	-	1.058	-	19490	-	116	22	138
1978/79	363400	-	0.897	-	16518	-	101	24	125
19 /									
19 /									
19 /									
19 /									
19 /									
19 /									

Strecke: Winterthur - Aubrugg

Länge: km 325.5 - 318.5 = 7 km 4-spurig
 km 318.5 - 303.5 = 15 km 6-spurig = 22 km

Fläche (Streubreite) ohne Standspur

7000 m x 7.5 m x 2 = 105'000 m2
 15000 m x 10.0 m x 2 = 300'000 m2
 Total 405'000.m2



* Angaben der Werkhöfe für Streckenabschnitte, in denen die Standorte liegen.

Vergleicht man den Salzverbrauch pro Streuperiode mit den Messwerten der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) in Zürich, so ergibt sich, wie nicht anders zu erwarten war, eine starke Korrelation einerseits zwischen dem Salzverbrauch an einem bestimmten Ort und andererseits der Anzahl Frost- und Schneefalltage pro Streuperiode. An dieser Stelle wird jedoch darauf verzichtet, diese Zusammenhänge zahlenmässig oder graphisch darzustellen. Aus der Figur 3 geht nun aber hervor, dass auch der Salzverbrauch von Werkhof zu Werkhof gesamthaft gesehen und von Winter zu Winter stark schwankt, was mit der Zugehörigkeit unserer Standorte zu unterschiedlichen Klimabereichen gesehen werden muss (s.Kap. 3.2).

6.2 Nachweis von Auftausalzen im Boden

Zur Bestimmung der Intensität der Streusalz-Kontamination nützen wir die Tatsache, dass sich mit dem Streusalz-Eintrag der Elektrolytgehalt des Bodens (bzw. dessen wässrigen Extrakts) erhöht und damit auch dessen elektrische Leitfähigkeit.

Zur Feststellung der elektrischen Leitfähigkeit wird die Bodenprobe mit reinstem Wasser gesättigt und die Elektrolytkonzentration anhand des chemischen Widerstandes im Exktrakt gemessen.

Tab. 19 Grenzwerte der Bodenversalzung

	Elektrolytgehalt
Millimho *)	Bezeichnung
0 - 1	gering
1 - 2	normal
2 - 4	schwach erhöht (Schäden bei sehr empfindlichen Pflanzen möglich)
4	erhöht (Schäden bei vielen Pflanzen möglich)
*) $1 \text{ Millimho} = \frac{1}{1000 \cdot \Omega}$ gemessen mit 1 cm^2 Elektroden im Abstand von 1 cm bei 25° C $= 1 \text{ mS}$	

Im Rahmen dieses Forschungsauftrags wurde die elektrische Leitfähigkeit bisher erst im Zusammenhang mit der Erforschung des Verhaltens chemisch-physikalischer Messwerte in Funktion der Entfernung der Probeentnahmestelle beim Standort Grancia erfasst (s.Tab. 20).

Vergleicht man die erhaltenen Werte mit den in Tab. 20 gegebenen Grenzwerten der Bodenversalzung, so kann der Elektrolytgehalt unserer Bodenproben im landwirtschaftlichen Sinne als gering bis normal bezeichnet werden. Im Gegensatz zu unseren Erwartungen ist die elektrische Leitfähigkeit in Fahrbahnnähe sehr gering und steigt im Transekt 4 auf der rechten Strassenseite (nach Westen) mit wachsender Entfernung von der Strasse regelmässig an. Erst weitere Messungen werden uns zeigen, ob es sich hier um Zufallsresultate handelt.

Tab. 20 Verhalten chemisch-physikalischer Messwerte in Funktion der Entfernung der Probenentnahmestelle von der Immissionsquelle dargestellt am Beispiel des Standorts Grancia

Entfernung des Transekts vom Tunnelportal													
S → N													
T4		T1	T4: m					T1: m					
Probe Nr.	Distanz m		EL. mmos	Na ⁺ ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Pb ⁺⁺ tot ppm	pH	EL. mmos	Na ⁺ ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Pb ⁺⁺ tot ppm	pH	
1	20		1,524	15	503	-	7,3	0,820	15	255	69,1	7,7	
2	13		1,402	20	423	41,3	7,2	0,218	23	339	63,3	7,4	
3	5		0,887	18	436	-	7,5	0,921	20	268	61,0	6,8	
4	2		1,072	18	297	94,5	7,2	1,075	21	456	94,5	7,4	
5	1,5	1,5	0,700	18	239	153	7,5	0,957	23	389	96,8	7,4	
6	5,7	1,5	0,818	15	253	163	7,4	0,448	14	255	148	7,5	
7	1,5	1,5	0,818	37	378	529	7,5	0,836	12	375	152	7,3	
8	2		0,969	21	346	795	7,4	0,173	24	413	541	7,5	
9	5		0,918	15	332	150	7,5	1,083	18	358	111	7,5	
10	13		1,098	14	346	55,2	7,8	1,047	19	375	-	7,6	
11	20		0,980	15	228	46,0	7,2	1,380	20	457	-	7,5	
12	25		1,121	14	330	44,8	7,3	1,005	17	330	58,7	7,4	

In der Regel begnügen wir uns mit der Feststellung der elektrischen Leitfähigkeit am Bodenextrakt als Mass für die Streusalz-Kontamination strassennaher Böden. Nur wenn besonders hohe Werte der elektrischen Leitfähigkeit erhalten werden, soll künftig die Konzentration der Kationen Na⁺ und allenfalls Ca⁺⁺ zusätzlich untersucht werden. Die bisher erhaltenen Werte (s. Tab.20) können als normal gelten und sollen hier nicht weiter diskutiert werden. Dem leicht erhöhten Messwert für Na⁺ bei Probe 7 messen wir hier keine besondere Bedeutung bei.

6.3

Wirkung der Auftausalze auf Boden und Vegetation

Angesichts der an der strassensäumenden Vegetation beobachteten bedeutenden Salzs Schäden scheint es uns vordringlich, an dieser Stelle Ursache und Wirkung und mögliche Massnahmen zu deren Minimisierung mit einer gewissen Ausführlichkeit zu besprechen.

Schädigung des Bodens: Der pH-Wert ändert sich wie schon erwähnt (s.Kap. 5.02) infolge Austauschvorgängen am Sorptionskomplex des Bodens, an denen Na^+ -Ionen beteiligt sind. Durch das Eindringen von Natriumchloridlösungen in den Boden ersetzen diese die am Bodenkomplex aggrederenden Ca-Ionen (oder Mg-Ionen). In diesem Fall erhöht sich der pH-Wert. Als weitere Folge dieser Reaktion tritt eine Verschlammung und Verdichtung des Bodens ein.

Schädigung der Pflanzen durch den Boden: Durch ein Ueberangebot der einen oder anderen Ionenart wird diese durch die Wurzeln in die Pflanze aufgenommen. Eine einseitige Ionenaufnahme (z.B. Cl^-) wird Stoffwechselstörungen zur Folge haben. Die erhöhte Salzkonzentration im Wurzelbereich hat zur Folge, dass der osmotische Druckunterschied zwischen Pflanze und Bodenlösung gering und damit die Wasseraufnahme eingeschränkt ist. Indirekt wird die Pflanze auch durch die Veränderung der Bodenstruktur und des pH-Wertes geschädigt. Die Verdichtung (vgl. oben) hemmt die Wasserbeweglichkeit und die Durchlüftung des Bodens. Ein erhöhter pH-Wert erschwert die Aufnahme von Nährstoffen.

Schädigung der Pflanzen durch oberirdischen Kontakt:

Durch den Ioneneintritt beim oberirdischen Kontakt der Pflanze mit salzhaltigem Spritzwasser treten Stoffwechselstörungen ein (der Pflanze wird osmotisch Wasser entzogen), die ein Absterben von Trieben, Blättern oder ganzen Pflanzen bewirken können. Das eingedrungene Cl wird während der Vegetationsperiode in den Blättern, vor allem am Blatt-

rand, stark konzentriert. Vor dem Blattfall wird es weitgehend in das Parenchym der Zweige und Äste und im nächsten Jahr wieder in die Blätter verlagert. Dadurch bringt der Blattfall kaum Entlastung für die Pflanze, was zur Folge hat, dass die Krankheitssymptome mit der Zeit immer mehr zunehmen.

Weitere Einflussfaktoren im Zusammenhang mit der Streusalzanwendung sind:

- Salzmenge und Dauer der Salzstreuung
- Zeitpunkt der Streuung (wichtig zu Beginn und am Ende im Herbst bzw. Frühjahr der Streuperiode)
- Exposition der Pflanzen.
- Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode, der Wachstums- und Reifezustand der Gehölze steuert und der Witterungsverlauf während des Winters.

Aus diesen Gründen werden die Pflanzen in den verschiedenen Jahren unterschiedlich stark geschädigt.

Symptome der Schädigungen

Es können neben allgemein pflanzenphysiologischen Störungen unterschiedliche, ortsspezifische Schädigungen auftreten.

Dies sind vor allem:

- Absterben einzelner Knospen
- Verspäteter Austrieb der Knospen
- Kleinere Blätter
- Stark gekräuselte Blattflächen
- Blattrandnekrosen
- Frühzeitiger Blattfall
- Kümmer- und Besenwuchs.

Da viele dieser Symptome auch von anderen Krankheiten hervorgerufen werden können (Trockenheit etc.), ist es nicht immer leicht, Salzschädigungen zu diagnostizieren.

Das mag mit ein Grund sein, warum verschiedene Autoren verschiedene Salzempfindlichkeit mancher Gehölze angeben (s. Tab. 21).

Tab. 2/ Relative Resistenz von Gehäusen gegenüber Auftausalzen
(nach verschiedenen Autoren)

Forschungsauftrag EDI/VSS 6-79

Arten	Autoren	A											B											C															
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	--	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	--	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	--		
Acer campestre									x		x				x	x												x	x	x									
Acer platanoides									x	x	x	x			x													x	x	x									
Acer pseudoplatanus									x	x	x				x													x	x	x									
Ailanthus altissima																																							
Alnus glutinosa															x	x																							
Alnus incana															x	x																							
Berberis vulgaris									x																														
Betula verrucosa		x													x																								
Caragana arborescens																																							
Carpinus betulus		x	x	x	x				x																														
Colutea arborescens																																							
Cornus mas		x	x																																				
Cornus sanguinea			x	x	x										x																								
Corylus avellana		x	x	x																																			
Cotoneaster horizontalis																																							
Crataegus monogyna		x	x	x	x																																		
Crataegus oxyacantha		x	x	x																																			
Elaeagnus angustifolia																																							
Evonymus europaeus																																							
Fagus sylvatica		x	x	x					x		x	x			x																								
Fraxinus excelsior															x																								
Hyperphæe rhamnoides																																							
Larix decidua																																							
Ligustrum vulgare		x	x	x					x	x																													
Lonicera xylosteum																																							
Lycium halimifolium																																							
Picea abies																																							
Pinus silvestris																																							
Populus tremula																																							
Prunus avium																																							
Prunus padus																																							
Prunus spinosa																																							
Pyracantha coccinea																																							
Quercus petraea																																							
Quercus robur																																							
Quercus rubra																																							
Rhamnus cathartica																																							
Ribes alpinum																																							
Robinia pseudoacacia																																							
Rosa canina		x	x	x																																			
Rosa rubiginosa																																							
Rosa rugosa																																							
Salix alba																																							
Salix caprea																																							
Salix cinerea																																							
Salix purpurea																																							
Sambucus nigra		x	x																																				
Sambucus racemosa		x	x	x																																			
Sorbus aria																																							
Sorbus aucuparia		x	x																																				
Symphoricarpos albus																																							
Tamarix spec.																																							
Taxus baccata																																							
Tilia cordata																																							
Tilia platyphyllos																																							
Ulmus campestris																																							
Ulmus glabra																																							
Viburnum lantana																																							
Viburnum opulus																																							

Erläuterungen: Einteilung der Empfindlichkeitsstufen nach Autoren

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l
Sauer, 1964	Sauer, 1967	Buschbom, 1968	Eschermann, 1973	Kurusa et al., 1974	Leh, 1975	Meyer, 1978	Meyer, 1978	Braun et al., 1978	Schiechl, 1978	Voess, 1979
am stärksten geschädigt	stark anfällig	sehr empfindlich	sehr empfindlich		stark anfällig	nicht widerstandsfähig	nicht widerstandsfähig	bes. resistent, resistent	vollkommen unbrauchbar	nicht geeignet
nicht so stark betroffen	mässig anfällig	mässig empfindlich	etwas mehr geschädigt		mässig anfällig	bedingt widerstandsfähig	bedingt widerstandsfähig	wenig anfällig	bedingt brauchbar	bedingt geeignet
geringste Schädigungen	wenig anfällig	schwach empfindlich	wenig geschädigt	geeignet hinsichtlich Salzresistenz	nicht, bzw. wenig anfällig	widerstandsfähig	widerstandsfähig	empfindlich, sehr empfindlich	für Blendschutz gut brauchbar	geeignet

*) g bezieht sich nur auf Einfluss durch Bodenversalzung
h bezieht sich nur auf Einfluss durch Salzkontakt

Möglichkeit der Bekämpfung von Salzs Schäden

Pflanzenauswahl

Die Resistenz von Gehölzarten wurde von verschiedenen Autoren untersucht (s. Tab. 21). Die Ergebnisse differieren bei einzelnen Arten und Autoren sehr stark. Dafür können folgende Gründe verantwortlich sein:

- Innerhalb einer Art bestehen individuelle Unterschiede der Pflanzen bezüglich ihrer Salzempfindlichkeit.
- Eine Art kann in den verschiedenen Entwicklungsstufen unterschiedliche Empfindlichkeit aufweisen. So sind meist junge weniger resistent als ältere Pflanzen.
- Verschiedene Pflanzenarten vermögen durch ihr Ausschlagvermögen geringere Salzmengen (z.B. bis $0,5 \text{ kg/m}^2$) sehr gut zu ertragen und zeigen kaum Schädigungen. Sobald aber die ausgebrachte Salzmenge (z.B. über $1,0 \text{ kg/m}^2$) steigt, versagen sie und gehen teilweise ein (als Beispiel die Hagebuche = *Carpinus betulus*).
- Einzelne Pflanzenarten sind gegenüber Salzeinwirkungen über den Boden ziemlich resistent, gegenüber solchen über die oberirdischen Pflanzenteile jedoch sehr anfällig. Diese Unterschiede wurden nicht bei allen Autoren berücksichtigt.

