



**UMWELT-MATERIALIEN
NR. 192**

Boden

**Bekämpfung
des Japanischen
Staudenknöterichs**

**Literaturreview und
Empfehlungen für Bahnanlagen**



**Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL**

**UMWELT-MATERIALIEN
NR. 192**

Boden

**Bekämpfung
des Japanischen
Staudenknöterichs**

**Literaturreview und
Empfehlungen für Bahnanlagen**

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2005**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
(BUWAL)

*Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
(UVEK)*

Autorin

Ursula Bollens, Dr sc. Nat. ETH, asp
Landschaftsarchitekten AG

Zitierung

BOLLENS U. 2005: *Bekämpfung des Japanischen
Staudenknöterichs (Reynoutria japonica Houtt., Syn.
Fallopia japonica (Houtt.) Ronse Decraene,
Polygonum cuspidatum Sieb. et Zucc.). Literatur-
review und Empfehlungen für Bahnanlagen.* Umwelt-
Materialien Nr. 192. Bundesamt für Umwelt, Wald
und Landschaft, Bern. 44 S.

Im Auftrag von

Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB)
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
(BUWAL)
Bundesamt für Verkehr (BAV)

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Titelfoto

SBB, Japan. Staudenknöterich, Andelfingen

Bezug

Download PDF

<http://www.buwalshop.ch>

(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)

Code: UM-192-D

© BUWAL 2005

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	5	Schlussfolgerungen	34	
Zusammenfassung	7	5.1	Herbizid	34	
1 Einleitung	9	5.2	Schnitt	35	
1.1	Problemstellung	9	5.3	Konkurrenz	35
1.2	Ziel	9	5.4	Abdecken mit Folie	36
2 Methodik	10	5.5	Ausreissen	36	
2.1	Datenrecherche	10	5.6	Ausgraben	36
2.2	Überblick über die Datenlage	10	5.7	Mulchen	36
3 Grundlagen	11	5.8	Beweidung	36	
3.1	Taxonomie	11	5.9	Abbrennen	37
3.2	Herkunft und Verbreitung	11	5.10	Strom	37
3.3	Morphologie	12	5.11	biologische Bekämpfung	37
3.4	Verbreitung	15	6 Empfehlungen für Bekämpfungsmassnahmen an Bahnanlagen	38	
3.5	Ökologische Faktoren	18	7 Schlusswort	40	
4 Bekämpfung	20	Verzeichnisse	41		
4.1	Herbizid	20	1	Literatur	41
4.2	Schnitt	25	2	Internet-Links	44
4.3	Schnittgutbehandlung	27			
4.4	Konkurrenz	28			
4.5	Abdecken	28			
4.6	Ausreissen	29			
4.7	Ausgraben	29			
4.8	Mulchen	30			
4.9	Beweidung	30			
4.10	Abbrennen	31			
4.11	Strom	31			
4.12	Biologische Bekämpfung	31			
4.13	Aufwand	32			

Abstracts

E Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*) spreads successfully via runners and rhizome or shoot fragments. The role played by seed dispersal is negligible. Frequent mowing over a period of several years leads to a weakening of stands, as well as grazing, pulling up, covering with plastic sheeting, or grubbing up. The most effective approach consists of regular mowing, followed by the application of herbicides. It is recommended that glyphosate should be applied in September after mowing (6 weeks previously) or in May, with a follow-up treatment in September. If herbicide application is not possible, stands can be mown or pulled up 3–5 times a year. Monoculture stands can first be weakened by being covered up (for at least 2 years) or grubbed up (to a depth of 3 metres, with a 7-metre radius). Whatever control method is used, care should be taken to promote competing plant species, and monitoring and follow-up treatments are required. The recommendations for controlling Japanese knotweed are based on the scientific literature and reports of practical experience.

Keywords:
Weeds, invasive plants,
mowing, herbicide,
glyphosate

D Der Japanischen Staudenknöterichs (*Reynoutria japonica*) verbreitet sich erfolgreich durch Ausläufer, Rhizom- und Sprossfragmente. Die Samenbildung spielt eine vernachlässigbare Rolle. Häufige Schnitte über mehrere Jahre bewirken eine Schwächung der Bestände ebenso Beweidung, Ausreissen, Abdecken mit Folie oder Ausgraben. Am wirkungsvollsten ist regelmässiges Mähen mit nachfolgender Herbizidanwendung. Empfohlen ist eine Behandlung mit Glyphosat im September nach vorgängiger Mahd (6 Wochen vorher) oder im Mai mit Nachbehandlung im September. Kann kein Herbizid angewendet werden, können die Bestände 3–5mal jährlich geschnitten oder ausgerissen werden. Reinbestände können vorgängig durch Abdecken (während mind. 2 Jahren) oder Ausgraben (3 m tief und 7 m im Umkreis) abgeschwächt werden. Bei allen Bekämpfungsmethoden ist auf die Förderung von Konkurrenzpflanzen zu achten und sind Erfolgskontrollen und Nachbehandlungen notwendig. Die Empfehlungen für die Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs basieren auf der Fachliteratur und Erfahrungsberichten.

Stichworte:
Problempflanzen,
Neophyten, Schnitt,
Herbizid, Glyphosat

F La renouée du Japon (*Reynoutria japonica*) s'étend rapidement grâce à ses stolons et à des fragments de rhizome ou de pousse. Les semences ne jouent qu'un rôle négligeable. On peut affaiblir cette plante envahissante en la fauchant fréquemment durant plusieurs années, en faisant paître du bétail, en arrachant les plantes, en les couvrant d'une feuille plastique ou en les déterrants. Le traitement le plus efficace consiste à faucher régulièrement avant de répandre un herbicide. Il est recommandé de traiter au glyphosate en septembre, six semaines après avoir fauché, ou en mai en répétant le traitement en septembre. S'il n'est pas possible d'appliquer un herbicide, on peut couper ou arracher les plantes 3 à 5 fois par an. Il est possible d'affaiblir au préalable les peuplements composés uniquement de renouées du Japon en les couvrant (pendant au moins deux ans) ou en les déterrants (à 3 m de profondeur et dans un rayon de 7 m). Dans tous les cas, il convient de favoriser les plantes concurrentes, de contrôler les résultats obtenus et de prévoir des traitements ultérieurs. Les recommandations pour la lutte contre la renouée du Japon se fondent sur les ouvrages spécialisés et sur les comptes rendus d'expériences.

Mots-clés:
Plantes problématiques,
néophytes, fauchage,
herbicides, glyphosate

I Il poligono giapponese (*Reynoutria japonica*) si diffonde con successo sia mediante gli stoloni che tramite la dispersione di frammenti di rizomi e di germogli. In quest'ambito il ruolo della formazione del seme è quindi trascurabile. Il poligono giapponese può essere indebolito con ripetuti sfalci sull'arco di alcuni anni, ma lo si può contrastare anche con il pascolo, l'estirpazione, la copertura con teli di plastica o lo sradicamento. Il metodo più efficace per combatterne la diffusione rimangono tuttavia gli sfalci periodici con successivo impiego d'erbicidi. Lo studio raccomanda di utilizzare il glifosate soltanto a settembre, sei settimane dopo lo sfalcio, oppure a maggio, prevedendo tuttavia un ulteriore trattamento a settembre. Nel caso in cui non sia possibile utilizzare un erbicida, non rimane che tagliare gli arbusti o sradicarli da 3 a 5 volte l'anno. Per indebolire i popolamenti puri si ricorre alla loro copertura con teli di plastica (per un periodo minimo di due anni) o all'estirpazione (a 3 m di profondità in un raggio di 7 m). Indipendentemente dai sistemi adottati, è necessario promuovere le piante concorrenti, controllare i risultati degli interventi effettuati e garantire i trattamenti successivi. Le raccomandazioni per contrastare la diffusione del poligono giapponese sono basate sulla letteratura specializzata e sulle relazioni di esperienze maturate al riguardo.

Parole chiave:
Piante problematiche,
neofite, sfalcio,
erbicida, glifosate

Zusammenfassung

Über 50 Publikationen und Erfahrungsberichte zur Ökologie und Bekämpfung des japanischen Staudenknöterichs wurden ausgewertet bezüglich der Frage, wie sich die Pflanzen am effizientesten bekämpfen lassen.

Der Staudenknöterich verbreitet sich sehr effektiv durch Ausläufer, Rhizom- und Sprossfragmente. Die Samenbildung spielt eine vernachlässigbare Rolle. Sprosstücke von 4 cm Länge mit einem halben Knoten und Rhizomstücke von 1.5 cm Länge mit einem Knoten können wieder austreiben. Die Rhizome können bis zu 1 m lang sein und über mehrere Jahre im Boden verbleiben, ohne oberirdische Sprosse zu bilden.

Von den beschriebenen Bekämpfungsmethoden konnten Bestände nur mit Herbizidbehandlung vollständig ausgelöscht werden. Häufige Schnitte über mehrere Jahre bewirken eine Schwächung des Bestandes. Beweidung und Ausreißen der Pflanzen, Abdecken mit Folie oder Ausgraben kann die Bestände ebenfalls reduzieren. Es sind aber, wie auch bei der Herbizidbehandlung, Nachkontrollen und Nachbehandlungen notwendig. Abbrennen und Behandlung mit Niederfrequenz-Gleichstrom sind wirkungslos. Die Methode mit Hochspannung ist erfolgreich, aber aufwändig und gefährlich. Die Förderung von Konkurrenzpflanzen ist an sich sinnvoll und erschwert das Bilden von neuen Knöterich-Beständen. Allerdings wird eine Bekämpfung des Staudenknöterichs in einer bepflanzten Fläche erheblich erschwert. Die biologische Bekämpfung ist noch im Forschungsstadium.

Empfehlungen für die Bahnen

1. Prävention: Grünflächen regelmässig unterhalten, Neubildung und Verschleppung verhindern, Schnittgut sofort mit dem Kehricht zur Verbrennung abführen, nicht mulchen oder kompostieren
2. Wo möglich Herbizidbehandlung: Glyphosat im August/September, 6 Wochen nach einem Schnitt, oder im Mai. Die Anwendungsverbote in der Stoffverordnung (Anh. 4.3) bzw. in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (Anh. 2.5) sind zu beachten.
3. Nicht sofort nach der Glyphosatbehandlung einsäen (erschwert die Nachbehandlung): Zwischensaat
4. Erfolgskontrolle und Nachbehandlungen

Falls ohne Herbizid: 3–5mal jährlich schneiden oder ausreißen. Reinbestände können vorgängig durch Abdecken (während mindestens 2 Jahren) oder Ausgraben (bis 3 m tief und 7 m im Umkreis) abgeschwächt werden.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Japanische Staudenknöterich, eine ursprünglich in Südostasien heimische Pflanze macht sich in Europa seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts hauptsächlich entlang von Flüssen und Verkehrswegen breit. Für den Unterhalt und die Sicherheit dieser Anlagen stellt diese Pflanze ein Problem dar, da sie durch ihren hohen Wuchs und ihre rasche Ausbreitungsmöglichkeit viel Raum einnimmt und so die Funktion der Anlagen beeinträchtigt: Die Rhizome können Pflastersteine aus Befestigungen herauslösen und selbst Asphalt durchstossen. Einmal in einer Böschung festgesetzt, kann der japanische Staudenknöterich ins Gleisbett einwachsen. Zusätzlich ist die Pflanze unerwünscht, weil ihr dichtes Blattwerk keine standortgerechte Vegetation mehr aufkommen lässt. Aus diesen Gründen wird versucht, der Verbreitung des Japanischen Staudenknöterichs entlang von Flüssen, Bahnlinien oder in Naturschutzgebieten entgegen zu wirken. Die Mittel dazu sind das Vermeiden einer Neuansiedlung oder die Bekämpfung bestehender Bestände mit mechanischen und chemischen Massnahmen.

Verschiedene Untersuchungen wurden durchgeführt, um die Wirksamkeit der unterschiedlichen Bekämpfungsmassnahmen auszutesten. Dazu wurden Experimente unter kontrollierten Bedingungen im Labor oder im Freiland durchgeführt. Häufig wurden Bekämpfungsversuche mehr oder weniger systematisch dokumentiert und die Wirkung unterschiedlicher Massnahmen verglichen. Die SBB hat selber verschiedentlich Bekämpfungsversuche in Auftrag gegeben und dokumentiert.

1.2 Ziel

In diesem Review werden die wissenschaftliche Literatur und Erfahrungsberichte zur Ökologie und Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs zusammengestellt. Die Resultate der Versuche werden diskutiert und aus den Ergebnissen Empfehlungen für die Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs entlang von Bahnlinien in der Schweiz abgeleitet.

2 Methodik

2.1 Datenrecherche

Für diese Arbeit wurden Publikationen aus Fachzeitschriften über die Datenbanken Web of Science, DNL online und ETHICS gesucht (Suchbegriffe: Reynoutria japonica, Fallopia japonica, Polygonum cuspidatum, Japanese knotweed, Japanischer Staudenknöterich, Reynoutria sachalinensis). Zudem wurde so genannte «graue Literatur», grösstenteils Erfahrungsberichte zuhanden der SBB oder kantonalen Stellen, sowie Fachbeiträge im Internet (via Google) ausgewertet.

2.2 Überblick über die Datenlage

Die wissenschaftliche Literatur zum Japanischen Staudenknöterich ist recht umfangreich. Hauptsächlich in Grossbritannien, Japan und Europa wurden Feldbeobachtungen und -experimente zur Ökologie und Physiologie sowie Feld- und Topfexperimente zur Bekämpfung durchgeführt und in Fachzeitschriften publiziert.

Praktische Versuche zur Knöterichbekämpfung wurden vielerorts von Unterhaltsverantwortlichen durchgeführt und dokumentiert. Die Bekämpfungsversuche sind allerdings nicht mit dem Anspruch auf wissenschaftliche Exaktheit und Reproduzierbarkeit durchgeführt worden. Trotzdem werden diese wertvollen Erfahrungsberichte in diesen Review aufgenommen. Die Beschreibungen der Massnahmen und deren Effekte sind allerdings oft mangelhaft und werden in dieser Arbeit bestmöglich wiedergegeben.

3 Grundlagen

3.1 Taxonomie

Drei neophytische Knötericharten sind derzeit in Europa bekannt. In der Literatur findet man unterschiedliche Bezeichnungen für die diskutierten Knötericharten:

A Der **Japan-Knöterich** *Reynoutria japonica* Houttuyn = *Fallopia japonica* Houtt. = *Polygonum cuspidatum* Siebold et Zuccarini.

Die Gattungen *Reynoutria* und *Fallopia* (früher *Polygonum*) gehören in die Familie der Polygonaceae. Die verschiedenen Artbezeichnungen sind auf unterschiedliche taxonomische Einteilungen zurückzuführen, die sich durch subjektive Kriterien der Botaniker ergibt (siehe auch Beerling *et al.* 1994). Die Untersuchungen von Bailey & Stace (1992) zeigen hohe Ähnlichkeiten in Zytologie und Chromosomensatz der zwei Gattungen *Reynoutria* und *Fallopia*. Die Autoren postulieren deshalb deren Vereinigung (nach Schnitzler & Muller 1998).

Mitteuropäische Autoren bevorzugen die Bezeichnung *Reynoutria japonica*, britische Autoren *Fallopia japonica* und japanische Autoren *Polygonum cuspidatum*.

B Der **Sachalin-Knöterich** *Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt ex Maxim) Nakai = *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt ex Maxim) Ronse Decraene

C Der **Himalaja-Knöterich** *Polygonum polystachyum* Wallich ex Meissner

Daneben sind Bastarde bekannt, von denen *Reynoutria x bohemica* (*Reynoutria japonica x Reynoutria sachalinensis*) abgesichert definiert ist (Bauer 1995, Alberternst *et al.* 1995). Morphologische und zytologische Merkmale von *Reynoutria japonica*, *Reynoutria sachalinensis* und *Reynoutria x bohemica* sind in der Arbeit von Alberternst *et al.* (1995) ausführlich dargestellt. Im ökologischen Verhalten ähneln sich die Arten weitgehend und werden im Folgenden gemeinsam behandelt. Auf Unterschiede in der Regenerationsfähigkeit weisen Bimova *et al.* (2003) hin.

3.2 Herkunft und Verbreitung

Reynoutria japonica ist in China, Japan und Teilen von Korea und Taiwan beheimatet und hat sich in den vergangenen 200 Jahren in Europa und Nordamerika ausgebreitet (Beerling *et al.* 1994).

Der Japanische Staudenknöterich wurde 1825 als Gartenpflanze in Europa eingeführt und auch als Tierfutter angebaut (Grossbritannien). Die Pflanzen bilden lange Ausläufer und besitzen eine ausserordentlich gute Regenerationsfähigkeit: Rhizome und Sprossstücke können wieder zu neuen Pflanzen austreiben. Dadurch konnten sich die eingeführten Pflanzen, zum Beispiel bei Erdbewegungen oder Grünab-

raumdeponierung, rasch ausbreiten. Zuerst breitete sich der japanische Staudenknöterich in Flusstälern aus, wo Rhizomstücke bei Hochwasser verfrachtet werden und ufernah neue Bestände gründen. In den letzten Jahrzehnten erfolgte die Ausbreitung auf Ruderalstandorte wie Bahngleise oder Strassenböschungen (nach Hartmann *et al.* 1994).

Bauer (1995) und Beerling *et al.* (1995) beschreiben die Verbreitung der neophytischen Knötericharten in Europa: *Reynoutria japonica* ist heute in ganz Europa mit Ausnahme des Mittelmeergebietes weit verbreitet. *Reynoutria sachalinensis* ist seltener und findet sich hauptsächlich in West- und Mitteleuropa. Der Sachalin-Knöterich kann noch in Höhenlagen vorkommen, die für den Japanischen Staudenknöterich aus wärme-klimatischen Gründen ausfallen. Der wenig untersuchte Himalaya-Knöterich wurde in Grossbritannien, in der Bretagne, vereinzelt in Deutschland, in Österreich und auch vereinzelt in der Schweiz gefunden (Hartmann *et al.* 1994).

3.3 Morphologie

Reynoutria japonica ist eine ausdauernde (mehrjährige), klonal wachsende Pflanze. Oberirdisch bildet sie jedes Jahr neue Sprosse. Unterirdisch sind lange Ausläufer (Rhizome) und Knollen zur Nährstoffspeicherung vorhanden (Abbildung 1). Der unterirdische Teil der Pflanze macht den grösseren Anteil aus: im Mittel 65 % der Gesamtbiomasse (Tabelle 1). Das Verhältnis von oberirdischer zu unterirdischer Biomasse streut im Untersuchungsgebiet von Adler (1993) zwischen 1:1.2 und 1:4.4.

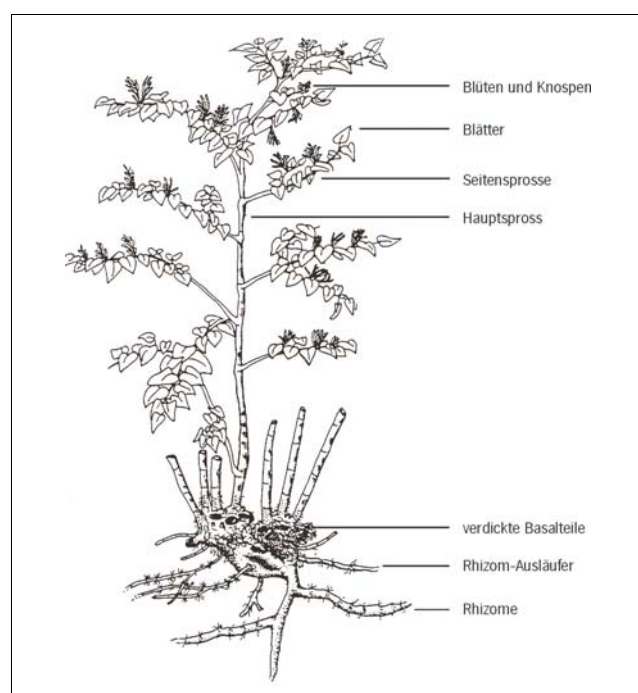


Abbildung 1:
Bau des Japanischen Staudenknöterichs (nach Adler 1993).

Tabelle 1 Anteile der einzelnen Pflanzenteile an der Gesamtbiomasse (Adler 1993).

Pflanzenteil	Gewichts-%
oberirdische Organe	
• Blüten+Knospen	1%
• Blätter	11%
• Sprosse	23%
total oberirdische Organe	35%
unterirdische Organe	
• verdickte Basalteile	21%
• Rhizome < 1 cm Ø	21%
• Rhizome 1–2 cm Ø	19%
• Rhizome > 2 cm Ø	4%
total unterirdische Organe	65%
Verhältnis oberirdische zu unterirdischer Biomasse 1:1.9	

Spross

Die Sprosse wachsen bogig und verzweigt und können über 3 m hoch werden (Adler 1993, Hayen 1995, Forman & Kesseli 2003, Alberternst *et al.* 1995). Sie haben an der Basis einen Durchmesser von 0.3–3 cm (Hayen 1995), sind hohl, unverholzt und in Knoten und Internodien gegliedert. Die Sprosse entspringen meist büschelförmig den verdickten Basalteilen und wachsen im Mai unter günstigen Witterungsbedingungen (feucht-warm) bis zu 10 cm pro Tag (Vogg 1919) oder 110 cm pro Woche (Kretz 1995). Es bildet sich ein dichtes Blätterdach, durch das nur wenig Licht an die Bodenoberfläche dringt.

Die oberirdisch jährlich produzierte Biomasse ist beträchtlich und erreicht bis zu 9 kg Frischgewicht pro m² oder 2.3 kg Trockengewicht pro m² (Adler 1993). Im Herbst sterben die oberirdischen Triebe ab. In den unterirdischen verdickten Basalteilen sind die Knospen für den Austrieb im nächsten Frühjahr angelegt. In den Sprossen werden grosse Mengen an Stärke gespeichert.

In seiner ursprünglichen Heimat wächst der Staudenknöterich weniger üppig: Japanische Autoren geben eine Höhe von 50–150 cm (Ohwi 1984) oder 25–30 cm (Suzuki 1994) an.

Verdickte Basalteile

Am Übergang vom Spross zu den Rhizomen befinden sich die so genannten verdickten Basalteile. Sie wiegen bis zu 2–3 kg pro Pflanze und dienen der Nährstoffspeicherung (Adler 1993). An den Basalteilen werden die Knospen für den Austrieb im Folgejahr angelegt oder ruhende Knospen, die nach einem Schnitt wieder austreiben können.

Rhizome (Ausläufer)

Die Rhizome entspringen den verdickten Basalteilen. Sie haben je nach Alter einen Durchmesser von wenigen mm bis 5 cm (Hayen 1995) und sind wie der oberirdische Spross in Knoten und Internodien gegliedert. Die Internodien haben eine Länge von durchschnittlich etwa 2 cm, im Maximum 8 cm (Hayen 1995) Die Rhizome wachsen hauptsächlich in die Horizontale reichen aber dennoch in eine

Tiefe von mehr als 70 cm (Hagemann 1995). Floraweb gibt sogar eine Tiefe von 2 Metern an. Bei Pflanzen im Gleisbereich des Zürcher Hauptbahnhofs wurden dicke Rhizome bis in eine Tiefe von 1 m gefunden (Benz 1998, Abbildung 2). Die Rhizome werden mehrere Meter lang. Ein Individuum kann so einen Durchmesser von bis zu 15 Metern erreichen (Hagemann 1995). Pro Quadratmeter werden im Untersuchungsgebiet von Adler (1993) 123 m bzw. 160 m Rhizome gebildet. Die Biomasse der Rhizome erreicht bis zu 16.4 kg/m² Frischgewicht (5.1 kg/m² Trockengewicht, Adler 1993). Im Knotenbereich liegen Knospen, die austreiben können, wenn Rhizomstücke von der Mutterpflanze getrennt werden. Die jungen, dünnen Rhizome dienen als Ausläufer der Besiedlung neuer Flächen. Die Rhizome können sich an ihrem Ende aufrichten, den Erdboden durchstossen und Sprosse bilden. Dadurch werden so genannte Polykormone, d.h. durch ein unterirdisches System zusammenhängende Pflanzen, gebildet. Rhizome von mehr als 1 cm Durchmesser findet man nur dort, wo auch oberirdische Sprosse vorhanden sind (Hayen 1995). Die Wachstumsgeschwindigkeit der Ausläufer liegt in der Größenordnung von 0.5 m pro Jahr (Adler 1993, Hayen 1995), auch 1 m pro Jahr wurde beobachtet (Hagemann 1995). Die dicken, älteren Rhizome sind brüchig und können bei Erdbewegungen leicht verdriftet werden. Die Rhizome enthalten viel Stärke und dienen zusammen mit den verdickten Basalteilen der Reservestoffspeicherung.



Abbildung 2:
Dicke Rhizome können weit über 1 Meter
tief in den Boden dringen
(Foto Benz Gartenbau, Dietl kon).

Wurzeln

Die Wurzeln entspringen hauptsächlich an den Knoten der Rhizome und können an älteren Rhizomen bis 30 cm lange Wurzelsysteme bilden (Hagemann 1995).

Aufbau und Entwicklung der Pflanzen im Jahresverlauf

Hayen (1995) und andere Autoren (z. B. Konold *et al.* 1995, Kretz 1995, Diaz-Buschmann 1997) beschreiben den Aufbau und die Entwicklung der Sprosse und Rhizome: Ende März bis Mitte April treiben alle Sprosse fast gleichzeitig aus Rhizomknospen aus. Bei Spätfrösten im April oder Mai sterben die oberirdischen Triebe ab, treiben aber kurz darauf wieder aus. Die Sprosse schießen mit Zuwachsraten von 10 cm Tag in die Höhe und schliessen ihr Längenwachstum bis Ende Mai praktisch ab. In der ersten Phase des Austriebs (bis 1 m Höhe) werden noch kaum Blätter entfaltet. Die Blattbildung und der Austrieb von Seitenästen erfolgt grösstenteils nach Abschluss des Längenwachstums. Trotzdem beträgt der Deckungsgrad Ende Mai bereits 100%. Im Verlauf des Jahres fallen die unteren Blätter des Sprosses ab und die Blattmasse entfällt hauptsächlich auf die Blätter der Seitenäste. Die Blütenbildung setzt ab Ende Juli an den Blattachsen der Hauptsprosses und der Seitenäste ein. Die Blühphase dauert von Mitte August bis September, danach werden die Früchte gebildet. Im Herbst nach dem ersten Frost sterben die oberirdischen Triebe ab.