Trotz dieser Einschränkungen kann aus der Tabelle herausgelesen werden, welche Arten resistent sind. Dabei ist auffallend, dass gerade viele nicht einheimische Arten (z.B. der Erbsenstrauch (*Caragana*) und die Oelweide (*Elaeagnos*)) salzresistent sind. Man wird also Schwierigkeiten haben, den Mittelstreifen mit ausschliesslich einheimischen Arten zu bepflanzen. Da es sich jedoch dabei um Extremstandorte mit äusserst ungünstigen ökologischen Verhältnissen handelt, kann ein Anpflanzen von "exotischen" Arten, die jedoch auf diesen Böden standortsgemäss sind, vertreten werden. Eine Ausbreitung dieser Arten auf nahegelegene Wälder ist kaum zu erwarten.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass alle Pflanzen durch Streusalze Schädigungen erleiden, nur wird das Ausmass unterschiedlich sein. Nach Ruge (1974) treten Streusalzschädigungen zwar erst bei Mengen von über $1 \text{ kg} / \text{m}^2$ und Winter auf (städtischer Bereich). Schiechtl (1978) glaubt, dass in der freien Landschaft schon bei geringeren Salzmengen Gehölzschädigungen auftreten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei der Artenwahl für Standorte, die Salzeinwirkungen ausgesetzt sind (u.a. Mittelstreifen), die Salzresistenz eine bedeutende Rolle spielt.

Pflanzalter: Wie oben erwähnt, sind junge Pflanzen und auch jüngere Sprosssteile salzanfälliger als ältere. Das rührt daher, dass in älteren Pflanzenteilen der Salzgehalt erhöht ist und damit bei einer Salzeinwirkung der Unterschied von "innen und aussen" kleiner ist und die Schädigung geringer. Das heisst, dass es vorteilhaft ist, etwas ältere Pflanzen (3-4 jährig, mind. einmal verschult) zu wählen, die auch gegenüber Verunkrautung Vorteile mit sich bringen. Aus oben Gesagtem wäre es auch möglich, die Salzresistenz zu erhöhen, indem Jungpflanzen auf salzhaltigen Böden aufgezogen werden.

Pflanzzeit: Die Pflanzungen sollten, u.a. im Mittelstreifen, unbedingt im Frühjahr vorgenommen werden, damit die Pflanzen bis zur nächsten Salzstreuung gut anwachsen können.

Pflanzbeet: Es ist unbedingt dafür zu sorgen, dass genügend humusreiche Erde mit einem breiten Spektrum an Nährstoffen für die Pflanzen bereitgestellt wird. Eine Düngung kann sehr hilfreich sein, wobei vor allem auf eine genügende Calcium-Versorgung geachtet werden muss, da hohe Gehalte an Chloridionen durch Bildung von leicht auswaschbarem CaCl_2 zu Calcium-Verlusten führen und ungünstig auf die Krümelstruktur wirken (vgl. auch Schädigung des Bodens) (Chrometzka, 1974).

Pflanzverband: "Je dichter die Pflanzung, um so schmaler meist die Schadenszone" (Sauer, 1964). Aus diesem Grund ist es angebracht, kleinere Pflanzabstände als üblich einzuhalten (bis 0,7 m Pflanz- oder Reihenabstand).

Salzdosierung: Bei einer Salzstreuung sollte eine Menge von 6 - 10 g/m² Salz eingehalten werden. Salzstreugeräte müssen bei der Ausstreuung der eingestellten Menge geschwindigkeitsabhängig sein.

Entwässerung: Eine Bodenversalzung hängt weitgehend von den Niederschlägen im Winter und im folgenden Frühjahr ab. Eine Entwässerung im Mittelstreifen kann sicher eine gewisse Entlastung für die Pflanzen bringen, wenn auch die Haupteinwirkung des Salzes über den Salzkontakt mit den oberirdischen Pflanzenteilen geschieht. Sie muss jedoch das Wasser fassen, bevor es die bepflanzten Teile erreicht. Ableitungen dürfen nie in den Wald hinausführen.

Anordnung der Leitplanken: Heute werden meist Doppelplanken oder Seilzäune im Mittelstreifen errichtet. Pflanzen, die zwischen den Planken gepflanzt werden, erhalten von diesen Schutz gegen Salzspritzer. Schiechl (1978) stellte denn auch fest, dass im Schnee steckende und durch Leitschienen geschützte Pflanzenteile intakt blieben. Da heute vielfach Seilzäune installiert werden (bei Plankenfahrten resultieren mehr Unfälle mit Verletzten, Pingond, 1970), fällt auch dieser Schutz der Pflanzen dahin.

Für eine erfolgreiche Pflanzung wäre folgende Ausgestaltung des Mittelstreifens wünschenswert:

- Möglichst breiter Mittelstreifen
- Genügend grosser Pflanzkoffer
- Bei Leitplanken Pflanzung zwischen den Planken; auch beidseitig der Planken können resistente Sträucher gepflanzt werden, die auffahrende Autos etwas zu bremsen vermögen.

- Werden Seilzäune errichtet, wäre ein Versuch mit leicht erhöhtem Mittelstreifen und Pflanzbeet zu wagen.

7. VEGETATIONSUNTERSUCHUNGEN

Wir haben im Rahmen dieses Projekts in insgesamt 20 Forschungsobjekten die Vegetation systematisch untersucht. Zusätzlich sind auch ausserhalb dieser fest umgrenzten Untersuchungsflächen Beobachtungen allgemeiner Natur gemacht worden.

15 Forschungsobjekte - verteilt auf neun Standorte - entfallen auf Strassenböschungen, 5 weitere auf Mittelstreifen an ebenso vielen verschiedenen Standorten. Aus methodischen Gründen haben wir die Messresultate für Böschungen und Mittelstreifen in Text und Tabellen getrennt dargestellt.

Letzlich beschäftigt sich der ganze vorliegende Bericht mit der Vegetation an ausgewählten Standorten entlang von Strassen und Autobahnen. Auch die Kapitel, in denen die massgebenden Umweltbedingungen analysiert werden, sind auf diesen Hauptgegenstand ausgerichtet.

In diesem Kapitel sollen die Hilfsmittel erarbeitet werden, mit denen die Vegetation in den einzelnen Forschungsobjekten analysiert, die Ergebnisse interpretiert und allenfalls über deren weitere Entwicklung Prognosen erstellt oder zumindest Trends erkannt werden können. Es ist hier der Ort, auf die bereits im Kapitel 2 "Forschungsziele und Methoden" erwähnten grundlegenden Vegetations-Aufnahmemethoden Linien- und Bandbeobachtung nochmals zurückkommen.

Wie der Name schon andeutet, ist bei der Linienbeobachtung (line-transect-sampling method) eine ins Gelände gelegte Linie - bei uns ein Messband - der mathematische Ort, der für eine Aufnahme der Pflanzen massgebend ist, bei der Bandbeobachtung (belt-transect-sampling-method) hingegen eine bandförmige Fläche.

Diese beiden Beobachtungs- und Aufnahmeweisen unterscheiden sich in unserem Falle nicht nur hinsichtlich des Verfahrens, sondern auch dessen, was gemessen wird. Die Linienbeobachtung dient der Feststellung der Deckungsprozente (Kap. 7.1). Die Frequenzen (Häufigkeiten) und damit die Dichte

Fig. 4 Aufnahmedispositiv für Vegetations- und Bodenuntersuchungen

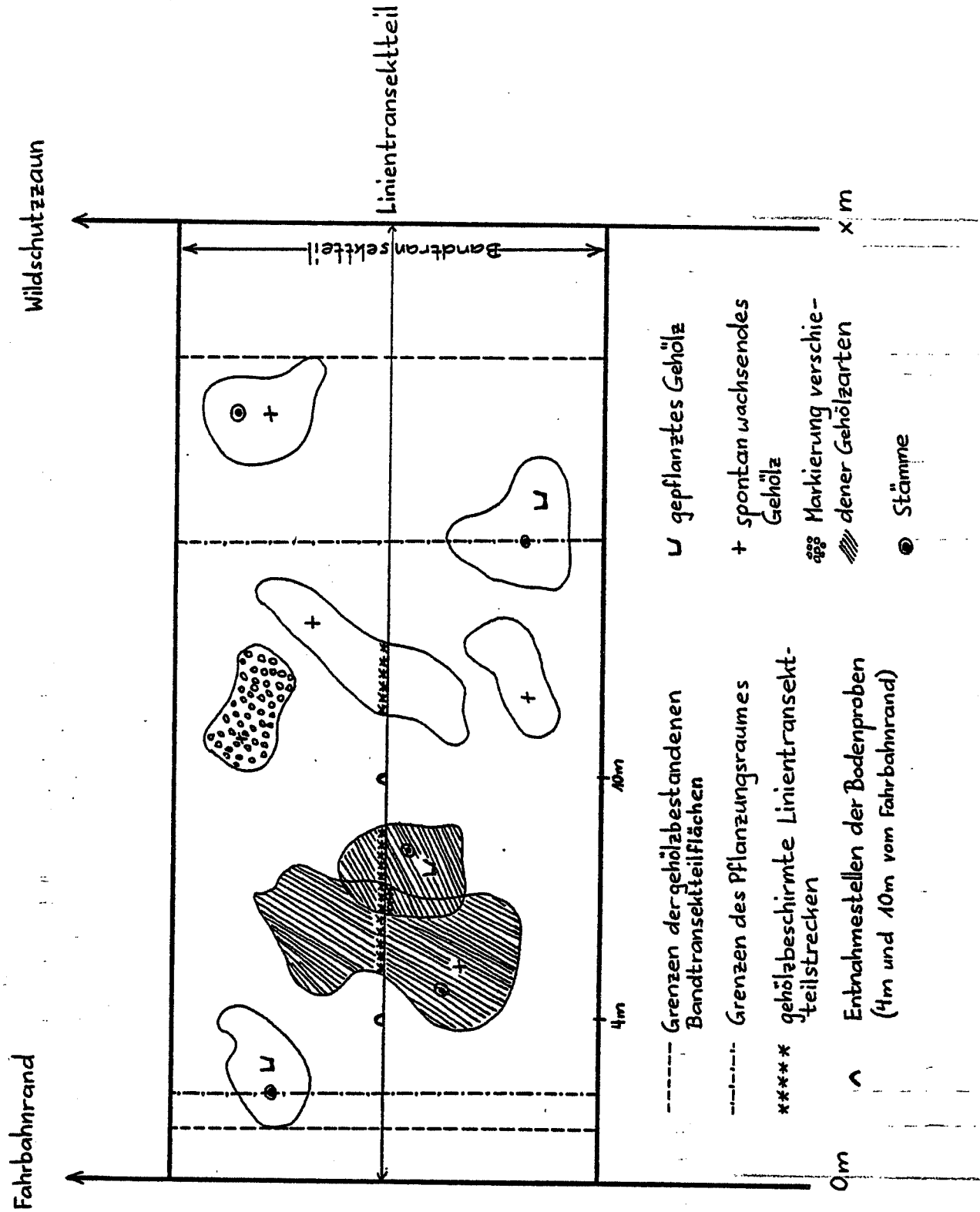


Fig. 5 Linien- und Bandbeobachtung an
der Autobahnböschung bei
Tagelswangen (Standort 3)