Das Rhizomwachstum beginnt im Frühjahr und wird in der gesamten Vegetationsperiode fortgesetzt. Es werden etwa 50 cm Rhizomlänge mit 6 Internodien gebildet. Junge Internodien sind unverholzt und verholzen mit dem Alter sukzessive. Gleichzeitig werden die Rhizome durch Einlagerung von Reservestoffen gestärkt. Der Rhizomdurchmesser sinkt mit dem Abstand zu den Sprossen, was zeigt, dass die Assimilate hauptsächlich sprossnah eingelagert werden.

Diaz-Buschmann (1997) führte Studien über die Translokation von Saccharose und Stärkespeicherung durch: Wenn die oberirdischen Sprosse ihr Wachstum beenden, etwa 4 Wochen nach dem Austrieb, beginnt die Pflanze, überschüssige Assimilate als Stärke in den Sprossen zu speichern. Im Spätsommer, wenn die Assimilate nicht mehr für Blatt- und Blütenbildung benötigt werden, wird diese Stärke in Form von Saccharose durch das Phloem von den Sprossen in das unterirdische System geleitet und zur Erweiterung der Rhizome und Wurzeln verwendet. Die Untersuchungen von Price *et al.* (2003) zeigen ebenfalls, dass die Assimilate ab spätem Juni hauptsächlich zur Vergrößerung der Rhizome verwendet werden. Ab September erfolgt die Remobilisierung von den Sprossen in die Rhizome.

3.4 Verbreitung

Vegetative Verbreitung

Die Verbreitung von *Reynoutria japonica* findet hauptsächlich vegetativ über Ausläufer oder die Verfrachtung von Rhizom- oder Sprosstücken statt. Am Rand eines Bestandes können Strecken von bis zu 1 m von den Rhizomen unterwandert werden. Die Rhizome können mehrere Jahre verbleiben, ohne oberirdische Sprosse auszubilden. Wenn es zum Austrieb von neuen Sprossen in diesem Bereich kommt,

hat sich also bereits ein Rhizomnetz von mehreren Metern Gesamtlänge ausgebildet (Hayen 1995).

Entlang von Flüssen werden freigespülte Rhizomstücke verfrachtet, die entlang des Gewässers neue Bestände gründen können. Durch menschliche Aktivitäten wie Bauarbeiten mit Humusverschiebungen oder Abtransport von Schnittgut werden die austriebsfähigen Rhizom- oder Sprossfragmente verlagert. Bei unsachgemäßem Transport, Lagerung oder Neuverwendung treiben die Pflanzenteile wieder aus und bilden einen neuen Bestand.

Neue Schosse können aus Rhizomfragmenten von nur 0.7 g Frischgewicht spriessen (Brock & Wade 1992). Gemäss Adler (1993) sind Rhizomfragmente von 1–1.5 cm Länge austriebsfähig, sofern sie mindestens einen Knoten aufweisen. Im Experiment von Brabec & Pysek (2000) etablierten sich bis zu 75 % der unter der Mulchschicht ausgelegten, 2.5–5 cm langen Rhizomstücke von *Reynoutria japonica*.

Auch Sprosstücke können wieder regenerieren, allerdings im Allgemeinen etwas schwächer als Rhizomfragmente. De Waal (2001) stellt die Resultate verschiedener Untersuchungen zur Regenerationsfähigkeit von Sprosstücken bei *Reynoutria japonica* zusammen: Sprosstücke von 20–30 cm Länge mit mindestens zwei intakten Knoten sind regenerationsfähig (Brock & Wade 1992, Brock *et al.* 1995). Sogar vegetative Regeneration von abgefallenen Blättern wurde beobachtet (Brabec 1997). Im Experiment von De Waal (2001) wurde untersucht, ob auch kleinere Sprosstücke, wie sie nach dem Schreddern anfallen, noch austreiben: 4 cm lange Sprossfragmente mit einem ganzen oder einem halbierten Knoten schossen wieder aus. Internodienmaterial bildete keine Schosse, höchstens in Einzelfällen Wurzeln. Im Experiment von Bimova *et al.* (2003) zeigt sich ein Unterschied in der Regenerationsfähigkeit von *R. japonica* und *R. sachalinensis*: Bei *Reynoutria sachalinensis* regenerieren Sprosstücke besser als Rhizomstücke. Die höchste vegetative Regenerationsfähigkeit wurde bei *R. x bohemica* gefunden (61%; *R. japonica* 39%, *R. sachalinensis* 21%)

Besonders gut regenerieren Sprosstücke im Wasser (63%) oder vollständig eingegraben (60%, Brock *et al.* 1995). Bimova *et al.* (2003) erreichten ebenfalls höchste Regeneration im Wasser (50%), eine etwas tiefere Regeneration bei horizontal auf die Erde platzierten Pflanzenteilen (47%) und etwas tiefere Werte für eingegrabene (38%) oder in den Boden gesteckte Stücke (34%). Einige Autoren konnten keine Regeneration von Sprosstücken erzeugen, die sie auf die Substratoberfläche legten (Brock *et al.* 1995). De Waal (2001) beobachtete hingegen Regeneration auf feuchtem Kompost.

Die Sprosteile regenerieren schlechter, wenn sie im Frühling (Mai/Juni) geschnitten werden, da zu diesem Zeitpunkt noch zu wenige Nährstoffe aufgenommen wurden und der Spiegel des Wachstumshormons für die Wurzelbildung (Auxin) zu tief liegt (De Waal 2001). Ausserdem sind die Sprosse zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausgehärtet und deshalb anfälliger auf das Austrocknen (De Waal 2001). Die

beste Regeneration wird im Sommer beobachtet, wenn die Wachstumsbedingungen generell am besten sind und die höchsten Wachstumsraten beobachtet werden (De Waal 2001, Brock *et al.* 1995).

Fruchtbildung und Samenkeimung

Reynoutria japonica bildet im Spätsommer (Juli bis September) zahlreiche, kleine Blüten, die Bienen, Wespen und Fliegen anziehen (Dr. John Bailey). Die Pflanze ist funktionell zweihäusig und eingeschlechtig: Es gibt «männliche» («staminate») Individuen mit Staubblättern und reduziertem Fruchtknoten und «weibliche» («karpellate») mit Fruchtblättern und reduzierten Staubblättern. Selten treten vollständige Blüten auf (Zwitterblüten). Bailey (1994) fand auf den Britischen Inseln ausschliesslich «weibliche» Individuen. Eine Kartierung von Adler (1993) in Deutschland zeigt, dass hauptsächlich, teilweise ausschliesslich, «weibliche» Individuen auftreten. Die meisten Blüten fielen verwelkt und ohne Fruchtausatz zu Boden. Conolly (1977) nimmt an, dass der Mangel an Pollen die Ursache für den geringen Fruchtausatz ist. Forman & Kesseli (2003) widersprechen der Theorie, dass aus diesem Grund Samenbildung generell die Ausnahme darstellt. In ihrem Untersuchungsgebiet in New England (USA) beobachteten sie immer mindestens eine männlich-fertile Pflanze in Bestäubungsdistanz der weiblichen Pflanzen. Bei den Untersuchungen Adler (1993) entwickelten einige Blüten auch ohne Bestäubung zahlreiche Früchte. Es ist allerdings nicht geklärt, ob diese fertile Samen enthalten. Oft werden nur Früchte gebildet, wenn «weibliche» und «männliche» Blüten in gemeinsamen Beständen vorkommen. Es gibt aber auch Bestände mit beiden Blütentypen, wo keine Fruchtbildung beobachtet wurde, sowie Bestände mit ausschliesslich «weiblichen» Blüten, wo mittelmässig starker Fruchtausatz gefunden wurde. Anscheinend spielen auch die Witterungs- oder klimatische Bedingungen eine Rolle: Vermehrte Fruchtbildung wurde nach heissen, trockenen Sommern (Conolly 1977) oder im sommerwarmen Oberrheingebiet (Adler 1993) beobachtet.

Im Freiland findet man äusserst selten Keimpflanzen von *Reynoutria japonica*, deshalb haben verschiedene Autoren die Keimfähigkeit von im Freiland gesammelten Samen getestet. Keimversuche im Gewächshaus (Adler 1993 Deutschland, Forman & Kesseli 2003 USA), im Freiland (Forman & Kesseli 2003) oder Samenbankversuche (Nakagoshi 1985) ergaben je nach Versuchsanordnung (z.B. verschiedene Substrate) Keimraten von 50–100 %, der häufigste Wert liegt um 70%. Die Keimlinge erwiesen sich im Gewächshaus als anfällig gegenüber Trockenheit (Adler 1993). Im Gewächshausexperiment von Forman & Kesseli (2003) entwickelten sich 71% der Keimlinge zu erwachsenen Pflanzen, von denen 78% im gleichen Jahr Blüten bildeten. Die Samen keimten sofort (keine Dormanz oder Kältephase notwendig) und winterliche Bedingungen beeinträchtigten die Keimfähigkeit nicht. Die Samen keimten unter der Erde unwesentlich besser als auf der Erde. Die gleichen Autoren beobachteten Keimlinge am natürlichen Standort: An einem dicht bewachsenen Standort verschwanden die Keimlinge in kurzer Zeit in der umgebenden Vegetation und starben ab. An einer weniger dicht von Japanischem Staudenknöterich besiedelten Stelle entwickelten sich Keimlinge in einem sehr trockenen Sommer, allerdings viel langsamer als im Gewächshaus beobachtet. Eine andere Pflanze erzeugte über 100 Keimlinge, die im Laufe der Saison mit

aufkommendem Schatten teilweise abstarben. Nach dem ersten Winter waren noch 4 Keimlinge vorhanden, die sich weiter entwickelten. Adler (1993) fand im Freiland kräftige Keimpflanzen auf einer Kiesbank. Frühfröste scheinen die Entwicklung der Sämlinge zu behindern (Kosmale 1981). Die Autoren Forman & Kesseli (2003) und Adler (1993) schliessen, dass sich in der Natur Keimlinge nur unter optimalen Bedingungen (direkte Besonnung, günstige Temperatur, gute Wasserversorgung und keine Konkurrenz) entwickeln können, wobei die Temperatur die kleinste Rolle spielt.

Aus all diesen Experimenten und Beobachtungen kann geschlossen werden, dass die Etablierung aus Samen gegenüber der vegetativen Verbreitung sicher eine vernachlässigbare Rolle spielt. Die Bedeutung der Samenbildung liegt eher im evolutiven und ökologischen Aspekt der sexuellen Verbreitung (Forman & Kesseli 2003). Bei der Bildung von Hybriden können aggressivere Typen entstehen, die einen Konkurrenzvorteil gegenüber den Elternpflanzen vorweisen. So wird z. B. *Reynoutria x bohemica* im Vergleich zu *Reynoutria japonica* als vitaler beschrieben (Konold *et al.* 1995).

3.5 Ökologische Faktoren

Verschiedene Autoren haben die Standortbedingungen und deren Einfluss auf die Vitalität von *Reynoutria japonica* beobachtet (zusammengestellt in Hartmann *et al.* (1994) und Beerling *et al.* (1995).

Boden	Der Japanische Staudenknöterich kommt in Mitteleuropa auf sehr unterschiedlichen Böden vor, scheint jedoch ein schwach saures (kalkarmes) Milieu zu bevorzugen. Die Pflanze ist schwermetalltolerant.
Licht	Am häufigsten wächst der Japanische Staudenknöterich an voll besonnener Lage. Auch im Halbschatten, z.B. in aufgelichteten Wäldern, gedeihen die Pflanzen noch sehr gut. In dichtem Wald hingegen ist der Wuchs nur noch kümmerlich.
Temperatur	<i>Reynoutria japonica</i> meidet in Mitteleuropa Lagen mit extremen Klimabedingungen. Spätfröste können die jungen Triebe zerstören und Frühfröste im Herbst schädigen die Fruchtbildung (siehe auch Kap. Verbreitung). Nach mehreren aufeinander folgenden warmen Wintern beobachteten Conolly (1977) und Kosmale (1981) eine Ausbreitung durch Keimpflanzen.
Wasser	<i>Reynoutria japonica</i> bevorzugt Standorte, die grundwassernah, aber überflutungsfrei sind. Die Wuchskraft ist am besten auf durchlässigen Böden mit guter Wasserführung, es werden jedoch auch trockenere Ruderalstandorte besiedelt. In einem Feuchtgebiet im Kanton Aargau stoppte die Ausbreitung des Japanischen Staudenknöterichs in einem nassen Bereich mit Schilf.

Nährstoffe	Der Japanische Staudenknöterich ist keineswegs auf nährstoffreiche Standorte beschränkt, wächst dort aber üppiger. Regeneration findet auch auf sehr armen Böden statt (Bimova <i>et al.</i> 2003).
Konkurrenz	<p>Durch sein rasches Höhenwachstum und seine mächtigen Rhizome ist <i>Reynoutria japonica</i> ein starker Licht- und Wurzelkonkurrent.</p> <p>In etablierten Knöterichbeständen können wegen Lichtmangels keine anderen Gehölze mehr aufkommen. Sukopp & Sukopp (1988) beschreiben einen Knöterichbestand an einer Eisenbahnböschung in Deutschland, wo <i>Reynoutria japonica</i> stellenweise von der Waldrebe (<i>Clematis vitalba</i>) überwuchert wurde. Dadurch wurde der Bestand deutlich in seiner Vitalität gehemmt. In der Folge siedelten sich Schwarzer Holunder (<i>Sambucus nigra</i>) und Salweiden (<i>Salix caprea</i>) an. Es gelang dem Knöterich aber stellenweise, das unter seinem Eigengewicht zusammengebrochene <i>C. vitalba</i>-Geflecht wieder zu überschirmen.</p>
Natürliche Feinde	Der Japanische Staudenknöterich wird von Schafen, Ziegen, Rindern, Pferden und Eseln gerne gefressen, Sperlinge (<i>Passer domesticus</i>) fressen die Samen (Beerling <i>et al.</i> 1995). Von Pflanzen fressenden Insekten oder Krankheitserregern ist der Japanknöterich nur selten befallen. Als eingeführte Pflanze ist sie in Europa weitgehend vor Feinden geschützt, da die natürlichen Antagonisten offensichtlich nicht mit eingeschleppt wurden. Einige unspezifische Insekten, z.B. Blattläuse oder Raupen wurden in Grossbritannien auf <i>R. japonica</i> gefunden (Beerling <i>et al.</i> 1995). In einem Gewächshausexperiment hatte Beerling <i>et al.</i> (1994) Probleme mit einem Rüsselkäfer (<i>Othiorhynchus sulcatus</i> , Curculionidae): Die Larven fressen die Wurzeln und Rhizome, die Adulten die Blätter der Versuchspflanzen. Einige Pilze sind in Europa mit <i>Reynoutria japonica</i> assoziiert: Diaz & Hurlle (1995) fanden 19 Pilzarten auf <i>Reynoutria japonica</i> (9 in Japan, 5 in Grossbritannien und 5 in Deutschland).

4 Bekämpfung

Viele Versuche wurden unternommen, den Japanischen Staudenknöterich durch Konkurrenz, mechanische Massnahmen (Abdecken, Ausreissen, Ausgraben, Schnitt, Beweidung) oder Herbizide zu bekämpfen. An Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung wird geforscht. Im Folgenden werden Methoden, die an Bahnanlagen Verwendung finden könnten, vorgestellt. Methoden, die speziell im Flussbau diskutiert werden (z.B. Bodenabtrag, Sieben, Kompostieren der rhizomhaltigen Böden) sind in Walser (1995) zusammengestellt.

4.1 Herbizid

Viele Versuche, den Japanischen Staudenknöterich mit Herbiziden zu eliminieren, sind dokumentiert. Dabei wurden unterschiedliche Wirkstoffe und Spritzmittelkonzentrationen, verschiedene Anwendungszeitpunkte und Applikationsmethoden ausgetestet. Die Resultate sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Resultate verschiedener praktischer Versuche zur chemischen Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs. Quellen: **1** Baudepartement des Kantons Aargau (Huber, 2001; Müller, 2004), **2** SBB (Müller 1997; Müller 1998), **3** SBB (Bollens 2004), **4** SBB (2003), **5** Beerling (1990), **6** Diaz-Buschmann (1997)

Wirkstoff	Produkt	Dosierung	Methode	Zeitpunkt	Wirkung	Quelle
Glyphosat		0.30 g/m ²	Handspritze	Mai	Biomassenreduktion von 60% gegenüber Kontrolle.	5
Glyphosat		0.30 g/m ²	Handspritze	Mai und Juni	Biomassenreduktion von 80% gegenüber Kontrolle.	5
Glyphosat	Roundup	1% (3.6 g/l)	Rückenspritze, Rapsöl als Netzmittel	Mai	55 % der Stöcke treiben im Folgejahr wieder aus, alle mit Krüppelwuchs	1
Glyphosat	Roundup	2% (7.2 g/l)	Rückenspritze, Rapsöl als Netzmittel	Ende Juni	wenig Schädigungssymptome, normales Austreiben im Folgejahr	1
Glyphosat	Roundup	2% (7.2 g/l)	Rückenspritze, Rapsöl als Netzmittel	Anfang Oktober	75 % der Stöcke treiben im Folgejahr wieder aus, alle mit Krüppelwuchs	1
Glyphosat	Roundup	0.09 g Glyphosat/l	1% Etalfix als Haftmittel.	Juni/ Oktober, 5mal	Anzahl Stöcke verringert (von ca. 60 auf ca. 10)	4
Glyphosat	Roundup	15% (54 g/l); 0.27 g/m ²	Rückenspritze	Juli	3m hoher, kräftiger Bestand auf wenige Büschel reduziert	3
Glyphosat	Roundup	15% (54 g/l); 0.27 g/m ²	Rückenspritze	Juli	Bestand deutlich geschwächt (weniger Sprosse)	3
Glyphosat	Roundup	1.25% (4.5 g /l); 0.18 g/m ²	fahrbarer Spritzbalken, ¼ % Rapsöl	Mitte Juli	Im Folgejahr kein Effekt	6

Wirkstoff	Produkt	Dosierung	Methode	Zeitpunkt	Wirkung	Quelle
Glyphosat	Roundup	1.25% (4.5 g /l); 0.18 g/m ²	fahrbarer Spritzbalken, ¼ % Rapsöl	August oder September	Im Folgejahr Reduktion des Deckungsgrades um fast 100%, Bestandeshöhe 20 cm (Kontrolle 130 cm)	6
Glyphosat	Toxer Total	15% (54 g/l)	Rückenspritze	Mitte September	Spitzenblätter abgestorben	2
Glyphosat	Roundup	1:1	mit dem Pinsel direkt auf die Wurzelstöcke	Anfang September	10% der Stöcke trieben im Folgejahr wieder aus, alle mit Krüppelwuchs ¹	1
Glyphosat	Roundup	1:1	Injektion mit einer Spritze von 2 ml pro Stängel	Anfang Oktober	5% der Stöcke trieben im Folgejahr wieder aus, alle mit Krüppelwuchs ¹	1
Glyphosat	Glyphosate 360 S	3.9 g a.i./m ²	Injektion in das unterste Internodium	Ende September	Mitte Oktober alle Sprosse braun	2
Dichlobenil	Benil G	0.5 g je Pflanze	Blackengewehr: Ein Schuss	Anfang September	70% Austrieb, 10 % Krüppelwuchs ¹	1
2,4-D Amin		0.28 g a.i./m ²	Handspritze	Mai und Juni	Biomassenreduktion von 90% gegenüber Kontrolle	5
2,4 D = Dichlor- phenoxy- essigsäure	Herbexit	1%	Rückenspritze, Rapsöl als Netzmittel	Ende Juni	wenig Schädigungs- symptome, normales Austreiben im Folgejahr	1
Triclopyr	Garlon 3A	1%	Rückenspritze, Rapsöl als Netzmittel	Ende Juni	wenig Schädigungs- symptome, normales Austreiben im Folgejahr	1
2,4 D = Dichlor- phenoxy- essigsäure	Herbexit	1:1	mit dem Pinsel direkt auf die Wurzelstöcke	Anfang September	40% Austrieb, davon 20% Krüppelwuchs ¹	1
Fluroxypyr	Starane 180	1:1	mit dem Pinsel direkt auf die Wurzelstöcke	Anfang September	30% Austrieb, 15 % Krüppelwuchs ¹	1
Triclopyr	Garlon 3A	1:1	mit dem Pinsel direkt auf die Wurzelstöcke	Anfang September	30% Austrieb, 15 % Krüppelwuchs ¹	1
Clopyralid	Lontrel 100	1:1	mit dem Pinsel direkt auf die Wurzelstöcke	Anfang Oktober	25% der Stöcke trieben im Folgejahr wieder aus, alle mit Krüppelwuchs ¹	1
Clopyralid	Lontrel 100	1:1	Injektion mit einer Spritze von 2 ml pro Stängel	Anfang Oktober	25% der Stöcke trieben im Folgejahr wieder aus, alle mit Krüppelwuchs ¹	1

Ein häufig verwendeter Wirkstoff ist Glyphosat (N-Phosphonomethylglycin = Iso-propylamin). Diese Substanz ist in verschiedenen Handelspräparaten in unterschiedlicher Konzentration enthalten, unter anderem in Round-up mit 360 g Wirkstoff pro Liter. Glyphosat wirkt als nicht selektives, systemisches Herbizid, das nach der Aufnahme über die Blätter in die ganze Pflanze transloziert wird.

¹ verkürzte Sprosse, verkürzte Internodien, schmale, kurze Blätter

Die Angaben bezüglich Wirkstoffkonzentrationen und Verdünnungen in den verwendeten Quellen sind für einen direkten Vergleich leider nicht immer ausreichend.

Spritzen

Beerling (1990) führte Wirksamkeitsexperimente mit ein- oder zweimaliger Anwendung von Glyphosat (480 g Wirkstoff pro Liter), bzw. zweimaliger Anwendung von 2,4-D Amin (Wirkstoff 465 g Diethanolamin pro Liter) durch. Die erste Applikation erfolgte Anfang Mai, die zweite Mitte Juli. Die Biomasse war 14 Wochen nach der ersten Behandlung im Vergleich zur Kontrolle um 60 % (Glyphosat einmalig) bzw. 80 und 90% (Glyphosat und 2,4-D Amin zweimalig) reduziert. Die zweimalige Anwendung von 2,4-D Amin mit 0.79 g a.i. (Aktive Substanz) pro m² reduzierte die Biomasse wirksamer als 0.22 g a.i./ m² Glyphosat. In ähnlichen Experimenten mit einer einmaligen Gabe von Glyphosat trieben die Pflanzen im Folgejahr wieder aus (Scott & Marrs 1984), wobei sich die Sprossdichte von 40 auf 23 Sprosse/m² reduzierte.

Diaz-Buschmann (1997) untersuchte den Zusammenhang zwischen den Entwicklungsstadien von *Reynoutria japonica* zum Zeitpunkt einer Herbizidapplikation und dem Bekämpfungserfolg. Sie stellte fest, dass in der zweiten Hälfte des Sommers, wenn das Sprosswachstum und die Blattbildung weitgehend abgeschlossen sind, das Herbizid mit den Assimilaten im Phloemstrom in die Rhizome verlagert werden kann. Bei Freilandversuchen in jungen Beständen (1 Jahr alt) wurde gezeigt, dass eine Anwendung von Glyphosat Mitte Juli im Folgejahr keinen Effekt mehr zeigte. Hingegen konnte mit einer Spritzung im August oder September der Deckungsgrad des Bestandes im Folgejahr auf nahezu 0% und die Bestandeshöhe auf 20 cm (Kontrolle 130) cm reduziert werden. Das Resultat war noch besser, wenn die Bestände 6 Wochen zuvor gemäht wurden. Die Wirkung der Bekämpfung zeigte sich auch in den unterirdischen Pflanzenteilen: Nach Glyphosat-Behandlung mit vorgängiger Mahd verfügte ein Bestand nur noch über 0.8 kg Wurzel- und Rhizombiomasse (Kontrolle 5.9 kg). In etablierten, etwa 15 Jahre alten Beständen, waren die Resultate ähnlich, die Effekte jedoch etwas schwächer. Es wird deshalb empfohlen, im August oder September zu spritzen, am besten nach vorgängiger Mahd (6 Wochen zuvor). Price *et al.* (2003) unterstützen diese Empfehlung durch ihre Versuche mit ¹⁴C-markierten Assimilaten: Um Glyphosat bestmöglich in die Rhizome zu transferieren, muss das Herbizid ab Mitte Sommer appliziert werden.

Versuche von Kretz (1995) mit verschiedenen Herbiziden (Wirkstoffe MCPA/Dicamba, Dalapon, Glufosinateammonium, Thifensulfuron-Methyl, Glyphosat) zeigten nur im Falle von Glyphosat befriedigende Wirkung. Auf den behandelten Flächen wurden im Folgejahr in geringer Zahl «verkrüppelte, nestartig stark verzweigte Pflanzen mit gelblichen, missgestalteten Blättern» beobachtet. Der Autor empfiehlt eine Anwendung im Juli/August nach ein- oder zweimaliger Mahd bei einer Wuchshöhe von ca. 60 cm. Danach sollten die behandelten Flächen gemäht, abgeräumt und eingesät werden.

Die Kantonale Zentralstelle für Pflanzenschutz Aargau führte in den Jahren 1995 bis 2002 in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt Zürich-

Reckenholz verschiedene Versuche zur chemischen Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs durch (Huber, 2001; Müller 2004). Getestet wurden 6 verschiedene Wirkstoffe, appliziert mit der Rückenspritze, einem Pinsel und einer Spritze (Injektion; siehe folgendes Kapitel), zeitlich gestaffelt im Frühjahr und im Herbst. Bei den beprobten Wirkstoffen waren 2,4-D (Dichlorphenoxyessigsäure) und Dichlobenil grundsätzlich wenig erfolgreich. Die Wirkstoffe Fluroxypyr, Clopyralid und Triclopyr zeigten vorab bei der Injektion mit einer Spritze je nach Zeitpunkt ansprechende Wirkungsgrade. Die einmalige Spritzung mit einer 1%igen Glyphosatlösung auf das Blatt brachte mittelmässige Wirkungsgrade zwischen 0 und 50%. Erst Mehrfachapplikationen über 2–3 Jahre auf 20–30 cm hohe Pflanzen erbrachten befriedigende Resultate.