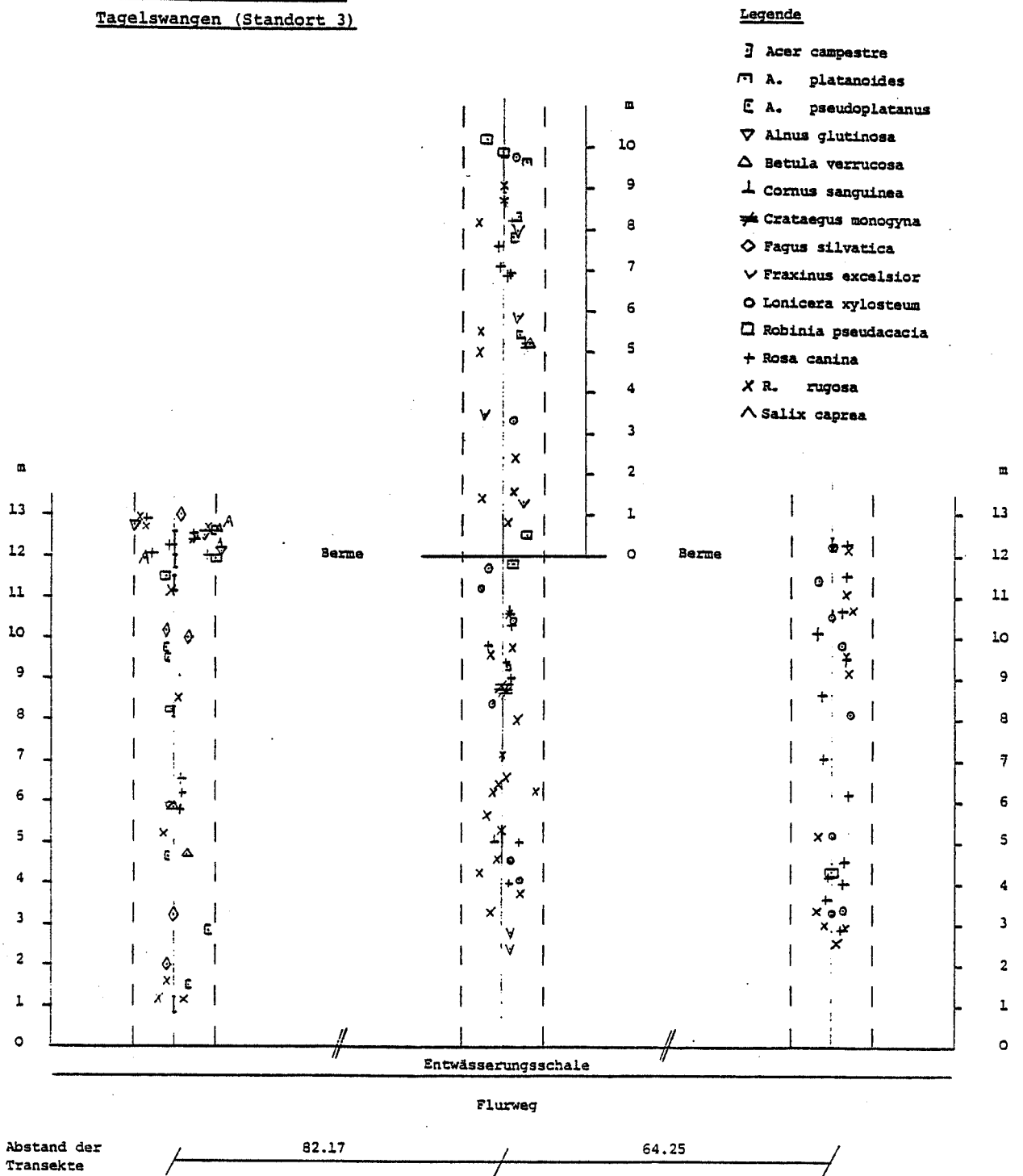
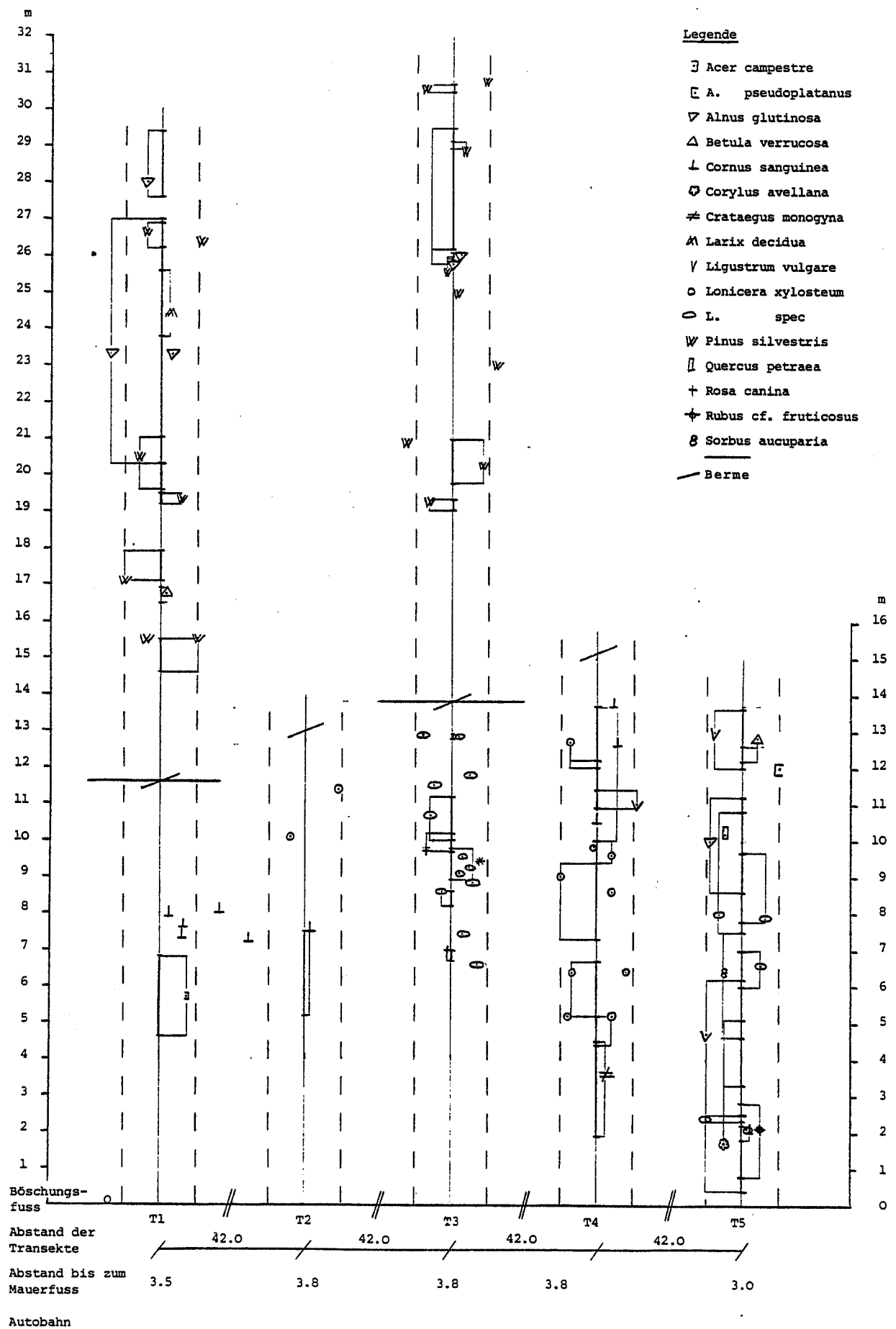


Fig. 6 Linien- und Bandbeobachtung an der Autobahnböschung bei Kiesen (Standort 14)



der verschiedenen Gehölzarten jedoch werden durch Bandbeobachtungen erfasst (Kap. 8.2, 8.3). Für eine anschauliche Darstellung dieser Aufnahmemethoden verweisen wir auf Fig. 4 .

In den Mittelstreifen der Autobahnen drängt sich die Methode der Bandbeobachtung geradezu auf, da mit den Mittelstreifen ein bandförmiger Geländeausschnitt vorgegeben ist. Die Vermessung der Mittelstreifenvegetation ist jedoch häufig durch deren charakteristische Struktur (dichtes, niedriges Buschwerk) behindert und durch den Verkehr erschwert. Das hat uns dazu bewogen, auf die sonst üblichen Mess- und Zählmethoden zu verzichten. Ersatzweise haben wir rein phänomenologisch Abschnitte unterschiedlicher Gesamtdeckungsgrade (Bewuchsdichte) ausgeschieden und analysiert.

Anmerkung zu den Tabellen des Kap. 7 Vegetationsuntersuchungen

Gehölze, die wir im Feld nicht eindeutig identifizieren konnten, haben wir in den Vegetationstabellen unter dem Gattungsnamen aufgeführt. Dies betrifft in erster Linie Weiden (*Salix species*) und eine Art der Gattung Geissblatt (*Lonicera species*). Eine in ihrem Habitus von dem der typischen Waldföhre (*Pinus silvestris*) stark abweichende Unterart tritt im Pfynwald auf (in der Tab. 23 mit ** ausgezeichnet). Sie wird vielfach als Grauföhre bezeichnet, doch scheint ihre systematische Stellung noch umstritten zu sein, weshalb wir auf die Angabe eines lateinischen Namens verzichten. Auch einen Teil der vorkommenden Rosenarten und Pflanzen der Gattung *Rubus* konnten wir nicht eindeutig identifizieren. Wir haben jeweils auf die am ehesten in Frage kommende Art verwiesen.

Aus technischen Gründen stehen vereinzelt Arten in den Tabellen, in denen für die betreffende Messgrösse keine Werte vorliegen. Es handelt sich in den vier Tabellen je um andere Arten.

Im Forschungsobjekt Tagelswangen hat man zur Begrünung der dortigen Böschung einen Versuch mit Gehölzhydropsaat gemacht. Da es sich um den einzigen derartigen Fall unter unseren Forschungsobjekten handelt, haben wir in den Tabellen keine eigene Spalte für diese Begrünungsmethode eingerückt. Wir weisen aber an dieser Stelle ausdrücklich darauf hin, dass in Tagelswangen also nicht im eigentlichen Sinne von "gepflanzten" Gehölzen die Rede sein kann.

Anmerkung zum Begriff der Gehölze

Gehölze im Sinne dieses Rapports sind grundsätzlich Holzpflanzen mit oberirdischen Knospenansätzen (im botanischen Sinne Phanerophyten). Dies betrifft in erster Linie Bäume und Sträucher. Aber auch kleine Sträuchlein wie die Besenheide (*Calluna vulgaris*) und rankende Gewächse wie die Hundsbeere (*Rubus caesius*) wurden mitberücksichtigt, nicht jedoch Kletterpflanzen wie Efeu (*Hedera helix*) und Hopfen (*Humulus lupulus*).

7.1 Deckungsgrad

Der Deckungsgrad von Pflanzen einer bestimmten Art gibt ein Mass für deren räumliche Expansion. Seine Feststellung dient der Kontrolle des Erfolgs angelegter Pflanzungen und der Beurteilung der Entwicklungsrichtung und der Entwicklungsgeschwindigkeit der Pflanzungen in Richtung auf einen naturnahen Vegetationstyp. Solche Vergleiche sind allerdings erst dann zuverlässig, wenn Zahlen von mehreren Erhebungen vorliegen, die in regelmässigen Zeitintervallen durchgeführt worden sind.

Nach dem ersten Durchgang (wo wir heute stehen) sind immerhin unter Berücksichtigung der seit der Anlage der Pflanzung verstrichenen Zeit durch Standortvergleiche schon erste Aussagen über die Entwicklungstrends der Pflanzungen möglich.

Die Interpretation der Werte des Deckungsgrades der verschiedenen Gehölzarten erlaubt bei Berücksichtigung des Alters der Pflanzen auch Aussagen über deren Durchsetzungsvermögen, also über ihre Konkurrenzfähigkeit bzw. Verdrängungswirkung auf Einzelgehölze anderer Arten. Dies ist wichtig im Zusammenhang mit Massnahmen zur Förderung des gewünschten Uebergangs von Primärpflanzungen zu Sekundärpflanzungen und schliesslich zu einem naturnahen Vegetationstyp.

Aus der Forstwirtschaft ist die Technik des Voranbaus von Pionierpflanzen wie Erlen, Aspen und Weiden wohlbekannt; man hat sie z. T. für das Vorgehen beim Bepflanzen des strassen nahen Raumes übernommen. Bei Primärpflanzungen werden häufig Pionierarten zusammen mit anderen Arten angebaut, die als Nachfolgevegetation gedacht sind (Sekundärpflanzung) und deren Gedeihen sie vorbereiten und erleichtern sollen.

Schliesslich ergeben die Werte des Deckungsgrades verschiedener Gehölzarten auch Hinweise für die Ermittlung derjeni-

gen Arten, die unter den Bedingungen, die im strassennahen Raum gegeben sind, eine Fläche besonders rasch und besonders dicht zu bewachsen vermögen und damit die Anforderungen erfüllen, die aus der Sicht des Strassenverkehrs einerseits und des Umweltschutzes andererseits an die Vegetation entlang von Strassen und Autobahnen zu stellen sind (Kap. 2).

Zur Feststellung des Deckungsgrades messen wir die gehölzbeschirmte Linientransektteilstrecke, also die Strecke auf einem Linientransektteil, die von der/den Kronenprojektion/en einer bestimmten Art bedeckt ist. Den absoluten Deckungsgrad einer Art ($D_{A\text{ cm}}$) in einem Forschungsobjekt erhalten wir durch Addition aller dieser Teilstrecken, den relativen Deckungsgrad ($D_{A\%}$), indem wir die Masszahl des absoluten Deckungsgrades in Prozenten der Länge der Aufnahmestrecke (A) des betreffenden Forschungsobjektes ausdrücken.

Die Summe aller Deckungsgrade der einzelnen Arten in einem Forschungsobjekt ($\sum D_A$) übertrifft wegen der häufigen Ueberlappungen der Kronen verschiedener Einzelgehölze oft den Gesamtdeckungsgrad (D_{tot}). Darunter verstehen wir die Länge der Kronenprojektionen aller Arten auf den Linientransektteilen eines Forschungsobjektes ohne Berücksichtigung der Ueberlappungen, also die Länge eines von vertikal einfallendem Licht geworfenen Schattens der verschiedenen Einzelgehölze oder Gehölzgruppen auf den Linientransektteilen.

Die Summe der absoluten Deckungsgrade aller Arten in einem Forschungsobjekt kann gelegentlich sogar grösser werden als dessen Aufnahmestrecke ($\sum D_A = 100\%$) und damit die Summe aller relativen Deckungsgrade grösser als 100% ($\sum D_{A\%} \leq 100\%$).

Die Aufnahme des Deckungsgrades auf einer Linie und nicht - wie zu erwarten wäre -, auf einer Fläche, ist im wesentlichen eine messtechnische Vereinfachung. Sie ist zulässig, weil statistisch davon ausgegangen werden kann, dass zufällige Schnitte durch eine Anzahl von Kronenprojektionen bei einer genügend grossen Menge von Messwerten ein für unsere Zwecke hinreichend genaues Mass für die Flächenanteile der verschiedenen Gehölzarten ergeben.

Die Möglichkeit eines systematischen Fehlers bei diesem Vorgehen liegt darin, dass die Gehölze häufig in Reihen gepflanzt werden und insofern die Zufälligkeit der Schnitte durch die Kronenprojektionen nur bedingt gewährleistet ist. Allerdings ergibt sich ein gewisser Ausgleich dieser Ungenauigkeit gleichsam von selbst dadurch, dass die Kronen der Einzelgehölze einer Reihe individuell verschiedene Formen annehmen und die Längen der Schnitte durch die Kronenprojektionen demzufolge variieren. Die mathematisch mögliche und einzig korrekte Eichung des systematischen Fehlers und die Einführung eines Korrekturfaktors wären für unseren Bedarf aber in jedem Falle des Guten zuviel.

Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist im Forschungsobjekt Eptingen der Transekt 3a, der genau zwischen zwei senkrecht zum Hang gepflanzte

Tab. 22 Begriffe der Vegetationsanalyse

Stichproben- einheit	AUFNAHMESTRECKE (A_s) = Länge der Aufnahme­fläche eines Forschungsobjektes = Σ Längen der gehölzbestan­denen Bandtransektteil­flächen eines Forschungsobjektes		
Messgrößen Schätzung	AUFNAHMEFLÄCHE (A_f) = Σ gehölzbestan­dene Bandtransektteil­flächen eines Forschungsobjektes	ABUNDANZ	DOMINANZ
Messung und Zählung	FREQUENZ/Art (F_A) = Individuenzahl pro Art pro Auf- nahme­fläche (A_f)	DICHTE/Art/ha $= \frac{F_A}{A_f} \times 10\,000$	abs. DECKUNGSGRAD/Art (D_A cm) = Σ Längen der gehölzbeschränkten Linientransektteilstrecken pro Art
	mittl. WUCHSLEI- STUNG/Art (W_A) $W_A = \frac{(\text{Indiv.}/\text{Art})}{F_A}$	rel. DECKUNGSGRAD/Art (D_{As}) $= \frac{D_A}{A_s} \times 100$	
	STETIGKEIT = Anzahl Präsenzen in der Gesamtheit der Forschungsobjekte, wobei Präsenz/ Absenz= Anwesenheit/Abwesenheit einer Art in der Aufnahme­fläche eines For- schungsobjektes		

Tab. 23 Deckungsgrad der gepflanzten und der spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen (in Prozenten)

Arten	Forschungs- objekte	gepflanzt														g. d. A.	spontan														g. d. A.	g. d. A.	Total																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		1		2		3		4		9		10		11			13		14		1		2		3		4		9					10		11		13		14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		r	r	l	l	l'	r	l	r	r	l	l'	r	l	l		l'	r	l	l	l'	r	r	l	l	l'	r	l	l	l'				r	r	l	l	l'																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		r	r	l	l	l'	r	l	r	r	l	l'	r	l	l		l'	r	r	l	l'	r	r	l	l	l'	r	l	l	l'				r	r	l	l	l'																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Abies alba											1.4								0.09			0.5													0.03	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Acer campestre				5.8			26.3											4.7	2.45			0.8													0.05	2.51																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A. platanoides											2.8	5.1	8.4						1.11																/	1.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
A. pseudoplatanus												3.4	17.5						1.39					3.7											0.25	1.64																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Alnus glutinosa				5.9	21.4	18.4	9.4				11.1	6.8						5.5	45.2	8.25															/	8.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Betula verrucosa		7.4	4.8	1.0		12.4												0.8	1.5	1.86				3.3											0.33	2.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Calluna vulgaris																			/																15.8	73.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Carpinus betulus		21.6	17.1			11.7	24.9					1.1							5.09			0.8													0.5	5.15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Cornus sanguinea		4.5	3.8	0.7		15.9					0.1							13.5		2.59															/	2.59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Corylus avellana							9.6				2.2	1.6						3.8		1.15															/	1.15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Crataegus monogyna											0.1							5.5		0.37				0.3											0.02	0.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Evonimus europaeus											3.1									0.21															/	0.21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Fagus silvatica				1.5							6.7									0.55			0.6		0.3											0.06	0.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Fraxinus excelsior																			/	0.1	2.5	1.0				7.0			0.4						0.73	0.73																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Juglans regia						4.9													0.33	0.1				0.2											0.02	0.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Juniperus communis																			/																/	/																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Laburnum alpinum											0.1									0.01															/	0.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Larix decidua																			6.8	0.45					1.1										0.07	0.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Ligustrum vulgare				27.4		1.5					2.2							12.7		2.92															/	2.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Lonicera xylosteum					3.0							5.4						13.5		1.46				0.3											0.02	1.48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
L. spec.																		13.5		0.9														/	0.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Picea abies						7.3							4.8						0.81	0.9	9.2							42.4						3.5	4.31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Pinus silvestris							12.2	2.5					4.7					17.1	2.43					0.8											0.05	2.49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P. silvestris ssp.**																			/						14.4										0.96	0.96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Populus tremula														7.3					0.49																/	0.49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Prunus avium											2.7								0.18																/	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
P. padus						1.5													0.10																/	0.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Quercus campestre				4.0															0.27																/	0.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Q. petraea				0.9															0.06	0.1															0.01	0.07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Q. rubra				1.6															0.12																/	0.12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Robinia pseudacacia					3.0														0.2																/	0.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rosa cf. arvensis											2.6								0.17																/	0.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
R. canina					0.6													0.6		0.08				0.4											0.03	0.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
R. rugosa					1.4														0.09				0.5												0.03	0.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
R. tomentosa					1.7						8.2								0.66																/	0.66																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rubus cf. fruticosus																		4.2		0.28														/	0.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
R. caesius																			/	0.1				15.9					3.0	4.0				1.53	1.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Salix pentandra						2.3													0.15																/	0.15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
S. caprea				8.3			2.3											9.7		1.35															/	1.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
S. cinerea												1.6							0.11																/	0.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
S. pupurea																			/																/	/																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Salix spp.		94.4	17.6			40.0						6.8		0.7					10.65																/	10.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Sambucus nigra						0.6														0.04															/	0.04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Sorbus aria																			/						0.4										0.03	0.03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
S. aucuparia							11.4											6.1		1.17															/	1.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tilia cordata																			/																/	/																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Viburnum lantana												6.1								0.45															/	0.45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
V. opulus				1.4	3.4		1.5													0.42															/	0.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
D A 6		99.3	67.6	60.7	16.8	99.2	68.6	67.5	2.5	46.2	34.5	9.9	17.5	27.2	84.4	70.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

****)** Grauföhre (S. Einleitung Kap. 7)

Gehölzreihen fiel, es ergaben sich bei dieser jungen aber schlecht gedeihenden Pflanzung keine gehölzbeschränkten Linientransektteile (s.Tab. 23).

Anmerkung zu den Tabellen 23 und 25.

In der Deckungsgradtabelle (Tab. 23) finden sich erheblich weniger Werte als auf der Frequenztafel (Tab. 25). Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass bei jungen Sämlingen eine Messung der von ihnen beschränkten Linientransektteilstrecke, wegen deren Wuchsform (einzelner Längstrieb mit wenig oder keinen Ästen, der sich allenfalls zur Zeit der Aufnahme noch im Winde bewegte,) wenig sinnvoll ist. Es kommt allerdings umgekehrt auch vor, dass auf der Tabelle mit den Deckungsgraden Werte für Gehölzarten erscheinen, für die in der Frequenztafel im entsprechenden Forschungsobjekt keine Präsenz ausgewiesen ist. Das hat seinen einfachen Grund darin, dass einzelne Gehölze, deren Stock oder Stamm zwar ausserhalb der für die Häufigkeitsbestimmung relevanten Bandtransektfläche steht, mit ihren Kronen den Linientransekt dennoch beschränken. Das trifft in den Forschungsobjekten Sennwald und Oberhard (4r und 13r) zu für *Juglans regia*, *Prunus padus*, *Sambucus nigra*, *Viburnum opulus* und *Acer pseudoplatanus*.

Vergleichen wir die Summe der Deckungsgrade in den einzelnen Forschungsobjekten und ihre Zusammensetzung aus den Werten für gepflanzte und spontan aufkommende Arten, so scheint das Zahlenmaterial die naheliegende Vermutung zu bestätigen, dass im Falle, in dem gepflanzte Arten einen hohen Deckungsgrad erreichen, die spontan wachsenden Arten nur wenig decken. Als Beispiele seien Kilchberg, Wollerau und Belmont genannt. Gleichsam umgekehrte Verhältnisse liegen in Oberhard vor, wo zufolge der dort wuchernden Besenheide (*Calluna vulgaris*) ohnehin besondere Bedingungen herrschen. Die Erklärung für den erwähnten Zusammenhang ist einfach: Bei starker Abschirmung oder gar teilweise Kronenschluss und eventuell zusätzlich starker Durchflechtung des Oberbodens mit dem Wurzelwerk der gepflanzten Arten sind die Voraussetzungen für das Gedeihen von Sämlingen schlecht, weshalb sie in der Licht- und Wurzelkonkurrenz nicht zu bestehen vermögen.

Von den genannten Forschungsobjekten lohnt am ehesten Kilchberg eine nähere Betrachtung. Dort sind hauptsächlich Weiden (*Genus Salix*) zur Hangfestigung als Pioniergehölz angepflanzt worden. Es besteht bei solchen Pionierpflanzungen die Absicht, sie durch geeignete Massnahmen (periodisches Auf-den-Stock-Setzen) allmählich in naturnähere Gehölzbänder überzuführen. Unsere Untersuchungen haben aber klar

gezeigt, dass diese Umwandlung schwieriger ist und länger dauert als gemeinhin angenommen wird. Es fällt auf, dass in Kilchberg wohl viele Sämlinge von insgesamt 15 (!) Arten (vgl. Tab. 25) selbst dort vorkommen, wo die Weiden ein geschlossenes Kronendach bilden, aber nur sehr schlecht gedeihen, wovon die Werte für die Deckungsgrade Zeugnis ablegen. Bedenkt man zusätzlich, dass die Anlage bereits rund fünfzehn Jahre alt ist, die meisten Sämlinge aber sehr jung sind, so ist die Annahme berechtigt, dass ein überwiegender Teil derselben innert weniger Jahre wieder abgehen wird. Ueberdies deutet die ungebrochene Lebenskraft der gepflanzten Weiden darauf hin, dass diese Art auch in Zukunft im Forschungsobjekt Kilchberg dominieren wird.

Das entspricht zwar zweifellos nicht dem von den Pflanzern vorgesehenen Verlauf, ist aber nicht unbedingt als negativ zu beurteilen, sieht man einmal davon ab, dass wegen der von Zeit zu Zeit notwendigen Schnitte Kosten für den Unterhalt entstehen. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu überlegen, ob nicht die als Pionierpflanzen angelegten Weiden sich selbst überlassen werden können; nach längerer Zeit werden sie vermutlich auch so von standortgemässeren Arten abgelöst. Diese Ueberlegung gilt selbstredend nur im Rahmen der vom Standpunkt der Verkehrssicherheit aus zu setzenden Toleranzgrenzen für den Wuchs der Gehölze.

Neben Weiden finden gelegentlich auch Erlen in Pionierpflanzungen Verwendung (Sennwald, Kiesen). Für beide Arten gilt, dass sie ein ausserordentliches Beharrungsvermögen haben und, sofern sie nicht regelmässig (z.B. alle 3 Jahre) auf den Stock gesetzt werden, eine Sekundärvegetation - sei sie gepflanzt oder spontan aufgekommen -, sich überhaupt nicht entfalten lassen. Die Aspe (*Populus tremula*) wird als weitere mögliche Pionierart fast nie eingesetzt, angeblich, da das Zittern ihrer Blätter die Fahrzeuglenker irritieren kann. Andere Beobachtungen stützen die Vermutung, dass gerade diese Art eine Sukzession im Sinne einer Ablösung von Pioniergehölz durch standortgemässe Dauergehölze eher zulässt als Weiden und Erlen.

Aus der Reihe der Forschungsobjekte mit ausgesprochen geringem Deckungsgrad haben wir bereits auf Eptingen I (11 1') hingewiesen. Weitere interessante Fälle sind die Forschungsobjekte Tagelswangen und Pfynwald. Tagelswangen verdient deshalb besondere Aufmerksamkeit, weil dort vor sechs bis sieben Jahren ein wertvoller Versuch mit Gehölzhydrosa durchgeführt wurde.

Diese Begrünungsmethode, die sich besonders auch in schwer begehbarem Gelände anbietet, ist weniger arbeitsintensiv als die herkömmlichen, da sich das Ausheben von Pflanzlöchern erübrigt. Dies war auch deshalb von Vorteil, weil der dortige Hang ziemlich beweglich ist; in Pflanzlöchern bilden sich gern Wassersäcke, die die Stabilität einer Böschung gefährden. Im Hinblick auf die Dichte der Bewachsung des Hanges hat der Versuch bisher allerdings eher wenig Erfolg gezeitigt. Zwar haben sich viele Sämlinge festgesetzt (s. Frequenz-Tab.), doch ist der Deckungsgrad immer noch gering. Traditionelle Bepflanzung hätte vermutlich zu besseren Resultaten geführt. Diese Mutmassung stützt sich auf einen Vergleich mit der Begrünung eines Hanges im Forschungsobjekt Kiesen, der geophysikalisch mit dem von Tagelswangen Ähnlichkeit hat und mit herkömmlicher Methode bepflanzt worden ist. Der grössere Erfolg lässt sich leicht an den Werten für den Deckungsgrad ablesen. Die dort gepflanzten Gehölze haben binnen rund zehn Jahren einen entschieden höheren Deckungsgrad erreicht und mindestens teilweise den Kronenschluss vollzogen. Damit ist auch bereits erklärt, weshalb sich in Kiesen nur gerade ein Sämling beim Zeitpunkt der Erhebung der Daten durchgesetzt hatte (s. Tab. 25 und Fig. 6).

Trotz einer ganz anderen Ausgangslage ergab sich im Pfynwald ein ähnliches Bild wie in Tagelswangen. Die Ansamung auf natürlichem Weg führte dort zur absolut höchsten ausgezählten Frequenz aller unserer Forschungsobjekte (129 Individuen). Dies ist umso bemerkenswerter, als die Bandtransekte im

Pfynwald flächenmässig zu den kleinsten zählen, deshalb hat sich für die Dichte ein sehr hoher Wert ergeben (s.Tab. 26). Im Pfynwald dominiert von Natur aus die Grauföhre, die - wie andere Pioniergehölze - zu den Windverbreitern gehört. Damit sind die Voraussetzungen genannt, die zu den zahlreichen Ansammlungen in unserem Forschungsobjekt geführt haben. In grosser Anzahl ist als spontan wachsende Gehölzart auch die Birke (*Betula verrucosa*) vorhanden. Erwähnenswert ist vielleicht noch das Vorhandensein von drei Lärchen (*Larix decidua*) und einer Aspe (*Populus tremula*), zweier Arten, die in keinem anderen Forschungsobjekt spontan wachsen.

Tab. 24 Arten mit höchstem Deckungsgrad*

gepflanzt			spontan		
Rang Nr.	Art	Ø D _A %	Rang Nr.	Art	Ø D _A %
1	<i>Salix ssp.</i>	10.7	1	<i>Picea abies</i>	3.5
2	<i>Alnus glutinosa</i>	8.3	2	<i>Rubus caesius</i>	1.5
3	<i>Carpinus betulus</i>	5.1	3	<i>Fraxinus excelsior</i>	0.7
4	<i>Ligustrum vulgare</i>	2.9	4	<i>Betula verrucosa</i>	0.3
5	<i>Cornus sanguinea</i>	2.6			
6	<i>Acer campestre</i>	2.5			
7	<i>Pinus silvestris</i>	2.4			
8	<i>Betula verrucosa</i>	1.9			
9	<i>Lonicera xylosteum</i>	1.5			
10	<i>Salix caprea</i>	1.4			
11	<i>Corylus avellana</i>	1.2			
12	<i>Acer platanoides</i>	1.1			

* In dieser Tabelle sind nur die Arten berücksichtigt, für die mindestens 3 Werte für die Ermittlung des Ø D_A% vorlagen.

Vergleicht man die Deckungsgrade der verschiedenen Arten, so ist leicht zu ersehen, dass die beiden Pioniergehölze Weide (Gattung *Salix*) und Erle (*Alnus glutinosa*) mit 10,7 % resp. 8,3 % gegenüber den restlichen Arten bei weitem dominieren. Das ist, wie gesagt, unter anderem wohl darauf zurückzuführen, dass diese Arten bei Pionierpflanzungen angepflanzt werden. Von den Baumarten, die der angestrebten Dauervegetation angehören sollen, hat erst die Hagebuche (*Carpinus betulus*) mit rund 5% einen halb so hohen Deckungsgrad erreicht wie die

Pioniergehölze. Im Vergleich zu anderen Straucharten haben die recht häufig gepflanzten Hartriegel (*Cornus sanguinea*) und Liguster (*Ligustrum vulgaris*) einen beachtlichen Deckungsgrad (rund 30%). Der Hartriegel neigt dazu, Wurzeltriebe zu bilden und sich so vegetativ zu vermehren, was umso eher zu begrüßen ist, als die Bedingungen für Ansamungen auf den durch den Strassenbau entstandenen Rohböden oft nicht sehr günstig sind. Sämlinge dieser beiden Arten sind denn auch nur ganz selten beobachtet worden (s. Tab. 25); ein Deckungsgrad war nicht messbar.