Bei Kilchberg konnte ein Bestand an einer Bahnböschung durch 5malige Behandlung mit Glyphosat (360 g Wirkstoff/Liter) von ca. 60 Stöcken auf ca. 10 Stöcke reduziert werden (SBB 2003). Die Pflanzen wurden jeweils im Oktober und im Juni gespritzt. Gleichzeitig wurden als Konkurrenten Stauden und Forstgehölze gepflanzt (siehe auch Kap. «Konkurrenz»). Es wurden immer wieder neue Stöcke beobachtet, die als Neuaustriebe aus dem Rhizomgeflecht interpretiert wurden. Einige Stöcke zeigten während der gesamten Beobachtungszeit Kümmerwuchs. Sie haben nie grosse Blätter entwickelt, haben sich aber auch nicht zurückgezogen, woraus geschlossen werden kann, dass bei dieser Form die Blätter zu klein sind für eine effektive Herbizidaufnahme und -weiterleitung.

An der Bahnlinie nach Winterthur wurden 2001–2003 verschiedene Bestände mit Glyphosat (360 g Wirkstoff/Liter) behandelt (mit der Rückenspritze auf die Blätter; Bollens 2004). Ein Bestand in einer jungen Hecke konnte nach 2jährigen Mähversuchen durch eine Glyphosat-Applikation deutlich stärker geschwächt werden als mit der Mahd. Auf dem gleisnahen Kiesstreifen konnten Einzelstöcke durch das Herbizid abgetötet werden. Es trieben jedoch an anderen Stellen immer wieder neue Stöcke aus. Ein üppiger, über 3 m hoher Knöterichbestand in einem Garten wurde mehrmals jährlich gejätet, was den Bestand nicht zu schwächen schien. Ein 1maliger Herbizideinsatz brachte diese Sprosse jedoch zum Verschwinden. Im Folgejahr trieben vereinzelt sehr dichte, kurze Triebbüschel aus, die nun weiter bekämpft werden müssen.

Bei Andelfingen konnte die Ausbreitung eines sehr kräftigen Bestandes in den Bankettbereich der Bahnlinie verhindert werden, indem das Bankett 1mal jährlich mit Glyphosat behandelt wurde (mündl. Mitteilung H. Schenk, SBB).

Es werden Herbizidkonzentration zwischen 0.5%–2% (1.8–7.2 g Glyphosat pro Liter Spritzlösung; Huber (2001) und 15% (54 g Glyphosat pro Liter Spritzlösung; BAV 2001) empfohlen. Gemäss Herstellerangaben können mit Konzentrationen über 1.5% keine Wirkungssteigerungen erreicht werden; sie wirken sogar kontraproduktiv, weil die Blätter schneller abfallen (Müller 2004). Die Aufnahme der Spritzlösung kann verbessert werden (und somit der Herbizidverbrauch verringert,

wenn der Spritzbrühe Rapsöl beigemischt wird. Bei Sommertemperaturen über 22° C sollte allerdings darauf verzichtet werden, da sonst die Blätter rascher abfallen.

Problematisch bei der Blattapplikation von Totalherbiziden wie Glyphosat ist der Umstand, dass die umliegende Vegetation abgetötet wird. Es treten Folgeschäden wie Erosion, Auswaschung und Problemverunkrautung auf (Huber, 2001; Bollens 2004). Neben der Art des Herbizides, dem Applikationszeitpunkt und der Wirkstoffkonzentration spielen andere Faktoren wie Witterungsbedingungen oder die Spritztechnik eine entscheidende Rolle. So fallen zum Beispiel die Blätter bei hohen Temperaturen rascher ab und der Wirkstoff kann nicht vollständig in die unterirdischen Pflanzenteile transloziert werden (Müller 2004).

Injektion und Pinselanwendung

Hagemann (1995) versuchte die Bekämpfung von *Reynoutria japonica* mit der Injektion von systemischen Herbiziden. Die Injektion hat den Vorteil, dass die umliegende Vegetation nicht beeinträchtigt wird. Die Massnahme eignet sich deshalb besonders für Flächen mit schützenswerter Vegetation. Von den 3 erprobten handelsüblichen Herbiziden (mit den Wirkstoffen Glyphosat, 2,4-Dichlorphenoxypropionsäure und 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure) wurde nur mit Glyphosat ein nennenswerter Ferntransport in den Rhizomen beobachtet. Schädigungen liessen sich in 1.60 m in Wachstumsrichtung der Ausläufer und 0.95 m entgegen der Wachstumsrichtung von der Injektionsstelle beobachten. Für die weiteren Versuche wurde deshalb nur noch Glyphosat verwendet. Für die Injektionen wurde das Mittel 1:1 mit Wasser verdünnt, da diese Mischung gegenüber der unverdünnten Substanz flüssiger und damit besser zu injizieren war. Eine Mischung von 1:5 erreichte ein in geringem Masse verminderter Wirkungsgrad. Durch die Applikation wurden die wachsenden Pflanzenteile geschädigt, in der Regel entlang eines einzelnen Rhizomstranges und seiner Seitentriebe. Bereits ausgereifte Sprosse zeigten keine Schädigungen. Erst 2 Wochen nach der Behandlung konnten Schäden folgender Art beobachtet werden: Gelb verfärbte, verkrüppelte Blätter, nachwachsende Blätter klein, Verkürzung der Sprosse und hexenbesenartige Verzweigungen. Nach dem Mähen treiben die Versuchspflanzen wieder aus, bilden allerdings kleine Blätter und hexenbesenartige Sprosse (Abbildung 3). Erst im Laufe des Folgejahrs normalisierte sich der weitere Zuwachs langsam. Nach wiederholter Herbizidinjektion bildeten sich extrem gestauchte, reich verzweigte Sprosse von nur 1–5 cm Höhe mit winzigen Schuppenblättchen. In der Folgesaison zeigten solche Pflanzenabschnitte kein Lebenszeichen mehr, die Pflanzen wurden jedoch nicht vollständig abgetötet. Aufgrund der Resultate dieses Vorversuchs wurde ein verfeinertes Experiment geplant, bei dem die Triebe im Frühjahr bei einer Höhe von 40–50 cm ca. 10 cm über dem Boden abgeschnitten wurden und 1 ml Herbizid (1:1 verdünntes Roundup) in die Stümpfe gegeben wurde.

Abbildung 3:
Nach Herbizidanwendung veränderte Morphologie der Sprosse: Verkürzung, kleine Blättchen, büschelartiges Austreiben (Foto U. Bollens, asp Landschaftsarchitekten).



Die Versuche der Kantonale Zentralstelle für Pflanzenschutz Aargau erreichten die besten Resultate, d.h. Wirkungsgrade bis zu 95%, wenn der Wirkstoff Glyphosat mit einer 1:1 Verdünnung einmalig mit dem Pinsel aufgetragen oder in die Stängel injiziert wurde (Huber, 2001). Somit brachte eine einmalige Behandlung mit den Varianten «Pinsel» oder «Injektion» bereits ein gleich gutes Resultat wie Spritzanwendungen über 2–3 Jahre. Mässige Wirksamkeit wurde erreicht, wenn Triclopyr oder Clopyralid 1:1 verdünnt mit dem Pinsel auf den Wurzelstock aufgetragen wurden, oder mit letzterer Substanz bei Stängelinjektion.

Ein Versuch mit Injektionen und Einfüllen von Herbizid in Stängelstümpfe zeigte das beste Resultat beim Einfüllen von Glyphosat in abgeschnittene Stängel (Müller 1997).

Das Bestreichen des Wurzelstocks mit dem Pinsel oder die Injektion mit einer Spritze ist schonend für die umgebende Vegetation. Der Arbeitsaufwand ist allerdings rund 10–15mal höher als bei Applikation auf das Blatt, hingegen spielt der Zeitpunkt der Applikation (Frühjahr/Herbst) keine Rolle (Huber 2001). Ein Vorteil von 2,4-D Amin ist, dass es selektiv Zweikeimblättrige angreift, sodass die Grasdecke erhalten bleibt. Diese Substanz ist in der Schweiz allerdings nicht zugelassen.

4.2 Schnitt

Verschiedene Feldbeobachtungen und Experimente zeigen, dass mit häufigem Mähen die Vitalität der Bestände gesenkt werden kann. Es muss allerdings über mehrere Jahre mehrmals pro Saison geschnitten werden. Von der Verwendung von Motorsensen mit Nylonseil wird abgeraten, da die Stängel zerstückelt und zerstreut werden können (Railtrack 2001).

Konold *et al.* (1995) führten ein Freiland-Topfexperiment durch, in dem *Reynoutria*-Pflanzen zweimal (1. Mai und 1. August) geschnitten wurden. Die gemäh-

ten Pflanzen bildeten neue Sprosse aus den Rhizomen. Die Gesamtsprosslänge blieb durch die Behandlung deutlich unter der Produktion der Kontrollpflanzen. Der Sprossdurchmesser des Neuaustriebs war mit 0.2 cm Ende September deutlich unter der Kontrolle (0.75 cm). Die Trockensubstanz der oberirdischen Biomasse betrug zum gleichen Zeitpunkt nur 18% der Kontrolle. Die 2malige Mahd hat die 2jährigen Pflanzen, die aus einem kleinen Rhizomstück gezogen wurden, zwar geschwächt, jedoch nicht zum Absterben gebracht.

Adler (1993) beobachtete wesentlich geringere Rhizombiomasse unter gemähten Flächen (nur 1/7 bis 1/8 der ungemähten Flächen).

Im Freilandexperiment Diaz-Buschmann (1997) hatte eine Mahd im Mai oder Juni gemessen am Deckungsgrad, den der Bestand im Folgejahr erreichte, keine Wirkung. Wurde der Bestand hingegen im Juli gemäht, reduzierte sich der Deckungsgrad im Folgejahr um 20% und die Bestandeshöhe auf 100 cm (Kontrolle 130 cm).

Walser (1995) hat auf Dauerbeobachtungsflächen festgestellt, dass mit einer Mähfrequenz von 6–8mal pro Jahr die Bildung einer geschlossenen Grasnarbe und die langfristige Verdrängung der Pflanze erreicht werden kann. Adler (1993) beobachtete hingegen einen Bestand, wo mehrmaliges Mähen pro Jahr (seit 5 Jahren 4–5mal pro Jahr) noch nicht zu einer sichtbaren Vitalitätsminderung des Japanischen Staudenknöterichs führte.

Beim Zürcher Hauptbahnhof wurden Einzelpflanzen von *Reynoutria japonica* 2–3mal gemäht mit dem Resultat, dass die Pflanzen geschwächt wurden (Benz 1998). Gleichzeitig trieben aber vermehrt ruhende Knospen aus. Nach 9 Schnitten in 2 Jahren stieg der ökologische Wert einer Fläche beim Bahnhof Zürich-Altstetten an, da sich eine Krautvegetation etablieren und die Sonne Steinnischen für Eidechsen wärmen konnte. Der früher angewendete jährliche Schnitt hatte keinen schädigenden Effekt auf den Bestand (Müller 2002). In Gisikon-Root wurden in zwei dichten Beständen entlang der SBB-Linie mehrere Dauerflächen angelegt, um die Bestandesentwicklung mit einem Schnitt jährlich (Kontrolle) und mit 3 Schnitten zu vergleichen (ANL 1997). Der Erstaustrieb im Jahr nach der Behandlung war auf den 3mal geschnittenen Flächen deutlich weniger hoch. Ebenso verringerte sich die Blattzahl pro Spross, wohingegen das Frischgewicht der Blätter höher lag als auf den Kontrollflächen. Die Sprosszahl pro m² hat sich im einen Bestand nicht verändert, ist im zweiten jedoch stark angestiegen. In den Untersuchungen an der Bahnlinie nach Winterthur (Bollens 2004) sanken in einem Bestand mit 3–4 Schnitten jährlich über 3 Jahre die Anzahl der Stöcke und der Sprosse deutlich. Trotzdem war der Bestand noch immer sehr vital. Im Aargauer Reusstal wurde ein Bestand während 3 Jahren 2–3mal jährlich mit der Motorsense oder Sense geschnitten. Der Erfolg war gering (Huber 2001). In Dulliken wurde ein dichter Knöterichbestand über mehrere Jahre alle 2 Wochen mit dem Durchforstungsgerät gemäht. Der Bestand wuchs als Folge kurz und rasig, liess sich aber nicht eliminieren (Müller 1998). An der Bahnlinie nach Andelfingen wurde ein bahnseitiger, 3 m breiter Streifen eines Knöterichbestands im Rahmen des normalen Unterhalts 1mal jährlich

gemäht. Dieser Streifen wächst im Vergleich zum nicht gemähten Teil des Bestandes deutlich weniger hoch, wirkt dichter und bildet keine Blüten aus (Momentaufnahme im Herbst, Müller 1998).

Folgende Empfehlungen werden abgegeben: Kretz (1995) empfiehlt als Richtwert für den Schnitt zur optimalen Schwächung eine Bestandeshöhe von 40 cm. Das wird im ersten Jahr der Bekämpfung noch 6–8mal, im dritten Jahr noch ca. 4–6mal jährlich erreicht. Mit einer Verdrängung kann nicht vor dem dritten Jahr gerechnet werden, eine Intensivmähd während 4–7 Jahren ist notwendig (Alberternst 1995). Von einem kontinuierlichen Schneiden ohne Herbizidanwendung wird abgeraten, da sonst das Wachstum gefördert wird. Ein einmaliger Schnitt soll nicht vor Juli durchgeführt werden (Diaz-Buschmann 1997).

Tabelle 3 Übersicht über die Resultate verschiedener Schnittversuche.

Anzahl Schnitte	Zeitraum	Resultat	Quelle/Ort
2 pro Jahr	1 Sommer (Topfexperiment)	geringere Biomasse, geringere Gesamtsprosslänge, dünnere Sprosse	Konold <i>et al.</i> 1995
4–5 pro Jahr	5 Jahre	Geringere Rhizombiomasse, keine sichtbare Vitalitätsreduktion	Adler 1993
6–8 pro Jahr		geschlossene Grasnarbe	Walser 1995
2–3	1 Jahr	Schwächung, jedoch gleichzeitig vermehrter Austrieb ruhender Knospen	Benz 1998
9 Schnitte	2 Jahre	Entwicklung einer Krautvegetation	Müller 2002
3 Schnitte	1 Jahr	Erstaustrieb im Folgejahr: <ul style="list-style-type: none"> • Sprosse kürzer • geringere Blattzahl pro Spross • höheres Frischgewicht der Blätter • Sprosszahl/m² gleich oder stark angestiegen 	ANL 1997
4 Schnitte pro Jahr	3 Jahre	Geringere Anzahl Stöcke und Sprosse	Bollens 2004
2–3mal pro Jahr	3 Jahre	Geringer Erfolg	Huber 2001
alle 2 Wochen	mehrere Jahre	dichter, rasiger Wuchs	Müller 1998 (Dullikon)
1mal jährlich	mehrere Jahre	dichtere, kürzere Sprosse, keine Blüten	Müller 1998 (Andelfingen)

4.3 Schnittgutbehandlung

Wegen der hohen Regenerationsfähigkeit des Japanischen Staudenknöterichs muss das Schnittgut vor allem bei feuchter Witterung sofort abgeführt werden. Das Material kann kompostiert werden, wenn eine Temperatur von 70°C gewährleistet

ist. Sonst empfiehlt sich das Trocknen auf versiegeltem Untergrund während mindestens 3 Monaten oder die Kehrichtverbrennungsanlage.

4.4 Konkurrenz

In einem Konkurrenzexperiment mit *Reynoutria*-Pflanzen² und verschiedenen Gehölzen und Krautpflanzen fanden Konold *et al.* (1995), dass der Knöterich auf die Konkurrenzpflanzen mit einer geringeren Wuchsleistung reagierte. Die Art des Konkurrenten spielt dabei eine Rolle: Von den verwendeten Pflanzenarten können insbesondere das Rohrglanzgras, aber auch Pestwurz und Schwarzerle ernsthafte Konkurrenten sein. In Gemeinschaft mit Pestwurz oder Rohrglanzgras waren sowohl die Sprosslänge als auch der Deckungsgrad von *Reynoutria japonica* um etwa die Hälfte reduziert. Der Hybride *Reynoutria x bohemica* war unter der Konkurrenz von Weidenstecklingen, Erlen oder Pestwurz am deutlichsten geschwächt. Der Effekt ist aber nicht so gross, dass sich dadurch Knöterichbestände zum Verschwinden bringen lassen.

Walser (1995) beschreibt einen Versuch mit Weidenspreitlagen zur Knöterichbekämpfung an Flussufern. Eine aberodierte Fläche wurde mit Spreitlagen aus austriebsfähigen Ruten von schmalblättrigen Strauchweiden befestigt. Das Ergebnis wird als grosser Erfolg gewertet: Es bildete sich ein dichter Weidenaufwuchs ohne Lichtlücken. Es wird empfohlen, die Spreitlage mindestens 2 m über den ursprünglichen Knöterichbestand hinauszuziehen.

An der Bahnlinie in Kilchberg wurden nach einer Glyphosat-Behandlung des Japanischen Staudenknöterichs Stauden (Geranien, Silbermantel, Bleiwurz) und Forstgehölze (u.a. Hartriegel, Geissblatt, Efeu) als Konkurrenten gepflanzt (SBB 2003). Die Stauden stellten im Folgejahr keine Konkurrenz für den Japanischen Staudenknöterich dar und erschwerten die parallel durchgeführte chemische Bekämpfung. Die Forstgehölze waren in den ersten Jahren ebenfalls noch keine Konkurrenten um Licht und Wasser. Jedoch waren in den Bereichen, wo der Sommerflieder (*Buddleja*) Dominanz erreichte, keine Knöteriche mehr zu finden. Ein Bestand von Sommerflieder ist für die Bahn ebenfalls problematisch, im Vergleich zum Staudenknöterich jedoch das kleinere Übel, da er sich mit den gängigen Unterhaltmassnahmen im Zaum halten lässt.

Ein Zurückdrängen von *Reynoutria japonica* durch Holzpflanzen ist nur durch künstliche Bepflanzung und jahrelanges Freischneiden möglich (Lohmeyer 1969).

4.5 Abdecken

Das Abdecken mit schwarzer Folie bewirkt den Entzug von Licht und Wasser. An einer Bahnböschung in Gisikon-Root wurde ein Knöterich-Bestand mit schwarzem

² Es wurden *Reynoutria japonica* und *Reynoutria x bohemica*-Pflanzen verwendet.

Floor-PP-Bändchengewebe abgedeckt (ANL 1998). Die Pflanzen wurden bei Versuchsbeginn nicht abgemäht. Im zweiten Versuchsjahr wuchs der Knöterich unter der Matte und hob das Gewebe etwas an. Bei Versuchsende nach zweieinhalb Jahren waren die oberirdischen Pflanzenteile abgestorben und verrottet. Unter der Erdoberfläche wurden aber Rhizomstücke gefunden, die von ihrer Beschaffenheit auf einen austriebsfähigen Zustand schliessen liessen.

In einem Versuch im Zürcher Hauptbahnhof konnte ein Bestand durch das Abdecken mit einer schweren Folie geschwächt werden (Benz 1998). Das vollständige Abdecken erwies sich als sehr schwierig, da technische Anlagen wie Leitungen etc. eingepasst werden mussten. Zudem wurde die Folie von den Pflanzen angehoben. Ein Abdeckversuch mit Bändchengewebe aus PP zeigte keine nachhaltige Wirkung.

In der Reusebene wurde ein Bestand 3 Jahre lang 2–3mal jährlich geschnitten und danach über 4 Jahre mit schwarzer Polyethylenfolie abgedeckt. Im darauf folgenden Jahr zeigte sich der Knöterich «in alter Frische» (Huber 2001).

4.6 Ausreissen

Wenn der Mäh Aufwand unverhältnismässig ist, können Einzelstöcke durch Ausreissen geschwächt werden. Im Kies entlang einer Bahnlinie wurde ein junger Einzelstock durch 2maliges Ausreissen eliminiert (Bollens 2004). Ein älterer, bis 3 m hoher Bestand in einem Garten zeigte jedoch keine Schwächung trotz jährlich mehrmaligem Jäten. Im Reusstal wurde ein 5 m² grosser Knöterich-Reinbestand während 5 Jahren von Hand bekämpft, indem die Stöcke einzeln mit dem Blackenstecher ausgestochen und später 3–4mal jährlich ausgerissen wurden. Der Bestand hat sich dadurch laufend ausgelichtet, und standortübliche Pflanzen wie Seggen, Gräser und Schilf haben sich ausgebreitet. (Huber 2001).

4.7 Ausgraben

Ausgraben ist eine sehr aufwändige Massnahme, da dicke Rhizome bis über 1 m in den Boden reichen. Weil die Rhizome sehr brüchig sind, kann nicht die ganze Pflanze erfasst werden. Im Reusstal wurde das Erdmaterial unter einem 100 m² grossen Bestand 60 cm tief ausgehoben und durch Flussschotter ersetzt. Im folgenden Jahr waren nur noch 10 Triebe vorhanden (Huber 2001). Bei einem Versuch im Gleisbereich des Zürcher Hauptbahnhofs trieben die Bestände nach dem Ausgraben wieder durch, wenn auch etwas schwächer (Benz 1998). Die Erfahrungen der Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich weisen in die gleiche Richtung: Nach Abtrag eines Knöterichbestandes in eine Tiefe von 40 cm haben die verbliebenen Rhizome wieder ausgetrieben und der Bestand hat sich wieder etabliert (mündl. Mitteilung P. Meier).

Entlang der Bahnlinie nach Winterthur wurde projektbedingt eine Hecke entfernt, die mit Staudenknöterich durchsetzt war. Um den Knöterich zu beseitigen, wurde ca. 30 cm Bodenmaterial ausgehoben, weggeführt und durch Kies ersetzt. Mit dieser Massnahme konnte das Wiederaufkommen von Knöterich auf der Fläche stark eingedämmt werden. Die angrenzend neu gepflanzte Hecke, die längerfristig durch Beschattung gegen ein Aufkommen von Knöterich wirken sollte, ist heute stärker von Knöterich bewachsen, als die mit Kies aufgefüllte Fläche. Der Grund ist vermutlich, dass der Humus besser durchwachsen werden kann als die Kiesauffüllung.

Railtrack (2001) empfiehlt, das Erdreich bis 3 m in die Tiefe und 7 m im Umkreis der Pflanzen zu entfernen und den Aufwuchs zu spritzen. Eine totale Entfernung des Bestandes dauert mindestens 3 Jahre (3–5 Jahre) und braucht zusätzlich mindestens 2 Herbizidanwendungen.

4.8 Mulchen

Das Mulchen von Knöterichbeständen ist sehr heikel, weil kleine Sprossstücke wieder austriebsfähig sind (siehe Kapitel «Verbreitung»).

4.9 Beweidung

Die Beweidung von Flächen, die vom Japanischen Staudenknöterich befallen sind, hat den Vorteil, dass die Biomasse sinnvoll genutzt werden kann.

In einem Experiment Konold *et al.* (1995) wurde Beweidung simuliert, indem die Blätter von eingetopften *Reynoutria*³-Pflanzen zweimal (21. Mai und 1. August) entfernt wurden. Andere Faktoren der Beweidung wie Tritt oder Knicken wurden nicht berücksichtigt. Die so behandelten Pflanzen reagierten mit einer Zunahme der Gesamtsprosslänge. Es wurden zahlreiche dünne, verzweigte Seitenästchen gebildet, wodurch die Pflanzen ein buschiges Aussehen erhielten. Ende September massen die Sprosse 0.5 cm im Durchmesser (im Mai 0.45), während die Kontrollpflanzen 0.75 cm dick waren. Die oberirdische Biomasse betrug Ende September 80% der Kontrolle.

In einem Versuch von Walser (1995) beweideten Schafe und Ziegen grossflächig von Knöterich bewachsene Uferdämme. Der Versuch verlief optimal: Die Blätter der Pflanzen wurden selektiv gefressen. Dadurch wurden die Pflanzen geschädigt und der Neuaustrieb war deutlich geschwächt. Ziegen übernahmen das Herunterfressen der entblätterten Stängel. Es bildete sich eine feste Grasnarbe aus. Ausserdem wurde ein Nährstoffentzug beobachtet, da die Schafe vorwiegend im Nachtfurch koteten.

Schafe und Rinder bewirkten eine signifikante Reduktion der Sprossdichte nach einer Frühsommerweide (Beerling *et al.* 1994). Brabec & Pysek (2000) stellte fest, dass traditionelle Beweidung mit Schafen und Ziegen eine Bestandesetablierung stark erschwert.

4.10 Abbrennen

Abbrennen ist keine wirksame Bekämpfungsmethode, da es keinen Effekt auf das Rhizom hat (Beerling *et al.* 1994). Ein Bestand, der zuvor mit Schnitt- und Abdeckversuchen nicht eliminiert werden konnte, trieb auch bei 3maligem Abbrennen mit dem Gasbrenner (in einem Jahr) jedes Mal wieder aus (Huber 2001).

4.11 Strom

Vereinzelt wurde versucht, den Staudenknöterich mit elektrischem Strom zu behandeln. Im Auftrag der SBB wurde über ein Gitter mit einem Weidezaungerät als Stromquelle während 2mal 5 Tagen im August/September Strom in den Bestand geleitet (Müller 1998). Die Massnahme zeigte einige Wirkung auf schwache Triebe, hatte aber im Ganzen keinen Erfolg.

Das «Kochen» mit Hochspannung ist eine gefährliche Methode, die aber erfolgreich sein kann (Müller 1997).