Es ist bemerkenswert, dass von den insgesamt 45 Arten, für die wir einen Deckungsgrad aufnehmen konnten, lediglich rund 2/5 (das sind 17 Arten) auf einen Wert über 1% kamen.

Die hier aufgeführten Mittelwerte für die einzelnen Arten sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da sie teilweise aus wenigen Einzelwerten errechnet werden mussten. Dabei versteht sich der Mittelwert bezogen immer auf alle 15 Forschungsobjekte und nicht nur auf die Anzahl derer, in denen die betreffende Art de facto vorhanden ist.

7.2 Frequenz der Gehölzarten

Die Auszählung der Frequenz (Syn. Häufigkeit) gepflanzter und spontan aufkommender Individuen verschiedener Gehölzarten, der Abgänge und der Neupflanzungen dient verschiedenen Zwecken. Sie erlaubt uns Aussagen über Eignung und Verhalten der verwendeten Pflanzenarten, über Erfolg oder Misserfolg der angelegten Pflanzungen und deren Entwicklung in Richtung auf einen naturnahen Vegetationstyp (Sukzession).

Die absolute Frequenz einer Art in einem Forschungsobjekt wird durch das Auszählen ihrer Individuen (Einzelgehölze) auf der jeweiligen Aufnahmestrecke ermittelt.

Schon zu Beginn der Feldarbeiten hat sich gezeigt, dass das Auszählen der Einzelgehölze auf den nur 10 bis 20 m langen Transektteilen für die einzelnen Gehölzarten nur sehr kleine Werte ergibt. Für die Zwecke der Frequenzanalyse und um die Artendichte bestimmen zu können, haben wir daher die Linienbeobachtung rein empirisch zur Bandbeobachtung ausgeweitet und uns schliesslich darauf festgelegt, links und rechts der ins Gelände gelegten Linie (Messband) je einen Streifen von 1 m Breite für die Zählung mitzuberücksichtigen. Die Frequenz der Gehölzarten wird somit auf 2 m breiten Geländestreifen von der gesamten Länge der Aufnahmestrecke (As) erhoben; die für die Frequenzaufnahme relevante Fläche eines Forschungsobjektes bezeichnen wir als Aufnahme-
fläche (Af) (s.Tab. 22).

Da die Abgrenzung der Einzelgehölze vor allem im Falle der Arten, die sich vegetativ vermehren, nicht immer ganz einfach ist, wird für die Zwecke dieser Erhebung das Einzelgehölz als gepflanztes oder spontan aufkommendes Gehölzindividuum (Sämlinge) definiert, nicht aber dessen Stockausschläge, Wurzelausschläge und Ableger.

Die Gehölzzählungen ergaben für die 15 untersuchten Forschungsobjekte (wobei jene des Mittelstreifens nicht berücksichtigt werden) 1250 Einzelgehölze, die 46 verschiedenen Gehölzarten angehören. Davon sind 41 bei Pflanzungen berücksichtigt worden; 31 Arten haben sich spontan vermehrt, von denen 5 in keinem Forschungsobjekt gepflanzt worden sind. Es handelt sich dabei um die Besenheide (*Calluna vulgaris*), die Grauföhre (*Pinus silvestris* ssp.), die Hundsbeere (*Rubus caesius*),

*) Bemerkung zu Tab. 25 und 26 : In den mit * gekennzeichneten Fällen war die gegenseitige Durchdringung für eine eindeutige Zählung zu gross; die entsprechenden Werte sind geschätzt.

Tab.25 Frequenz der gepflanzten und der spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen

Arten	Forschungs- objekte	gepflanzt																	Total	spontan																	Total	Gesamt- total		
		1		2		3		4		9		10		11		13		14		1		2		3		4		9		10		11		13		14				
		r	r	l	l	l'	r	l	r	r	l	l'	r	l	l	l'	r	l		l	l'	r	r	l	l	l'	r	l	r	r	l	l'	r	l	l	l'				
Abies alba												1	1						2		1														1	3				
Acer campestre				5			13											1	19	7		1	1												9	28				
A. platanoides											26	8	7						41	4							8								12	53				
A. pseudoplatanus						1	2					7						1	11	1			6	2	22										31	42				
Alnus glutinosa	1				1	3	4	3			3	4	3					1	4	27	2			1											3	10				
Betula verrucosa	6	5	6	2			3									1		1	1	25	7	4	1				2		28						42	67				
Calluna vulgaris																			/												55*	75*		130	130					
Carpinus betulus		16	12				7	6					3						44	1	2														3	47				
Cornus sanguinea	7	7	2	2	4						3							8	33	5		1													6	39				
Corylus avellana								7			4	7						1	19																/	19				
Crataegus monogyna	1			3	1							5						1	11			1													1	12				
Evonimus europaeus	3										21								24	4															4	28				
Fagus silvatica			1								13								14		3		5												8	22				
Fraxinus excelsior													2						2	26	23	11	2	10	11			1							84	86				
Juglans regia																			/	1		1		1											3	3				
Juniperus communis																			/								1								1	1				
Laburnum alpinum												4							4																/	4				
Larix decidua																		1	1								3								3	4				
Ligustrum vulgare	3		5		1							3						2	14																/	14				
Lonicera xylosteum				15								9							11	35			1												1	36				
L. spec.																		13	13												1			1	14					
Picea abies		3			1								2	2					8	9	70*		3	4				1	3					90	98					
Pinus silvestris					1		5	1						1		13		21	3				2											5	26					
P. silvestris ssp.**																		/								93								93	93					
Populus tremula																	1		1							1									1	2				
Prunus avium												2						2																	/	2				
P. padus																		/																	/	/				
Quercus campestre		3																3																	/	3				
Q. petraea		1															1	1	3	6									2					8	11					
Q. rubra		2																	2																/	2				
Robinia pseudacacia				5								3	1						9																/	9				
Rosa cf. arvensis											2								2																/	2				
R. canina				15														2	17				13												13	30				
R. rugosa				10															10				10												10	20				
R. tomentosa				10							4								14				5												5	19				
Rubus cf. fruticosus																		1	1																/	1				
R. caesius																			/	3			15*					25*	35*					78	78					
Salix pentandra					5														5																/	5				
S. caprea		5			3								3	2					13				1	1	1										3	16				
S. cinerea												2							2																/	2				
S. pupurea													2						2																/	2				
Salix spp.	73	7			16							4				1		101								1								1	102					
Sambucus nigra																		/																/	/					
Sorbus aria							3											3							2										2	5				
S. aucuparia								4									1	5	1																1	6				
Tilia cordata												14	2					18																/	18					
Viburnum lantana											7							7																	/	7				
V. opulus		1	8															9																	/	9				
Total		94	50	39	63	36	32	25	1	85	73	21	6	8	45	19	597	80	103	15	46	34	40	/	129	1	8	/	81	115	1	/	653	1250						
Präsenz Arten/For- schungsobjekt		7	10	7	9	10	6	5	1	10	13	8	3	6	14	4	41	15	6	5	11	7	5	/	7	1	1	/	3	4	1	/	31	46						

*) Schätzung (s. Kap. 7.2)

**) Grauföhre (s. Einleitung Kap. 7)

den Nussbaum (*Juglans regia*) und den Wacholder (*Juniperus communis*). Von den gepflanzten Gehölzen hat sich die hohe Rate von 15 Arten nicht vermehrt, was die Frage aufwirft, ob die Artenwahl in jeder Hinsicht, also auch bezüglich der Reproduktionsfähigkeit und damit der Dauerhaftigkeit der Gehölzvegetation, tatsächlich in jedem Fall standortsgemäss ist. Andererseits scheint die Tatsache, dass nur 5 Arten, die in unseren Forschungsobjekten nicht gepflanzt wurden, völlig spontan dazugekommen sind, zu bestätigen, dass die Wuchsbedingungen für Gehölze im strassennahen Raum einfach prekär sind.

An dieser Stelle verbleibt die Präsenz verschiedener Arten in den einzelnen Forschungsobjekten zu besprechen. In 7 von insgesamt 15 Forschungsobjekten sind mehr als 10 Arten mit gepflanzten und / oder spontan wachsenden Individuen vorhanden. Nur der Standort Kilchberg weist mit 18 verschiedenen Gehölzarten eine reichhaltige Artengarnitur auf.

Eine grössere Artenvielfalt wäre zu begrüssen, da artenreiche Pflanzengesellschaften im allgemeinen stabiler sind. Sollten längerfristig etwa die bestehenden ungünstigen Bodenverhältnisse oder die verkehrsbedingten Immissionen zum Ausfall einzelner besonders empfindlicher Arten führen, so ist es von Vorteil, wenn noch möglichst viele andere Arten vorhanden sind, die die entstandene Lücke schliessen können. Damit erübrigen sich oft auch kostspielige Nachpflanzungen. Zudem sind artenreiche Gehölze ansprechend und wirken durch wechselnden Habitus und Färbung weniger monoton. Wir schlagen also eine stärkere Durchmischung der verschiedenen in Frage kommenden Arten vor. Dabei ist zweierlei zu beachten. Zum einen sollten mehr Arten gepflanzt werden, zum andern ist auf eine gute Verteilung (Dispersion) am Pflanzort selbst zu achten. Es empfiehlt sich dabei, nach Möglichkeit auf interspezifische Abhängigkeits- und Konkurrenzverhältnisse Rücksicht zu nehmen. Diese Forderungen können sehr wohl erfüllt werden, auch wenn gleichzeitig andere Ansprüche an die Vegetation gestellt werden, wie die Akzentsetzung nach ästhetischen Kriterien und der Einsatz der Pflanzen als

optische (Warn-)Signale an exponierten Stellen (z.B. Kurven).

Ueber das Gesagte hinaus dient die Aufnahme der Frequenzen vor allem auch der Errechnung der Dichte und der Stetigkeit in den nachfolgenden Kapiteln 7.3 und 7.5.

7.3 Dichte

Mit der Dichtebestimmung wird bezweckt, die bei den einzelnen Forschungsobjekten durchgeführten Einzelgehölzzählungen untereinander vergleichbar zu machen. Dies geschieht dadurch, dass die für die unterschiedlich grossen Aufnahmeflächen erhaltenen Frequenzwerte auf 1 Hektare (ha) umgerechnet werden.

Die rechnerischen Zusammenhänge zwischen Frequenz und Dichte ergeben sich aus Tab. 22. In den Tabellen 26 und 30 sind die Werte aus Platzgründen gerundet für die Dichte pro 10 a.

In der Spalte "Ø Dichte" der Tab. 26 stehen die Werte für die mittleren Dichten der verschiedenen Arten bezogen auf alle 15 Forschungsobjekte. Unregelmässigkeiten bei der Addition dieser Werte für die gepflanzten Einzelgehölze und die spontan wachsenden in der Spalte "Ø Dichte total" sind die Folge von Auf- oder Abrundung.

Auch die Dichtewerte haben wir für 15 Forschungsobjekte aufgenommen. Wiederum nicht berücksichtigt sind also die Mittelstreifen, da dort keine Gehölzzählungen durchgeführt wurden (s. Kap. 7.7). Ein Blick auf die Werte für die Dichte in den einzelnen Forschungsobjekten zeigt, dass nach Pflanzungen in der Regel Dichten zwischen 1000 und 5000 Einzelgehölzen pro Hektare resultieren. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bei Reihenbepflanzung nicht immer dieselben Abstände eingehalten werden (ca. 1.5 - 2.2 m), dass die Abstände in den Reihen zwischen den Gehölzen leicht variieren, vor allem aber, dass wir bei unseren Erhebungen bei gruppenweiser Bepflanzung die Lücken zwischen den Gehölzen mitberücksichtigt haben.

Ausserhalb der genannten Spanne finden sich Tagelswangen und Pfynwald. Im Falle Tageslwangen erklärt sich die sehr hohe Dichte absichtlich mit Gartenbaumassnahmen gezogener Gehölze durch die Begrünungsmethode mit Gehölzhydrosaat (s. Kap. 7.1). Mit dieser wenig arbeitsintensiven und demzufolge vergleichsweise kostengünstigen Methode lassen sich hohe Gehölzdichten erzielen. Die Deckungsgrade der verschiedenen Arten sind allerdings, wie gesagt, auch nach sechs bis sieben Jahren noch

Tab. 26 Dichte der gepflanzten und der spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen (Anzahl Einzelgehölze/10 a)

Arten	Forschungs- objekte		gepflanzt																Dichte %	spontan																Dichte %	Dichte %	Total				
			1		2		3		4		9		10		11		13			14		1		2		3		4		9		10		11					13		14	
			r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'		r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'	r	r'				r	r'	r	r'
Abies alba												6	19					2		10																1	2					
Acer campestre			50			217										11		19	40		10	15														4	23					
A. platanoides										190	50	133						25	23							50										5	30					
A. pseudoplatanus					8	33						44				11		6	6			92	15	368												32	39					
Alnus glutinosa	6			15	23	67	61			22	25	57				11	75	24	11			15														2	26					
Betula verrucosa	34	50	60	31		50								34		11	19	19	40	40	10				33		492									41	60					
Calluna vulgaris																		/												1852*	1250*					207	207					
Carpinus betulus		160	120			117	122					57						38	6	20																2	40					
Cornus sanguinea	40	70	20	31	31					22						85		20	29		10															3	23					
Corylus avellana							143			29	44					11		7																		/	7					
Crataegus monogyna	6			46	8							31				11		7				15														1	8					
Evonimus europaeus	17									153								11	23																	2	13					
Fagus sylvatica			10							95								7		30		77														7	14					
Fraxinus excelsior													38					3	149	230	110	31	76	184			7								52	55						
Juglans regia																		/	6		10		8													2	2					
Juniperus communis																		/											18							2	2					
Laburnum alpinum												25						2																		/	2					
Larix decidua																	19	1										53								4	5					
Ligustrum vulgare	17		50		8							19				21		8																		/	8					
Lonicera xylosteum				231								56				116		27				15														1	28					
L. spec.																137		9														11			1	10						
Picea abies		30			8									67	33			9	52	701*			23	67						34	50				62	71						
Pinus silvestris					8		102	18							17		245	26	17			15														2	28					
P. silvestris ssp.**																		/								1634									109	109						
Populus tremula															17			1									18									1	2					
Prunus avium											15							1																		/	1					
P. padus																		/																		/	/					
Quercus campestre		30																2																		/	2					
Q. petraea		10													17	11		3	34											33					5	7						
Q. rubra		20																1																		/	1					
Robinia pseudacacia				77								19	19					8																		/	8					
Rosa cf. arvensis											15							1																		/	1					
R. canina				231												21		17			200															13	30					
R. rugosa				154														10			154															10	21					
R. tomentosa				154							29							12			77															5	17					
Rubus cf. fruticosus																11		1																		/	1					
R. caesius																		/	17				115*							842*	583*				104	104						
Salix pentandra					38													3																		/	3					
S. caprea		50			23										101	33		14			15	8	17												3	17						
S. cinerea												12						1																		/	1					
S. pupurea													38					3																		/	3					
Salix spp.	418	70			122							25			17			44									18									1	45					
Sambucus nigra																		/																		/	/					
Sorbus aria						50												3								35										2	6					
S. aucuparia							82									11		6	6																	1	7					
Tilia cordata												100	38					9																		/	9					
Viburnum lantana											51							3																		/	3					
V. opulus			10	80														6																		/	6					
Total	538	500	390	970	277	534	510	18	621	456	399	202	134	479	358			459	1031	150	706	260	569	/	2268	7	50	/	2728	1916	11	/										

*1) Schätzung (s. Kap. 7.2)

**1) Grauföhre (s. Einleitung Kap. 7)

gering (s. Tafel 2). Demgegenüber bleibt die Dichte der spontan wachsenden Einzelgehölze im üblichen Rahmen.

Beim Standort Pfynwald ergab sich für die gepflanzten Gehölze die geringste Dichte aller Forschungsobjekte. Lediglich eine einzelne gepflanzte Waldföhre (*Pinus silvestris*) wurde durch die Aufnahme- fläche erfasst, was auf die Hektare bezogen die bescheidene Dichte von 180 Exemplaren ergibt. Hingegen stehen dort - einmal abgesehen vom Forschungsobjekt Oberhard, wo wegen des starken Bewuchses mit Besenheide (*Calluna vulgaris*) besondere Verhältnisse herrschen -, die Grauföhren (*Pinus silvestris* ssp.) am dichtesten von allen spontan wachsenden Gehölzarten. Wir haben zur Erläuterung dieses Sachverhaltes bereits auf die negative Korrelation zwischen der Anzahl der gepflanzten und der Anzahl der spontan wachsenden Einzelgehölze hingewiesen (s. Kap. 7.1). Sie erklärt sich entweder aus der unterschiedlichen Beschirmung des Keimbeets mit gepflanzten Gehölzen, durch deren Wurzelkonkurrenz oder durch beides.

Tab. 27 Dichteste Arten mit Stetigkeit ≥ 5
(Ø Dichte der Einzelgehölze/ha/Forschungsobjekt)

gepflanzt			spontan		
Rang Nr.	Art	Ø Dichte	Rang Nr.	Art	Ø Dichte
1	<i>Salix</i> ssp.	440	1	<i>Picea abies</i>	620
2	<i>Carpinus betulus</i>	380	2	<i>Fraxinus excelsior</i>	520
3	<i>Pinus silvestris</i>	260	3	<i>Betula verrucosa</i>	410
4	<i>Alnus glutinosa</i>	240			
5	<i>Cornus sanguinea</i>	200			
6	<i>Betula verrucosa</i>	190			
7	<i>Ligustrum vulgare</i>	80			
8	<i>Crateagus monogyna</i>	70			

In der Tabelle wird deutlich, dass Baumarten in grösserer Dichte gepflanzt worden sind als Straucharten. Die Weiden (*Genus Salix*), die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und allenfalls die Hängebirke (*Betula verrucosa*) zählen zu den Pionierarten, währenddem die Waldföhre (*Pinus silvestris*) und die

Hagebuche (*Carpinus betulus*) zur Vegetation der angestrebten Dauergesellschaft zu zählen sind. Bei den Sträuchern dominieren Hartriegel (*Cornus sanguinea*), Liguster (*Ligustrum vulgare*) und Weissdorn (*Crataegus monogyna*).

Die Tabelle bestätigt die Erfahrung, dass die Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) und die Hängebirke (*Betula verrucosa*) zu den Gehölzarten gehören, die Oedland natürlicherweise in einem frühen Stadium besiedeln. Ueberraschend ist, dass auch die Fichte (*Picea abies*) lokal zu den Erstbesiedlern gehört; es bleibt allerdings abzuwarten, wie sich diese Art auf die Länge hält, zumal ihre Wuchsleistung klein ist (s. Tab. 28). Das massenhafte Aufkeimen der Fichte an der bergseitigen Böschung des Standorts Wollerau erklärt sich am ehesten durch die unmittelbare Nachbarschaft zahlreicher Samenbäume. Aber auch die durch Schattlage und das Antagetreten von Quellhorizonten verursachte Bodenfeuchte könnte dafür mitverantwortlich sein.

7.4 Wuchsleistung der Gehölzarten

Das Wohlergehen der Pflanzen ist an Extremstandorten, wie sie entlang von Autostrassen gegeben sind, stark gefährdet. Deshalb lag es nahe, die Wuchsleistung als quantifizierbaren Parameter des Gesundheitszustandes und der Lebenskraft (Vitalität) einer Pflanze im strassennahen Raum in die Vegetationsanalyse einzubeziehen.

Als Mass dient uns die Länge der Jahrestriebe. Da diese standortabhängig ist, kann sie zum Vergleich der Güte der Wuchsbedingungen verschiedener Standorte herangezogen werden. Andererseits darf die Jahrestrieblänge aber nicht zum Vergleich der Arten unter sich (interspezifisch) verwendet werden, da sie artspezifisch ist.

Der zu Beginn der Untersuchung gemachte Unterschied zwischen Gipfel- und Seitentrieb hat sich als wenig aussagekräftig erwiesen und wurde deshalb später fallengelassen. In der Tabelle der Wuchsleistungen sind allerdings immer noch vereinzelt Werte (mit * gekennzeichnet) für die Länge des Gipfeltriebes zu finden; dies aber nur dann, wenn keine Seitentriebe ausgemessen werden konnten. Im Prinzip haben wir uns aber auf die Messung der Seitentriebe beschränkt, nicht zuletzt deshalb, weil bei Gebüsch nicht immer eindeutig ein Gipfeltrieb ausgemacht werden kann.

Anfang und Ende eines Jahrestriebes sind häufig durch einen Astquirl gekennzeichnet, was Rückschlüsse auf das Alter eines Gehölzes erlaubt. Diese Altersbestimmung ist jedoch bei zahlreichen Arten durch das Auftreten von "Johannistrieben" erschwert. Darunter verstehen wir den bei zahlreichen Gehölzarten in einem zweiten Wachstumsschub beobachteten Trieb, der im Sommer gebildet wird und der nicht dazu führen darf, das Alter der Pflanze zu hoch anzusetzen.

Tab. 28 Mittlere Wuchsleistung der gepflanzten und der spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen (§ Seitentriebe in cm)

Arten	Forschungs- objekte		gepflanzt														spontan														Σ %	Σ %	Total														
			1		2		3		4		9		10		11		13		14		1		2		3		4		9					10		11		13		14							
			r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l	r	l				r	l	r	l	r	l	r	l						
Abies alba															23	7																			15			6							3	12	
Acer campestre				9																																22	16									12	18
A. platanoides																																														27	31
A. pseudoplatanus																																														10	23
Alnus glutinosa																																														17	35
Betula verrucosa																																														19	41
Calluna vulgaris																																														18	18
Carpinus betulus																																														6	13
Cornus sanguinea																																														49	36
Corylus avellana																																														/	32
Crataegus monogyna																																														5	20
Evonimus europaeus																																														20	25
Fagus sylvatica																																														11	21
Fraxinus excelsior																																														16	14
Juglans regia																																														20	20
Juniperus communis																																														/	/
Laburnum alpinum																																														/	8
Larix decidua																																														/	50
Ligustrum vulgare																																														/	41
Lonicera xylosteum																																														5	21
L. spec.																																														/	
Picea abies																																														20	20
Pinus abies																																														31	8
Pinus silvestris																																														6	23
Pinus silvestris																																														31	28
P. silvestris ssp.**																																														32	26
P. silvestris ssp.**																																														26	18
P. silvestris ssp.**																																														18	
P. silvestris ssp.**																																														9	
Populus tremula																																														9	9
Populus tremula																																														9	9
Populus tremula																																														40	
Prunus avium																																														35	
Prunus avium																																														35	
P. padus																																														/	/
P. padus																																														/	/
Quercus campestre																																														25	
Quercus campestre																																														25	
Q. petraea																																														29	15
Q. petraea																																														29	15
Q. rubra																																														70	
Q. rubra																																														70	
Robinia pseudacacia																																														18	
Robinia pseudacacia																																														18	
Rosa cf. arvensis																																														90	
Rosa cf. arvensis																																														90	
R. canina																																														17	
R. canina																																														17	
R. rugosa																																														10	
R. rugosa																																														10	
R. tomentosa																																														40	
R. tomentosa																																														40	
Rubus cf. fruticosus																																														/	
Rubus cf. fruticosus																																														/	
R. caesius																																														/	
R. caesius																																														/	
Salix pentandra																																														/	
Salix pentandra																																															

*) Gipfeltrieb (s. Kap. 7.4)

**) Grauföhre (s. Einleitung Kap. 7)

Tab. 29 Arten mit grösster mittlerer Wuchsleistung*
(1979/80)

gepflanzt			spontan		
Rang Nr.	Art	cm/Jahr	Rang Nr.	Art	cm/Jahr
1	<i>Salix caprea</i>	69	1	<i>Fraxinus excelsior</i>	16
2	<i>S. ssp.</i>	48			
3	<i>Alnus glutinosa</i>	41			
4	<i>Ligustrum vulgare</i>	41			
5	<i>Cornus sanguinea</i>	34			
6	<i>Acer platanoides</i>	34			
7	<i>Corylus avellana</i>	32			
8	<i>Picea abies</i>	31			
9	<i>Acer pseudoplatanus</i>	29			
10	<i>Lonicera xylosteum</i>	27			
11	<i>Betula verrucosa</i>	22			
12	<i>Crateagus monogyna</i>	22			
13	<i>Acer campestre</i>	22			
14	<i>Robinia pseudacacia</i>	18			
15	<i>Carpinus betulus</i>	16			

* In der Tabelle sind nur die Arten aufgeführt, für die mindestens 3 Messwerte vorlagen.

Aus Tabelle 29 ergibt sich, dass die bereits mehrfach erwähnten Pionierarten auch bezüglich der Wuchsleistung eindeutig an der Spitze liegen. Lediglich die Hänge-Birke (*Betula verrucosa*) fällt in dieser Hinsicht ab und befindet sich überraschend weit unten in der Tabelle. Die Aufstellung bestätigt, dass Feldahorn (*Acer campestre*) und Hagebuche (*Carpinus betulus*) auch durch ihre geringe Wuchsleistung besonders geeignete Mitglieder einer Dauervegetation sind, die wenig Unterhaltes bedarf. Die häufig gepflanzten Sträucher Liguster (*Ligustrum vulgare*) und Hartriegel (*Cornus sanguinea*) wachsen wiederum sehr schnell und gewährleisten deshalb eine rasche Begrünung. Der Hartriegel bietet einen zusätzlichen Vorteil noch dadurch, dass seine sich oberflächlich rasch ausbreitenden Wurzeln oberirdische Austriebe bilden; die daraus resultierende rasch um sich greifende Bewurzelung und Begrünung dient der Hangfestigung.

7.5 Stetigkeit

Mit der Messgrösse Stetigkeit erfassen wir die Häufigkeit des Vorkommens einer bestimmten Art in den verschiedenen Forschungsobjekten. Der Wert der Stetigkeit ist unabhängig von der Anzahl Einzelgehölze einer Art pro Aufnahme-fläche, d. h., von deren Frequenz und damit auch von deren Dichte. Sie informiert uns jedoch über Präsenz oder Absenz einer Art in den Forschungsobjekten.

Da die Forschungsobjekte als Repräsentanten der wichtigsten Standortstypen ausgewählt worden sind, gibt die Stetigkeit gepflanzter Gehölzarten einen Eindruck* von der Häufigkeit der Verwendung der verschiedenen Gehölzarten bei der Bepflanzung des strassennahen Raumes in der Schweiz.

Die Stetigkeit spontan aufkommender Arten gibt uns demgegenüber einen Eindruck* von der ökologischen Amplitude** der Gehölzarten. Berücksichtigt man die von uns gemachte Beobachtung, dass bei den gepflanzten Gehölzen wenig Ausfälle zu verzeichnen sind, so erhält einerseits der Eindruck von der Häufigkeit der Verwendung der Gehölzarten im strassennahen Raum mehr Gewicht, andererseits lässt sie den Schluss zu, dass die Gehölze in der Regel innerhalb ihrer ökologischen Amplitude und mithin im weiteren Sinne standortgerecht gepflanzt worden sind.

*) Wir verwenden absichtlich den Terminus "Eindruck", da die Stetigkeitswerte keinerlei statistische Signifikanz beanspruchen können, weil die Forschungsobjekte subjektiv als Repräsentanten der wichtigsten Standortstypen ausgewählt worden sind.

**) Unter ökologischer Amplitude verstehen wir die Spannweite der Umweltbedingungen, unter denen ein Organismus oder eine Art bestehen kann oder unter welchen ein Prozess (namentlich Reproduktion) stattfindet.

Im folgenden ist nur von den stetesten Arten des hier zur Diskussion stehenden Artensortimentes die Rede (Stetigkeit ≥ 5). Erst von diesen Arten liegt im gegenwärtigen Zeitpunkt (d. h., nach dem ersten Durchgang 1979/80) genügend Zahlenmaterial vor, so dass an eine erste synoptische Interpretation der Messwerte gedacht werden kann (s. nachfolgendes Kap. 7.6).

Rund ein Drittel aller vorkommenden Gehölzarten (14 von 46) gehört zu den stetesten Arten. Nur 4 Arten erreichen einen Stetigkeitswert von 10 oder mehr, nämlich die Hänge-Birke (*Betula verrucosa*, 13), die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*, 12), verschiedene Weidenarten zusammengekommen (Gattung *Salix*, 11) und die Fichte (*Picea abies*, 10). Es überrascht nicht, dass es drei Pionierarten sind, die die höchsten Werte erreichen. Von jenen Gehölzen, die wir der Sekundärvegetation zuordnen können, fällt die Fichte als besonders stet auf. Erwähnenswert ist noch, dass unter den in den Tabellen 30 und 31 aufgeführten 14 stetesten Arten unseres Artensortimentes lediglich 3 Sträucher zu finden sind. Es handelt sich um Hartriegel (*Cornus sanguinea*), Liguster (*Ligustrum vulgare*) und Weissdorn (*Crataegus monogyna*).