4.12 Biologische Bekämpfung

Diaz & Hurlle (1995) untersuchten kranke *Reynoutria japonica*-Pflanzen in Baden (D). In der Regel fanden sie gesunde Pflanzen. Bei Pilzbefällen waren meist nur einige wenige Blätter des Bestandes betroffen. Sie wiesen braune Punkt- oder Randnekrosen auf und zum Teil Chlorosen. Der Versuch, Staudenknöterich-Pflanzen mit den isolierten Pilzen zu infizieren, gelang nur mit einer Pilzart (*Fusarium sp.*). Der Pilz schädigte die Pflanzen jedoch nicht nennenswert. Weiter fanden die Autoren ein Virus, das Krankheitssymptome hervorrief. Es wurde von Schwarzen Bohnenläusen übertragen.

In einem Forschungsprojekt des CABI Bioscience (CABI) wird versucht, mit Hilfe eines japanischen Rostpilzes, der die Pflanze stark schädigt, eine biologische Bekämpfungsmethode zu entwickeln. Bis jetzt ist jedoch noch kein Praxisversuch unternommen worden (Japanese Knotweed fact sheet, Green 2003). Das Ziel dieser Forschung ist weniger das Eliminieren einzelner Bestände, sondern der fortschreitenden Ausbreitung des Staudenknöterichs längerfristig entgegen zu wirken.

4.13 Aufwand

In einigen Quellen wurden Angaben zum Zeitaufwand oder den Kosten verschiedener Massnahmen gemacht.

Die kantonale Pflanzenschutzstelle Neuenburg gibt für die Kosten für eine Bekämpfung mittels Mahd (6–8 Schnitte pro Jahr über 4–7 Jahre) mit 2–20 CHF pro m² an (Horner 2004).

Bei einer Frequenz von acht Mal pro Jahr wurden die Kosten der Knöterichbekämpfung in Südwestdeutschland mit 2'800 € pro Hektar ermittelt (eine so hohe Mähfrequenz fördert jedoch eine sehr dichte Grasnarbe, die höchstens im Gewässerbau erstrebenswert ist). Ähnliche Ergebnisse lassen sich durch Schafbeweidung erreichen, deren Kosten mit 358 € pro Hektar angegeben werden. (Alle Angaben aus Floraweb)

Green (2003) gibt die Kosten für ein 5-Jahres-Spritzprogramm, mit dem ein Bestand um 95 % dezimiert werden kann, mit 30'000 Pfund (etwa 43'000 €) pro Hektare an.

In BAV *et al.* (2001) sind die Kosten für verschiedene gleisbegleitende Massnahmen zusammengestellt:

Mähen	0.2 –0.7 Fr/m ²
Selektive Böschungspflege	1–3 Fr/m ²
Jäten von Hand	4–5 Fr/m
Rückenspritze	0.2 Fr/m

Müller (1997) schätzt den Zeitaufwand der Knöterichbekämpfung folgendermassen:

Elektrobehandlung mit Hochspannung	30 min/m ² bei 50 Stängel/m ²
Glyphosatbehandlung mit Rückenspritze	0.4 min/m ²
Glyphosat-Injektion	2–4 min/m ² bei 10 Stängel/m ²
Glyphosat in abgeschnittene Röhren	2–4 min/m ² bei 10 Stängel/ m ²
Glyphosatbehandlung mit Pinsel oder Docht	2–4 min/m ² bei 10 Stängel/ m ²

5 Schlussfolgerungen

Die grösste Chance, einen Knöterichbestand auszulöschen ergibt sich in den meisten Fällen nur mit einer Herbizidbehandlung. Wenn diese nicht möglich oder unerwünscht ist, können die Bestände mit verschiedenen mechanischen Massnahmen geschwächt und mit langjährigen Nachbehandlungen eventuell ebenfalls zum Verschwinden gebracht werden. Die im Folgenden diskutierten mechanischen Massnahmen sind deshalb nur empfohlen, wenn ein Herbizideinsatz nicht in Frage kommt oder keine vollständige Eliminierung angestrebt wird.

5.1 Herbizid

Wirkstoff	Von den verschiedenen erprobten Herbiziden wurden mit Glyphosat und 2,4-D Amin gute Resultate erzielt. In der Schweiz ist nur Glyphosat für die Einzelstockbehandlung von Problempflanzen zugelassen.
Zeitpunkt	Die besten Resultate sind nach einer Glyphosatanwendung im September mit vorgängigem Schnitt (6 Wochen vor der Herbizidbehandlung) dokumentiert. Ebenfalls gute Resultate können bei der Anwendung im Mai erreicht werden. Von Herbizidbehandlungen im Sommer (Juli/August) ist abzusehen.
Konzentration	<p>Wichtiger als die Konzentrationsangabe sind die pro Quadratmeter ausgebrachte Wirkstoffmenge und die Spritztechnik.</p> <p>Für die Bekämpfung an Bahnanlagen wird bei der Herbizidanwendung mit fahrbaren Spritzgeräten eine 3–4%ige Lösung angewendet (200 Liter Spritzbrühe pro Hektare). Für die Bekämpfung mit der Rückenspritze verwenden die SBB Spezialdüsen, mit welchen die Wirkstoffmenge mit weniger Wasser ausgebracht wird. Hier wird eine 15%ige Lösung⁴ verwendet (50 Liter Spritzbrühe pro Hektare). Mit beiden Techniken wird eine Wirkstoffmenge von 2200 bis 2900 g Glyphosat pro Hektare erreicht (nach BAV 2001).</p> <p>Für die Anwendung mit den im Gartenbau oder in der Landwirtschaft üblichen Techniken wird eine 1%ige Glyphosatlösung empfohlen⁵.</p>
Anwendungstechnik	Das Herbizid wird optimalerweise mit der Rückenspritze ausgebracht. Die Aufnahme kann verbessert werden, wenn 1% Rapsöl zugegeben wird. Das Herbizid wirkt ebenfalls gut, wenn es injiziert oder in abgeschnittene Stängel gefüllt wird. Diese Methode kann empfohlen werden, wenn die umliegende Vegetation geschützt werden muss. In allen anderen Fällen ist das Spritzen aus arbeitstechnischen Gründen vorzuziehen.
Wichtige Hinweise	Der Herbizideinsatz soll bei wüchsigem, nicht zu heissem Wetter erfolgen. Die Blätter sollen bei der Applikation trocken sein (kein Regen oder Tau) und nach dem Einsatz darf 6 Stunden kein Regen fallen. Die Spritzbrühe muss als feiner Nebel auf die Blätter wirken; die Pflanzen sollen nicht geduscht werden.

⁴ Herbizid mit 360 g Glyphosat pro Liter; ergibt 54 g Glyphosat pro Liter Spritzbrühe

⁵ Herbizid mit 360 g Glyphosat pro Liter; ergibt 3.6 g Glyphosat pro Liter Spritzbrühe

Kontrolle

Bei Frühsommerbehandlung sollen die Flächen im September kontrolliert werden und eine weitere Behandlung (Schnitt oder Herbizid) durchgeführt werden. Bei Herbstbehandlung muss im Folgejahr ebenfalls kontrolliert werden. Häufig entwickeln die Stöcke nach dem Kontakt mit Herbizid einen kümmerlichen Wuchs. Diese Stöcke können sich wieder regenerieren und müssen deshalb weiter behandelt werden, was sich allerdings schwieriger gestaltet, da die verkümmerten Blättchen das Herbizid zu wenig effektiv aufnehmen.

- Die Behandlung mit Glyphosat ist die erfolgversprechendste Bekämpfungsmassnahme für den Japanischen Staudenknöterich.
- Die Anwendung soll im Mai oder im September erfolgen. Bei Septemberbehandlungen soll der Bestand 6 Wochen vor der Herbizidbehandlung geschnitten werden. Beim Spritzen im Mai soll der Bestand im September gemäht oder allenfalls noch einmal gespritzt werden.

5.2 Schnitt

Mit mehreren jährlichen Schnitten lässt sich ein Bestand über die Jahre schwächen. Eine vollständige Elimination durch Schnitt ist jedoch nicht bekannt. Allzu häufige Schnitte können einen rasigen Wuchs des Japanischen Staudenknöterichs bewirken und stören die Entwicklung der übrigen Vegetation. Ein einzelner Schnitt sollte nicht zu früh im Sommer stattfinden (ab Juli), damit ein Schwächungseffekt eintritt.

- Zur Schwächung auch ausgedehnter Bestände.
- Empfohlen werden 3–5 Schnitte pro Jahr bei einer Höhe von 40 cm während 4–7 Jahren. Wird nur ein Schnitt durchgeführt, so erfolgt dieser am besten im Juli (nicht früher).
- Das Schnittgut muss sorgfältig entfernt und in die Kehrichtverbrennung oder in eine Grosskompostieranlage (Mindesttemperatur 70°C) gebracht werden.

5.3 Konkurrenz

Um Neubestände zu verhindern ist es generell sinnvoll, den Boden mit einer dichten, Schatten spendenden Vegetation zu bedecken. Sowohl Gräser als auch Holzpflanzen wirken als Konkurrenten für den Japanischen Staudenknöterich. Wenn der Japanische Staudenknöterich allerdings schon vorhanden ist, sind die Konkurrenten eher hinderlich, da die Bekämpfung erschwert wird.

- Eine dichte Vegetationsdecke zu pflegen hilft, Neubestände zu verhindern.
- Auf kontaminierten Flächen den Japanischen Staudenknöterich erst entfernen, dann neu begrünen. In der Zeit bis zur Eliminierung des Japanischen Staudenknöterichs Zwischenansaat mit niederwüchsigen 1–2jährigen Pflanzen zur Erosionsverhinderung.

5.4 Abdecken mit Folie

Die Bestände können durch das Abdecken mit Folie stark geschwächt werden. Diese Massnahme eignet sich für abgegrenzte, dichte Bestände, jedoch nicht für lockere Bestände oder Einzelstöcke, da deren effektive Ausdehnung nicht bekannt ist.

- Zur Schwächung lokal abgegrenzter Bestände
- Nachkontrollen und allenfalls -behandlungen unbedingt notwendig

5.5 Ausreissen

Einzelstöcke können durch Ausreissen eliminiert werden. Kleine Bestände können mit relativ hohem Aufwand (3–4mal jährlich Ausreissen über mindestens 5 Jahre) wesentlich geschwächt werden sodass sich eine standortübliche Vegetation ausbreiten kann.

- Sinnvoll für Einzelstöcke oder kleinere Bestände.

5.6 Ausgraben

Durch sehr sorgfältiges und grosszügiges Ausgraben (mindestens 1 m in die Tiefe) können Bestände geschwächt werden. Der Wiederaustrieb muss allerdings weiter intensiv bekämpft werden, z.B. durch Ausreissen. Der Aushub muss fachgerecht entsorgt werden.

- Zur Schwächung lokal abgegrenzter Bestände.

5.7 Mulchen

Mulchen ist eine weit verbreitete Methode im Unterhalt von Verkehrswegen und Flüssen. Wegen der ausserordentlichen Regenerationsfähigkeit von Sprossstücken ist davon abzuraten, Flächen zu mulchen, die von Japanischem Staudenknöterich befallen sind. Falls eine Fläche dennoch gemulcht wird, sollte dies früh im Sommer geschehen (Mai/Juni), da zu dieser Zeit die Regenerationsfähigkeit der Sprosstücke noch reduziert ist.

- Vom Mulchen befallener Flächen wird generell abgeraten.

5.8 Beweidung

Die Beweidung mit Schafen und/oder Ziegen ist eine effektive Methode, um Staudenknöterich-Bestände zu schwächen. Sie eignet sich allerdings nur für grössere, gut zugängliche Flächen, zum Beispiel entlang von Flüssen. Für Bahnborde ist die Methode eher ungeeignet.

- Die Beweidung ist auf geeigneten Flächen eine interessante Alternative zur Mahd.

5.9 Abbrennen

Der einzige bekannte Versuch, den Japanischen Staudenknöterich mit einem Gasbrenner abzubrennen, schlug fehl.

5.10 Strom

Die Behandlung mit Gleichstrom in Niederfrequenz war beim Staudenknöterich nicht erfolgreich. Die erfolgreiche Methode mit Hochspannung ist schwierig anzuwenden und aufwändig. Sie eignet sich nur für dickere Stängel.

→ Bekämpfung mit Hochspannung wirksam, jedoch sehr aufwändig und mit Sicherheitsproblemen verbunden.

5.11 biologische Bekämpfung

Diese Bekämpfungsmethode ist noch in der Forschungsphase.

6 Empfehlungen für Bekämpfungsmassnahmen an Bahnanlagen

Der Gesetzgeber lässt die Beseitigung von ausläuferbildenden Einzelpflanzen zu. In Gewässerschutzzonen und entlang von Gewässern ist die Herbizidanwendung nicht erlaubt (siehe Anhang 4.3, Ziffer 3, Absätze 1 und 5 der Stoffverordnung). Zudem dürfen gemäss der Stoffverordnung keine Herbizide an Böschungen und in oder entlang von Hecken und Feldgehölzen ausgebracht werden. Eine Ausnahme bilden die ausläuferbildenden Problempflanzen, zu denen auch der Staudenknöterich zählt. Die SBB hat diese gesetzlichen Grundlagen in ihre Weisungen aufgenommen.

Die im Folgenden präsentierten Empfehlungen sind aus den Schlussfolgerungen des Literaturstudiums abgeleitet und weiter entwickelt. Die vorgeschlagenen Massnahmen sollen für die SBB praktikabel sein und eine höchstmögliche Wirksamkeit bei vertretbarem Aufwand erzeugen. Sie ergänzen die Empfehlungen und der Publikation «Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen» (BAV *et al.* 2001) und die Weisung des BAV (2001).