Aus den Tabellen 25 und 30 geht hervor, dass die erwähnten Pionierarten besonders oft gepflanzt worden sind, sich aber nur in beschränkter Masse spontan vermehrten. Das gilt vor allem für die Hänge-Birke. Von den spontan wachsenden Arten erreichen die Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) und die Fichte beachtliche Stetigkeit. Die Fichte, die bereits zu den Gehölzarten einer Nachfolgevegetation zu rechnen ist, wird zwar nicht selten auch gepflanzt, doch liegt der Stetigkeitswert für spontan aufkommende Einzelgehölze dieser Art in unseren Forschungsobjekten noch höher. Die 3 erwähnten Straucharten sind oft gepflanzt worden, haben sich aber kaum spontan vermehrt, es sei denn durch Wurzelaustriebe beim Hartriegel. Dies erstaunt umso mehr, als sie mancherorts durchaus zur standortgemässen Artengarnitur zu zählen sind.

7.6 Vitalität, Reproduktion, Konkurrenz und Sukzession

Bei Vegetationsstudien können wir im Felde nur vergleichsweise einfache Messungen und Zählungen durchführen. Dazu gehören die Bestimmung des Deckungsgrades, der Frequenz und der Wuchseistung. Die entsprechenden Werte und die darauf basierenden Rechenwerte wie Dichte und Stetigkeit sind in den vorangegangenen Kapiteln eingehend erörtert worden.

Mit den Tabellen 30 und 31 wird der Versuch unternommen, die über die einzelnen Abschnitte des Kapitels Vegetationsuntersuchungen verstreuten Informationen synoptisch zusammenzufassen und das Fundament für die Besprechung von Vitalität, Reproduktion, Konkurrenz und Sukzession zu legen.

In den Tab. 30 und 31 sind die 14 stetesten Gehölzarten in der Reihenfolge ihrer Stetigkeitswerte aufgeführt. Die Artenzahl pro Forschungsobjekt ergibt sich durch die vertikale Addition der Präsenzen einer Art. In beiden Tabellen ist die Summe der Deckungsprozente ($D_A\%$) aller Arten des betreffenden Forschungsobjektes in der untersten Kolonne aufgeführt, um Quervergleiche zu ermöglichen.

Die Gesamtstetigkeit jeder Art ist in beiden Tabellen in der äussersten Spalte rechts eingetragen. Sie ergibt sich durch die horizontale Addition der Präsenzen für gepflanzte und spontane Einzelgehölze einer Art; für Arten, die im gleichen Forschungsobjekt sowohl gepflanzt als auch spontan vorkommen, ergibt dies einen doppelten Stetigkeitswert. Diese Rechenweise erlaubt es, dass gepflanzte Arten, die sich auch noch vermehren, mit dem Faktor 2 gewichtet werden können. Damit wird ihrer besonderen Fähigkeit, im strassennahen Raum zu gedeihen, numerisch Rechnung getragen. In diesem Sinne kann man von einer gewichteten Stetigkeit sprechen.

Die Reihenfolge der Arten in den beiden Tabellen ergibt sich aus den Wertverhältnissen der Stetigkeit in den beiden Tabellenteilen "gepflanzt" und "spontan" einer bestimmten Art.

Die Standorte sind im Sinne abnehmender Artenzahlen im Tabellenteil "gepflanzt" von links nach rechts angeordnet. Die sich ergebende Folge haben wir auch für den Tabellenteil "spontan" übernommen und dort also die Artenzahlen nicht mehr berücksichtigt.

Die so entstandene Matrix haben wir in der Tabelle 31 mit den Werten für den Deckungsgrad, in der Tabelle 30 mit denen für die Artendichte ausgefüllt.

Tab. 30 Synopsis von Stetigkeit, Artenzahl und Dichte (Einzelgehölze/10a)

Forschungs- objekt	gepflanzt																spontan										Gesamt- Stetigkeit
	4	14	1	2	11	9	11	2	3	13	14	9	11	1	2	11	9	11	2	3	13	14	9	11	13	10	
Gehölz- arten	1	1	r	r	1	r	1'	1	1	1	1'	r	1	r	r	1	r	1'	1	1	1	1'	1	r	r	r	Gesamt- Stetigkeit
<i>Alnus glutinosa</i>	23	11	6		25	67	57		15		75	61	22						10							12	
<i>Cornus sanguinea</i>	31	85	40	70				20	31				22				17			15					18	11	
<i>Genus Salix</i>	183		418	120	37		38			50																5	
<i>Ligustrum vulgare</i>	8	21	17		19			50												15						6	
<i>Crataegus monogyna</i>	8	11	6		31				46																	7	
<i>Pinus silvestris</i>	8										17	245	102													7	
<i>Carpinus betulus</i>				160		117	57	120				122														5	
<i>Acer platanoides</i>					50		133						190								33					5	
<i>Quercus petraea</i>	11			10						17																6	
<i>Acer campestre</i>		11				217		50											10	15						6	
<i>Betula verrucosa</i>		11	34	50		50		60	31		19								10						192	13	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	76	11			44	33																				8	
<i>Picea abies</i>	8			30						33											50				34	10	
<i>Fraxinus excelsior</i>							38												110	31				7		8	
Artenzahl	8	8	6	6	6	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	1	5	1	4	6	2	/	/	1	1	2	-
Ø Dichte /10a	43	22	87	73	34	97	65	60	31	29	113	95	78	67	18		134	/	35	31	42	/	/	7	34	255	-
D _A wie Tab. 23	9.2	94.4	99.3	67.0	34.5	68.8	9.9	60.7	16.6	27.2	70.6	67.5	46.2	17.5	2.5		10.7	/	1.8	1.8	77.0	/	/	0.4	61.2	19.2	-

Tab. 31 Synopsis von Stetigkeit, Artenzahl und Deckungsgrad

Forschungs- objekt	gepflanzt																spontan																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	4	14	1	2	11	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2	3	13	14	9	11	2

*) keine messbaren Werte für den Deckungsgrad

Es kann sich hier also nicht darum handeln, das in den Tabellen 30 und 31 sichtbar gemachte Beziehungsgefüge wieder in alle Einzelheiten zu zergliedern; dafür verweisen wir auf die in den verschiedenen Kapiteln gemachten Aussagen.

Wir möchten abschliessend nur auf einen der sich abzeichnenden Trends hinweisen. Die im Tabellenteil "gepflanzt" durchgeführte systematische Gruppierung nach den erwähnten Kriterien findet bei gleichbleibender Matrix im Tabellenteil "spontan" offensichtlich keine Entsprechung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein hoher Beschirmungsgrad gepflanzter Gehölzarten das Aufkeimen von Sämlingen wegen ihrer übermächtigen Konkurrenz um Nährstoffe und Licht praktisch unmöglich macht. Dafür ist das Forschungsobjekt Kiesen ein Beispiel.

Die Lebenskraft oder Vitalität einer Pflanze findet ihren Ausdruck in der Wuchsleistung, im Blüten- und Fruchtansatz, in der Farbe des Laubes usw. Von allen diesen Merkmalen der Vitalität hat sich die Wuchsleistung als leicht feststellbarer Massstab am ehesten angeboten (s. Kap. 7.4).

Gesamthaft gesehen macht die Vegetation der Strassenböschungen einen recht vitalen Eindruck, währenddem die Vitalität der Mittelstreifenvegetation in der Regel stark beeinträchtigt ist. Diese geringe Vitalität der Vegetation in den Mittelstreifen führen wir - etwa in dieser Reihenfolge - auf nachstehende Ursachen zurück: Ungenügen der Pflanzbeete, Streusalzeinwirkungen auf ober- und unterirdische Pflanzenteile, Verkehrsunfälle, Staub-, Abgasimmissionen und Fahrtwind. Die gepflanzten Pioniergehölze, vor allem Erlen und Weiden, zeichnen sich meist durch sehr grosse Vitalität aus, was sich unter anderem in besonders hohen jährlichen Wachstumsleistungen und - als Folge davon -, in rascher räumlicher Expansion äussert. Bei den als Sekundärgehölzen vorgesehenen Arten fallen Feldahorn (*Acer campestre*) und Hagebuche (*Carpinus*

betulus) durch vergleichsweise geringe Wuchsleistung auf; im übrigen ist ihre Vitalität in der Regel intakt. Deshalb dürfen diese beiden Arten im Hinblick auf die angestrebte unterhaltsarme Dauervegetation als für die Bepflanzung des strassennahen Raumes besonders geeignet gelten.

Die Gehölzzählungen ergaben häufig überraschend hohe Werte für die spontan aufkommenden Sämlinge und damit für einzelne Arten eine vergleichsweise hohe Reproduktionsrate. Allerdings ist einschränkend zu sagen, dass die Mehrheit der Sämlinge selbst an zehn und mehr Jahre alten Böschungen erst wenige Jahre alt ist. Diese Beobachtung lässt vermuten, dass ein beträchtlicher Teil der Sämlinge laufend abgeht und durch Neuansamung ersetzt wird. Von den 46 registrierten Gehölzarten sind 41 angepflanzt worden, 31 haben sich spontan vermehrt, darunter 5, die in keinem Forschungsobjekt bei Pflanzungen berücksichtigt worden waren. An einzelnen Standorten haben wir eine Massenvermehrung bestimmter Gehölzarten beobachtet, so etwa im Pfynwald (Grauföhre) und am bergseitigen Hang in Wollerau (Fichte). Umgekehrt gibt es Forschungsobjekte, die praktisch keine spontane Gehölzvermehrung kennen. Dies ist vielfach dort der Fall, wo gepflanzte Gehölze ein dichtes, zusammenhängendes Kronendach gebildet haben. Der Zusammenhang widerspiegelt sich in unseren Messdaten in der negativen Korrelation zwischen den Werten für Deckungsgrad und Dichte.

In der Vegetationskunde ist Sukzession *per definitionem* eine Änderung in der Artenzusammensetzung einer Pflanzengesellschaft. Sie ist oft erst nach längerer Zeit wahrnehmbar. Unter natürlichen Umständen läuft der Prozess der Sukzession in Richtung Gleichgewicht einer Dauergesellschaft. Die Beobachtungen über die Entwicklungen in unseren Forschungsobjekten sind deshalb so wichtig, weil daraus die Massnahmen für den Unterhalt von Pflanzungen abgeleitet werden können, die geeignet sind, den Sukzessionsprozess zu erleichtern und zu beschleunigen.

Im jetzigen Zeitpunkt sind erste Aussagen möglich. So haben unsere Untersuchungen gezeigt, dass der Uebergang von Primär- zu Sekundärpflanzungen und damit zu naturnäheren Gehölzverbänden ungleich schwieriger ist als bisher angenommen. Dies haben wir im Kapitel 7.1 am Beispiel des Forschungsobjektes Kilchberg dargestellt.

Sowohl Weiden wie Erlen, die in erster Linie als Pioniergehölze gedacht sind, haben ein ausserordentliches Beharrungsvermögen und behindern stark die Entfaltung einer Sekundärvegetation, sei sie gepflanzt oder spontan aufgekommen. Diese Sperre kann auch durch das regelmässige Auf-den-Stock-Setzen der Pioniergehölze bestenfalls gemildert werden; die Erfahrung zeigt aber, dass bei solchen Pflegemassnahmen auch die zu fördernden Sekundärgehölze in Mitleidenschaft gezogen werden.

Der Uebergang von der Gehölzpflanzung zu einer naturnäheren Dauergesellschaft vollzieht sich unter interspezifischem Konkurrenzdruck. Konkurrenz- und Abhängigkeitsverhältnisse zwischen den Arten sollten daher vermehrt schon bei der Pflanzung in Rechnung gestellt werden. Bei der Ausprägung dieser Dauergesellschaften spielen aber auch die dem strassennahen Raum eigenen besonderen Faktoren eine entscheidende Rolle.

Tab. 32 Beurteilung der Vitalität aufgrund von Deckungsgrad, Dichte und Wuchsleistung

gepflanzt				spontan			
Art	Rang Nr.			Art	Rang Nr.		
	D _A %	Dichte	Wu		D _A %	Dichte	Wu
Salix ssp.	1	1	2	Fraxinus excelsior	3	2	1
Carpinus betulus	3	2	15				
Alnus glutinosa	2	4	3				
Cornus sanguinea	5	5	5				
Betula verrucosa	8	6	11				
Ligustrum vulgare	4	7	4				

* In dieser Tabelle erscheinen nur Arten, die in jeder der drei Tabellen 24, 27, 29 aufgeführt sind.

In der Tabelle 32 haben wir versucht, abschliessend die wichtigsten Arten, wie sie sich aus den Tabellen 24, 27 und 29 für Deckungsgrad, Dichte und Wuchsleistung ergeben haben, zusammenzustellen und nach den Rang-Nummern deren Vitalität zu beurteilen.

Wir haben auf die (mathematisch fragwürdige) numerische Wertung der Vitalität verzichtet, die sich aus den drei Rang-Nummern jeder Art in Form einer "durchschnittlichen Rang-Nummer" leicht bestimmen liesse. Die Reihenfolge der Arten in der Tabelle ist also nicht von Bedeutung.

Die Tabelle zeigt, dass die Pionierpflanzen Weiden und Erlen auch hier die besten, d. h., niedrigsten Werte erreichen. Bemerkenswert ist weiter, dass bei den gepflanzten Gehölzen nur gerade 6 Arten in allen 3 Tabellen vertreten sind; von den spontan wachsenden Arten ist dies sogar nur bei einer einzigen, der Gemeinen Esche, der Fall.

7.7 Die Vegetation in den Mittelstreifen

Wir haben bereits ausgeführt, welche aussergewöhnlichen Standortbedingungen in den Mittelstreifen von Autobahnen herrschen (s.Kap. 5.11). An dieser Stelle geht es darum, deren Auswirkungen auf die dort gedeihenden Pflanzen darzustellen.

Die Mittelstreifen bieten der Vegetation oft die ungünstigsten Startbedingungen des strassennahen Grünraumes überhaupt. Nicht nur sind dort die Immissionen besonders intensiv, sondern es sind auch die Bodenverhältnisse oft schlecht. Der Boden ist häufig lehmig und stark verdichtet, der Wasserhaushalt demzufolge gestört. Die oft zu kleinen Pflanzlöcher oder zu junge und zu kleine Pflanzen erleichtern das Gedeihen der Gehölze ebenfalls nicht und verschärfen zusätzlich die ohnehin schon prekären Umstände. Das Ungenügen des Pflanzbeetes verstärkt eine allenfalls schon bestehende Störung des Wasserhaushaltes. Es überrascht deshalb nicht, dass im strassennahen Bereich viele Pflanzen anzutreffen sind, die unter Wassermangel leiden. Wir haben Grund zur Annahme, dass die erwähnten Beeinträchtigungen der Vitalität der Gehölze durch Trockenheit zum Teil auch den Immissionen angelastet werden müssen. Arbeiten am Botanischen Institut der Universität Basel weisen darauf hin, dass physiologische Störungen deshalb auftreten, weil feine Staubkörner die Spaltöffnungen der Pflanzen ausser Funktion setzen können.