1. Prävention: Neubildung und Verschleppung verhindern

Unterhaltsequipen und Unternehmer sensibilisieren

- Keinen kontaminierten Humus einbauen
- Befallene Flächen nicht mulchen
- Schnittgut befallener Flächen immer sofort abführen und in Grosskompostieranlage (Mindesttemperatur 70°C) oder Kehrlichtverbrennung entsorgen

2. Wo möglich gezielte Herbizidbehandlung

Herbizidbehandlung mit 15%iger Herbizidlösung⁶ plus Rapsöl (1%) mit der Rückenspritze und Spezialdüse. Ohne Spezialdüse oder bei Anwendung mit dem fahrbaren Spritzwagen reicht eine 1–2%ige Lösung.

3. Wo Herbizide nicht möglich mechanische Bekämpfung

Ausbreitung hemmen durch regelmässige Mahd oder Ausreissen und Abführen des Schnittguts

4. Nachkontrollen

Im Juli und September während mindestens 2 Jahren. Wird im Juli ein Ausstreifen festgestellt, kann der Knöterich noch einmal bekämpft werden.

⁶ Herbizid mit 360 g Glyphosat pro Liter; ergibt 54 g Glyphosat pro Liter Spritzbrühe

Im konkreten Fall wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

Reinbestände

- Schnitt Ende Juli/Anfang August
- Glyphosatbehandlung Ende August/Anfang September (6 Wochen nach Schnitt)

oder

- Glyphosatbehandlung im Mai
- Schnitt/Ausreissen oder zweite Glyphosatbehandlung im September

- Zwischenansaat mit zweijährigen, niederwüchsigen Kräutern, z.B. Erdklee
- Im Mai oder September des Folgejahres allfällige Austriebe wieder mit Glyphosat behandeln
- Danach einsäen/bepflanzen und regelmässig kontrollieren/unterhalten

Lockere Bestände/Einzelstöcke

Mit Herbizid

- Schnitt Ende Juli/Anfang August
- Glyphosatbehandlung Ende August/Anfang September

oder

- Glyphosatbehandlung im Mai
- Schnitt/Ausreissen oder zweite Glyphosatbehandlung im September
- Kontrolle im Mai/Juli und September des Folgejahrs

ohne Herbizid

- 2 –5mal jährlich schneiden oder ausreissen

7 Schlusswort

Trotz der beachtlichen Datenlage kann das Thema mit dieser Arbeit nicht abschließend behandelt werden. Es fehlen praxisorientierte Versuchsanordnungen, die wissenschaftlichen Maßstäben genügen und Vergleiche unterschiedlicher Bekämpfungsmethoden zulassen. Diese Arbeit soll dazu Grundlagen liefern.

Verzeichnisse

1 Literatur

- ADLER C. 1993: *Zur Strategie und Vergesellschaftung des Neophyten Polygonum cuspidatum unter besonderer Berücksichtigung der Mahd*. Tuexenia, 13, 373–397.
- ALBERTERNST B. 1995: *Kontrolle des Japan-Knöterichs an Fließgewässern. II. Untersuchungen zu Biologie und Ökologie der neophytischen Knöterich-Arten*. Handbuch Wasser 2, Teil II. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- ALBERTERNST B., KONOLD W., BÖCKER R. 1995: *Genetische und morphologische Unterschiede bei der Gattung Reynoutria. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management* (eds BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 113–124. ecomed, Landsberg.
- ANL 1997: *Versuche zur Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs in Root LU*. ANL Natur und Landschaft, Luzern. Zwischenbericht zuhanden SBB, Bern.
- ANL 1998: *Versuche mit Japanischem Staudenknöterich*. ANL Natur und Landschaft, Luzern. Schlussbericht zuhanden SBB, Bern.
- BAILEY J. P., STACE A. 1992: *Chromosome number, morphology, pairing, and DNA values of species and hybrids in the genus Fallopia (Polygonaceae)*. Pl. Syst. Evol., 180, 20–52.
- BAILEY J. P. 1994: *Reproductive biology and fertility of Fallopia japonica (Japanese knotweed) and its hybrids in the British Isles*. Ecology and Management of Invasive Riverine Plants (eds DEWAAL L. C., CHILD L. E., WASE P. M., BROCK J. H.), pp. 141–158, Willey, Chichester, UK.
- BAUER M. 1995: *Verbreitung neophytischer Knötericharten an Fließgewässern in Baden-Württemberg. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope*, Kontrollmöglichkeiten und Management (eds BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 105–112. ecomed, Landsberg.
- BAV 2001: *Weisung betreffend chemische Vegetationskontrollen im Gleisbereich der Eisenbahnen in den Jahren 2001–2005*. Bundesamt für Verkehr, Bern.
- BAV, BUWAL & SBB 2001: *Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen*. SBB, BahnUmwelt-Center, Bern.
- BEERLING D. J. 1990: *The use of non-persistent herbicides to control riparian stands of Japanese knotweed (Reynoutria japonica Houtt.)*. Regulated Rivers: Research & Management 5, 413–417.
- BEERLING D. J., BAILEY J. P., CONOLLY A. P. 1994: *Fallopia japonica (Houtt.) Ronse Decraene (Reynoutria japonica Houtt.; Polygonum cuspidatum Sieb. & Zucc.)*. Journal of Ecology 82, 959–979.
- BEERLING D. J., HUNTLEY B., BAILEY J. P. 1995: *Climate and the distribution of fallopia japonica – use of an introduced species to test the predictive capacity of response surfaces*. Journal Of Vegetation Science, 6, 14.
- BENZ E. 1998: *Knöterichbekämpfung SBB Zürich HB–Zürich Altstetten – Schlussbericht*. Ewald Benz AG Gartenbau, Dietlikon.
- BIMOVA K., MANDAK B., PYSEK P. 2003: *Experimental study of vegetative regeneration in four invasive Reynoutria taxa (Polygonaceae)*. Plant Ecology, 166, 1–11.

- BOLLENS U. 2004: Bahn 2000, 3. Gleis Winterthur Töss: *Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs (Reynoutria japonica)*. asp Landschaftsarchitekten, Zürich. Schlussbericht zuhanden SBB, Bern.
- BRABEC J., PYSEK P. 2000: *Establishment and survival of three invasive taxa of the genus Reynoutria (Polygonaceae) in mesic mown meadows: A field experimental study*. Folia Geobotanica, 35, 16.
- BRABEC J. 1997: *Experimental study of the effect of management on invasion of selected plant pieces into meadow communities*. Charles University, Prag.
- BROCK J. H., WADE P. M. 1992: *Regeneration of Japanese knotweed (Fallopia japonica) from rhizomes and stems: observations from greenhouse trials*. Proceedings 9th International Symposium on the Biology of Weeds, Dijon, France, pp. 85–94.
- BROCK J. H., CHILD L. E., WAAL L. C. D., WADE P. M. 1995: *The invasive nature of Fallopia japonica is enhanced by vegetative regeneration from stem tissue*. Plant Invasions – General Aspects and Special Problems (eds. PYSEK P., PRACH K., REYMANEK M., WADE M.), pp. 131–139. SPD Academic Publishing, Amsterdam.
- CONOLLY A. P. 1977: *The distribution and history in the British Isles of some alien species of Polygonum and Reynoutria*. Watsonia, 11, 291–311.
- DIAZ M., HURLE K. 1995: *Am Japanknöterich vorkommende Pathogene: Ansatz zu einer biologischen Regulierung. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management* (eds. BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 173–178. ecomed, Landsberg.
- DIAZ-BUSCHMANN M. 1997: *Untersuchungen zur chemischen Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs (Reynoutria japonica) unter spezieller Berücksichtigung der Stärkespeicherung und der Translokation von Saccharose*: Dissertation, Universität Hohenheim.
- FORMAN J., KESSELI R. V. 2003: *Sexual reproduction in the invasive species Fallopia japonica (Polygonaceae)*. American Journal Of Botany, 90, 7.
- GREEN S. 2003: *A review of the potential for the use of bioherbicides to control forest weeds in the UK*. Forestry, 76, 14.
- HAGEMANN W. 1995: *Wuchsform und individuelle Bekämpfung des Japanknöterichs durch Herbizidinjektionen: ein vorläufiger Bericht*. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management (eds. BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 179–194. ecomed, Landsberg.
- HARTMANN, SCHULDES, KÜBLER, KONOLD 1994: *Neophyten: Biologie, Verbreitung und Kontrolle ausgewählter Arten*.
- HAYEN B. 1995: *Populationsökologische Untersuchungen an Reynoutria japonica. Erste Ergebnisse*. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management (eds. BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 125–140. ecomed, Landsberg.
- HORNER M. 2004: *La Renouée du Japon*. Office phytosanitaire cantonal, Cernier.
- HUBER A. 2001: *Bekämpfung von Japan-Knöterich (Reynoutria spec.) und Riesenbärenklau (Heracleum mantegazzianum) in den Naturschutzonen und angrenzenden Gebieten der Reussebene*. Baudepartement des Kantons Aargau.

- KONOLD W., ALBERTERNST B., KRAAS S., BÖCKER R. 1995: *Versuche zur Regulierung von Reynoutria-Sippen durch Mahd, Verbiss und Konkurrenz: Erste Ergebnisse. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope*. Kontrollmöglichkeiten und Management (eds. BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 141–150. ecomed, Landsberg.
- KOSMALE S. 1981: *Die Wechselbeziehungen zwischen Gärten, Parkanlagen und der Flora der Umgebung im westlichen Erzgebirgsvorland*, Hercynia, 18, 441–452.
- KRETZ M. 1995: *Praktische Bekämpfungsversuche des Japanknöterichs (Reynoutria japonica)*. Gebietsfremde Pflanzenarten: Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management (eds. BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 151–160. ecomed, Landsberg.
- LOHMEYER W. 1969: *Über einige bach- und flusbegleitende nitrophile Stauden und Staudengesellschaften in Westdeutschland und ihre Bedeutung für den Uferschutz*. Natur und Landschaft, 44 (10), 271–273.
- MÜLLER C. 1997: *Wirksame Methoden zur Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs, Durchführung von Feldversuchen entlang von SBB-Strecken*. Zwischenbericht per Ende 1997 zuhanden SBB, Bern.
- MÜLLER C. 1998: *Wirksame Methoden zur Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs (Reynoutria japonica)*. Zwischenbericht per Ende 1998 zuhanden SBB, Bern.
- MÜLLER M. 2004: Persönliche Mitteilung M. Müller, Leiter Fachstelle Pflanzenschutz Aargau, Liebegg, Gränichen.
- MÜLLER R. 2002: *Evaluation Bekämpfung Japanischer Knöterich im SBB-Areal Zürich HB-Altstetten*. Topos Marti&Müller, Zürich. Bericht zuhanden SBB, Bern.
- NAKAGOSHI N. 1985: *Buried viable seeds in temperate forests*. Handboob of vegetation science 3: The population Structure of Vegetation (ed. J. White), pp. 666, Dodrecht.
- OHWI J. 1984: *Flora of Japan*. (eds MEYER F. G., WALKER E. H.), Smithsonian Institution Washington.
- PRICE E. A. C., GAMBLE R., WILLIAMS G., MARSHALL C. 2003: *Seasonal patterns of partitioning and remobilization of 14C in the invasive rhizomatous perennial Japanese knotweed (Fallopia japonica (Houtt.) Rons Decraene)*. Evolutionary Ecology, 15, 347–362.
- RAILTRACK 2001: Environmental Guidance Document.
- SBB 2003: *Pflegebericht Knöterichbekämpfung Objekt Kilchberg km 7.9*. Interner Bericht SBB, Bern.
- SCHNITZLER A., MULLER S. 1998: *Ecology and biogeography of highly invasive plants in Europe: giant knotweeds from Japan (Fallopia japonica and F. sachalinensis)*. Revue d'Écologie (Terre & Vie), 53, 36.
- SCOTT R., MARRS R. H. 1984: *Impact of Japanese knotweed and methods of control*. Aspects of Applied Biology 1984, 291–296.
- SUKOPP H., SUKOPP U. 1988: *Reynoutria japonica Houtt. in Japan und in Europa*. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, 98, 354–372.

- SUZUKI J. 1994: *Growth dynamics of shoot height and foliage structure of an rhizomatous perennial herb, Polygonum cuspidatum*. *Annals of Botany*, 73, 629–638.
- VOGG 1919: *Polygonum cuspidatum Siebold und Zucc. Ein Studienversuch zur Pflanzenbiologie*. *Berichte Naturwissenschaftliche Vereinigung Augsburg*, 42, 175–183.
- WALSER B. 1995: *Praktische Umsetzung der Knöterichbekämpfung*. *Gebietsfremde Pflanzenarten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management* (eds. BÖCKER R., GEBHARDT H., KONOLD W., SCHMIDT-FISCHER S.), pp. 161–172. ecomed, Landsberg.

2 Internet-Links

CABI Biocontrol	http://www.cabi.org
Dr. John Bailey	http://www.le.ac.uk/biology/staff/jpb/main.htm
Floraweb	http://www.neophyten.de
Japanese Knotweed fact sheet	http://www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs1018.pdf