Die Verkehrseinflüsse sind zwischen den beiden Fahrbahnen extrem stark. Zu erwähnen sind namentlich Fahrtwind und Luftwirbel, Verschmutzung bis hin zur Verkrustung oberirdischer Pflanzenteile durch Staub und Tröpfchen und die darin enthaltenen toxischen Bestandteile, mechanische Schädigung der Pflanzen bei der Schneeräumung oder bei Verkehrsunfällen und schliesslich die physiologische Schädigung durch aufgesalzten Schneematsch. Geschwächt oder geschädigt durch die ungünstigen Bodenverhältnisse, den gestörten Wasserhaushalt

und die Immissionen sind die Pflanzen besonders anfällig für Krankheiten und Schädlinge aller Art.

Arten, die allen ungünstigen Umwelteinflüssen widerstehen und erst noch die erwünschten Wuchsformen und -leistungen erbringen, gibt es kaum. Das Verhalten der in den Mittelstreifen gepflanzten Arten ist jedoch unterschiedlich.

Beim Liguster zum Beispiel (*Ligustrum vulgare*) tritt zwar häufig Spitzendürre auf, doch gehen die Pflanzen nicht ein, sondern schlagen am Stock meist kräftig wieder aus. Das Geissblatt (*Lonicera xylosteum*) gedeiht in den ersten Jahren nach der Pflanzung recht gut, doch neigt es nach 5 - 10 Jahren zur Rückbildung.

Weitere Arten sind wegen ihrer Salzempfindlichkeit und aus anderen Gründen, wie Rutenbildung, Dornen, Stammbildung für die Bepflanzung von Mittelstreifen weniger geeignet. Dazu gehören etwa der Feldahorn (*Acer campestre*), der Weissdorn (*Crataegus monogyna*) und der Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*). Gegen eine Verwendung des Sanddorns spricht auch die Tatsache, dass er mit seinen Wurzelaustrieben Bitumenbeläge zu beschädigen vermag. Andere Arten vermögen sogar die Verkabelungen zu beeinträchtigen.

Die Vegetation der Mittelstreifen hat bestimmten Anforderungen zu genügen. Erwünscht ist ein dichter, aber nicht zu hoher Gehölzwuchs, dem als Blendschutz und als Spritzfang wichtige Funktionen zukommen. Die Beschränkung der Höhe ist geboten, weil im Winde oder unter Schneelast sich biegende Äste die Sicht oder sogar den Verkehr selbst behindern können.

Welche Schlüsse sind nun aus dem Gesagten zu ziehen?

- Die im Normblatt SNV 640 675 für die Bepflanzung von Mittelstreifen empfohlenen Arten dürfen weiterhin als geeignet gelten, wobei jedoch die Akzente teilweise verschoben werden sollten (z.B. mehr Hagebuchen und weniger Geissblatt).

- Von den einheimischen Gehölzen kommen zusätzlich Ginster und Kreuzdorn in Frage. Ungünstig beim gemeinen Kreuzdorn (*Rhamnus cathartica*) sind allerdings die dornspitzigen Kurztriebe. Von Ginster (*Genus Genister*) und den ginster-ähnlichen Gattungen wie *Sarothamus* und *Cytisus* kommen einige nur für die wärmeren Standorte der Westschweiz und des Tessins in Frage.
 - Koniferen sind oft salzempfindlich. Trotzdem sollten mit einigen Arten Versuche gemacht werden, insbesondere mit Föhre, Wacholder und Eibe.
 - Ausländische Salzpflanzen, vor allem aus der Familie der Gänsefussgewächse, sollten ebenfalls erprobt werden. In Frage kommen Gattungen, die auch eine eurosibirisch-atlantische Verbreitung aufweisen wie *Arthrocheman*, *Ariplex*, *Salicorinia* und *Sueda*, die zwar nicht im Handel sind, im kleinen Rahmen aber durchaus beschafft werden können.
- Der Hauptgrund für die ungenügende Entwicklung der Mittelstreifenbepflanzung liegt jedoch nicht in der Artenwahl, sondern in der schlechten Bodenqualität und der mangelhaften Artenmischung begründet. Daraus leiten sich folgende weiteren Empfehlungen ab für Neupflanzungen und die Sanierung bestehender Anlagen:
- Die Gehölze nicht blockweise einbringen, sondern möglichst vielfältige Durchmischung anstreben, damit beim Ausfall einer Art Nachbarpflanzen anderer Art problemlos die Lücken füllen können (Empfehlung, die schon in den Normblättern enthalten ist). Der zusätzliche Arbeits- und Kostenaufwand ist gering.
 - Pflanzgräben von mindestens 50 cm Tiefe sollten neu ausgehoben werden. Bei Humusierung und Neubepflanzung bestehen grosse Erfolgchancen. Das Verfahren ist aber arbeitsaufwändig und kostspielig.
 - Ein kostengünstigeres Verfahren besteht darin, dass man die geschädigten Pflanzen entfernt, den Boden lockert und Kulturerde einbringt. Die Kulturerde ist gegen die Fahrbahnträger hin auslaufend aufzuschichten. Anschliessend können Vegetationslücken aus-

Tafel 6 Dominanz und Wuchshöhe der Gehölzarten im Mittelstreifen
Forschungsobjekt 8, La Maladière, 1980

Tran- sekt 1	Dominanz + Wuchshöhe					
	+	1	2	3	4	5
Pflanzenarten	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

Tran- sekt 2	Dominanz + Wuchshöhe					
	+	1	2	3	4	5
Pflanzenarten	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

Tran- sekt 3	Dominanz + Wuchshöhe					
	+	1	2	3	4	5
Pflanzenarten	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

Tran- sekt 4	Dominanz + Wuchshöhe					
	+	1	2	3	4	5
Pflanzenarten	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

Tran- sekt 5	Dominanz + Wuchshöhe					
	+	1	2	3	4	5
Pflanzenarten	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

Pflanzenarten	Dominanz + Wuchshöhe					
	+	1	2	3	4	5
Pflanzenarten	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					

Dominanz-Klassen

5	=	50	-	100	%	Deckungsgrad
4	=	25	-	50	%	
3	=	12.5	-	25	%	
2	=	6.25	-	12.5	%	
1	=	3.13	-	6.25	%	
+	=	<		3.13	%	

Wuchshöhen-Klassen

1	=	<	25	cm	
2	=	26	-	50	cm
3	=	51	-	100	cm
4	=	101	-	200	cm
5	=	>	200	cm	

gepflanzt werden. Im Kanton Zürich wie auch in Norddeutschland hat man mit diesem Verfahren sehr gute Erfahrungen gemacht. Auf Strecken mit Kabelleitschranken ist es allerdings nicht anwendbar.

Wie bereits eingangs erwähnt, haben wir für die Aufnahme der Mittelstreifenvegetation andere als die üblichen Messmethoden angewandt (s. Einleitung Kap. 7). Grundlegend war die Schätzung der Dominanz (entsprechend der Messung des Deckungsgrades) (s. Tab. 22). In der Tat behindert der "Heckenwuchs" der Mittelstreifenvegetation häufig die üblicherweise durchgeführte Aufnahme des Deckungsgrades. Der genannte "Heckenwuchs" der Gehölze ist eine direkte Folge des in regelmässigen Intervallen durchgeführten Schnittes und ist im übrigen keinesfalls unerwünscht.

Die grafische Darstellung der Tafel 6 stellt den Versuch dar, die Mittelstreifenvegetation mittels einer Schätzung der Dominanz- und der Höhenklassen zu beurteilen. Wir haben in diesem Sinne im ausgewählten Standort La Maladière den Ist-Zustand festgehalten.

Aus den schon dargelegten Gründen bestehen Normvorstellungen bezüglich der wünschbaren Höhe und damit des Profils der Mittelstreifenvegetation. Auf der Tafel 6 zeigt das Beispiel La Maladière, dass Abweichungen von der Norm zulässige sein, bzw. dass die Normen für die Höhe der Mittelstreifenvegetation heraufgesetzt werden sollten. In La Maladière behindern Gehölze mit Wuchshöhen wie die Hagebuche (*Carpinus betulus*) und die Fichte (*Picea abies*) die Sicht keineswegs, bilden aber einen zweifellos ausgezeichneten Blendschutz und erreichen eine vorzügliche ästhetische Wirkung.

VERZEICHNIS DER TABELLEN, FIGUREN UND TAFELNTabellen

1	Charakterisierung der Standorte nach phänologischen Kriterien	16
2	Zuordnung der Standorte zu Zonen vergleichbarer mittlerer Jahresniederschläge	17
3	Verteilung der Forschungsobjekte auf die Standortstypen	30
4	Synopsis der Standorte (Forschungsobjekte) und Fünfjahresplan der durchzuführenden Bodenuntersuchungen	32
5	Beurteilung der Bodenart aufgrund von Humusgehalt und Körnung	35
6	Säurewert (pH)	37
7	Kalziumkarbonatgehalt in Klassen	39
8	Kalziumkarbonat (CaCO_3 in %)	39
9	Phosphat (P-Testzahl)	40
10	Kali (K-Testzahl)	42
11	Organischer Kohlenstoff (C_{org} in %)	43
12	Humus (in %)	44
13	Gesamtstickstoff (N_{tot} in ppm)	45
14	Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N)	45
15	Katalase (Vol.% O_2)	47
16	Blei (Pb^{++} in ppm)	51
17	Bodenuntersuchungen im Mittelstreifen	55
18	Aufwand Winterdienst	58
19	Grenzwerte der Bodenversalzung	60
20	Verhalten chemisch-physikalischer Messwerte in Funktion der Entfernung der Probeentnahmestelle von der Immissionsquelle dargestellt am Beispiel des Standorts Grancia	61
21	Relative Resistenz von Gehölzen gegenüber Auftausalzen (nach verschiedenen Autoren)	64
22	Begriffe der Vegetationsanalyse	76
23	Deckungsgrad der gepflanzten und der spontan auftkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen (in Prozenten)	77
24	Arten mit höchstem Deckungsgrad	81

25	Frequenz der gepflanzten und der spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen	84
26	Dichte der gepflanzten und der spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen (Anzahl Einzelgehölze/10 a)	88
27	Dichteste Arten mit Stetigkeit ≥ 5	89
28	Mittlere Wuchsleistung der gepflanzten und spontan aufkommenden Gehölzarten ohne Berücksichtigung der Mittelstreifen ($\emptyset$ Seitentriebe in cm)	92
29	Arten mit grösster mittlerer Wuchsleistung	93
30	Synopsis von Stetigkeit, Artenzahl und Dichte (Einzelgehölze/10 a)	97
31	Synopsis von Stetigkeit, Artenzahl und Deckungsgrad	98
32	Beurteilung der Vitalität aufgrund von Deckungsgrad, Dichte und Wuchsleistung	101

Figuren

1	Lage der Standorte	6
2	Aufnahmedispositiv für Standorte	12
3	Salzverbrauch bei ausgewählten Standorten während des Zeitraumes 1969/79	59
4	Aufnahmedispositiv für Vegetations- und Bodenuntersuchungen	70
5	Linien- und Bandbeobachtung an der Autobahnböschung bei Tagelswangen (Standort 3)	71
6	Linien- und Bandbeobachtung an der Autobahnböschung bei Kiesen (Standort 14)	72

Tafeln

1	Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Kilchberg und Wollerau	23
2	Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Tagelswangen, Sennwald und Belmont (r)	24
3	Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Belmont (l), Pfynwald und Eptingen (r)	25
4	Kurzbeschreibung der Forschungsobjekte Eptingen (l und l') und Oberhard (r)	26

5	Kurzbeschrieb der Forschungsobjekte Oberhard (1) und Kiesen (1 und 1')	27
6	Dominanz und Wuchshöhe der Gehölzarten im Mittelstreifen Forschungsobjekt 8, La Maladière, 1980	106

Bibliographie

- Braun, G. et al. 1978. Untersuchungen zur relativen Resistenz von Gehölzen gegen Auftausalz (Natriumchlorid). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Heft 2/3, S. 21 - 35.
- Buschbom, U. 1968. Salzresistenz oberirdischer Sprosssteile von Holzgewächsen, Chlorideinwirkungen auf Sprossoberflächen. Flora, Abt. B, 157. S. 527 - 561.
- Eschermann, 1973. Zu Immissions- und Streusalzschäden im Strassenbegleitgrün. Neue Landschaft, Heft Nr. 1, S. 12-15.
- Flückiger-Keller, H. et al. Auswirkungen von Streusalz und Trockenheit auf das Wachstum und die Wasserbeziehungen verschiedener Gehölze. Publ. des Botanischen Inst. Univ. Basel.
- Gutersohn, H. 1973. Naturräumliche Gliederung. Atlas der Schweiz, Blatt 78. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Keller, Th., 1977. Der Einfluss von Fluorimmissionen auf die Nettoassimilation von Waldbaumarten. Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
- Kurusa, I. et al. 1974. Gehölze auf dem Mittelstreifen der Bundesautobahnen. Neue Landschaft, Heft 2, S. 70 - 77.
- Leh, H.O., 1975. Die Gefährdung der Strassenbäume durch Auftausalz. Deutsche Baumschule, S. 250 - 253.
- Meyer, F.H., 1978. Bäume in der Stadt. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Pingoud, P., 1970. Unfälle an Mittelschranken-Seilzaun-Doppelplanke. Institut für Strassen- und Untertagbau an der ETHZ, Mitteilung Nr. 19.
- Primault, B., 1970. Klima und Wetter III. Atlas der Schweiz, Blatt 13. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Ruge, U., 1974. Salz- und Gasschäden an Bäumen und Vegetationsflächen. Neue Landschaft, Heft 7, S. 423 - 425.
- Sauer, G., 1967. Schäden an der Bepflanzung der Bundesfernstrassen durch Auftausalze. Der Gartenbauingenieur, Heft Nr. 4, S. 68 - 72.

- Scheffer, F. und Schachtschabel, P., 1966. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schiechtl, H.M., 1978. Neue Ergebnisse zur Frage der Resistenz von Gehölzpflanzen gegen Auftausalze. Garten und Landschaft, Heft Nr. 4, S. 240-246.
- Uttinger, H., 1967. Klima und Wetter II. Atlas der Schweiz, Blatt 12. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Woess, F.N.M., 1979. Ermittlung und Beurteilung von Gehölzen an Autobahnen. Bundesministerium für Bauten und Technik, Wien, Strassenforschung, Heft Nr. 126.

