

# Was sich nicht einfrieren lässt

Rekalzitrannte und klonale Arten, Feldgenbank, In-vitro-Kultur und Kryokonservierung

|                          |                                                                      |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Kennung</b>           | SAMEN-PROV0001-P07                                                   |
| <b>Verfasser</b>         | Thomas Schüller, Syntagma Forschung Wien · ORCID 0009-0003-9799-6747 |
| <b>Kontakt</b>           | forschung@tschueller.com                                             |
| <b>Fassung und Stand</b> | 3.0 · 2026-09-28                                                     |
| <b>Rechte</b>            | Text alle Rechte vorbehalten; Werkzeuge und Datenschichten MIT       |

## Kurzfassung

Die Samenbank ist das Rückgrat der Ex-situ-Erhaltung, aber sie setzt voraus, dass Saatgut Trocknung und Kälte übersteht. Für einen erheblichen Teil der Pflanzenwelt trifft das nicht zu: Rund 8 Prozent der Arten bilden rekalzitranntes Saatgut, das bei Trocknung stirbt; bei den vom Aussterben bedrohten Arten sind es 36 Prozent. Dazu kommen die klonal vermehrten Kulturen — Kartoffel, Maniok, Banane, Obstgehölze —, deren Sorten sich über Samen nicht sortenecht erhalten lassen. Dieses Papier ordnet die vier Verhaltenstypen, beschreibt die drei Ersatzwege Feldgenbank, In-vitro-Kultur und Kryokonservierung samt ihren Ausfallarten und leitet einen Grundsatz ab: Jeder Bestand braucht einen Hauptweg und einen davon unabhängigen Sicherungsweg.

## 1. Vier Verhaltenstypen

| Typ                  | Verhalten                                                                            | Beispiele                                                  |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Orthodox             | verträgt Trocknung auf wenige Prozent Feuchte und Lagerung unter dem Gefrierpunkt    | Weizen, Gerste, Mais, Bohne, Tomate, Kohl                  |
| Intermediär          | verträgt Trocknung nur bis zu einer Grenze, im getrockneten Zustand kälteempfindlich | Kaffee, einige Citrusarten, Papaya                         |
| Rekalzitrant         | stirbt bei Trocknung                                                                 | Eiche, Rosskastanie, Edelkastanie, Kakao, Avocado, Mango   |
| Klonal oder samenlos | Sorte wird über Knollen, Stecklinge oder Veredelung erhalten                         | Kartoffel, Maniok, Süßkartoffel, Yams, Banane, Obstgehölze |

Die ersten drei Typen beschreiben das Saatgut, der vierte die Vermehrung. Eine Apfelsorte bildet orthodoxe Samen, aber aus diesen Samen wächst nicht die Sorte, sondern ein Sämling mit neuer Merkmalskombination. Für die Erhaltung der Sorte ist das Saatgutverhalten deshalb unerheblich; es zählt, dass sie klonal weitergegeben werden muss.

Die Einteilung ist die erste Entscheidung jeder Erhaltung, und sie ist nicht umkehrbar: Ein rekalzitranter Posten, der zur Einlagerung getrocknet wird, ist verloren. Ist das Verhalten unbekannt, gehört zuerst ein Blick in die Seed Information Database (heute von der Society for Ecological Restoration betrieben, aufgebaut von Kew) und, wenn dort kein Eintrag steht, ein Trocknungsversuch an einer Teilprobe — nie am ganzen Posten.

## 2. Wie groß die Lücke ist

Wyse und Dickie schätzen den Anteil der Samenpflanzen mit trockenungsempfindlichem Saatgut weltweit auf rund 8 Prozent. Das klingt nach einem Randbereich, verteilt sich aber ungleich. Nach der Auswertung von Wyse, Dickie und Willis (2018) gilt:

| Gruppe                                  | Anteil, der sich nicht in einer Samenbank sichern lässt |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Vom Aussterben bedrohte Arten           | 36 Prozent                                              |
| Gefährdete Arten                        | 35 Prozent                                              |
| Stark gefährdete Arten                  | 27 Prozent                                              |
| Alle Baumarten                          | ein Drittel                                             |
| Kronendachbäume tropischer Feuchtwälder | etwa die Hälfte                                         |

Die Lücke liegt damit genau dort, wo der Erhaltungsbedarf am größten ist: bei den bedrohten Arten und bei den Bäumen. Für Mitteleuropa betrifft das unter anderem Eiche, Rosskastanie und Edelkastanie; unter den Nahrungspflanzen weltweit Avocado, Kakao und Mango.

## 3. Drei Ersatzwege

### 3.1 Feldgenbank

Die Pflanzen stehen im Freiland, als Baum, Strauch oder Dauerkultur. Für viele Gehölze und klonale Kulturen ist das der einzige Weg, der sofort funktioniert, und das Material ist jederzeit sicht-, prüf- und nutzbar.

Die Feldgenbank trägt aber das volle Standortrisiko: Krankheit, Schädlinge, Unwetter, Dürre, Flächenverlust. Sie ist flächen- und personalintensiv, und ein einziger Schaderreger kann eine Sammlung treffen, die über Jahrzehnte aufgebaut wurde. Eine Feldgenbank ohne Duplikat an einem zweiten Standort ist eine Sammlung mit eingebautem Totalverlust.

### 3.2 In-vitro-Kultur

Sprossspitzen oder kleine Pflanzen werden steril auf Nährmedium gehalten, meist unter Bedingungen, die das Wachstum verlangsamen. Das Material ist krankheitsfrei, platzsparend, vor Witterung geschützt und gut austauschbar.

Der Preis ist Dauerarbeit: Die Kulturen müssen regelmäßig umgesetzt werden, und bei langen Zeiträumen wächst die Gefahr genetischer Veränderung und von Kontaminationen. Die In-vitro-Kultur ist deshalb ein guter Arbeits- und Austauschbestand, aber keine Langzeitsicherung.

### 3.3 Kryokonservierung

Sprossspitzen, Embryonen oder Embryoachsen werden in flüssigem Stickstoff oder Stickstoffdampf bei minus 196 Grad gelagert. Bei dieser Temperatur kommt der Stoffwechsel praktisch zum Stillstand. Nach der Einrichtung ist die Lagerung genetisch stabil, platzsparend und verlangt kaum Überwachung; die CGIAR-Genbanken bezeichnen sie als kostengünstige Alternative zur arbeits- und kostenintensiven In-vitro-Haltung und setzen sie routinemäßig für Banane, Kartoffel, Süßkartoffel, Maniok und Yams ein.

Das Internationale Kartoffelzentrum kryokonserviert nach eigener Angabe mehr als 450 Kartoffelakzessionen je Jahr mit der Tröpfchen-Vitrifikation von Sprossspitzen und hat dafür seit 2013 strenge Qualitätsvorgaben: Eine aufgetaute Sprossspitze muss sich zu einer normalen Pflanze mit Scheitel, Spross, Blättern und Wurzeln entwickeln, ohne Kallusbildung dazwischen.

Die Grenzen sind ebenso deutlich. Kryokonservierung verlangt Kenntnis der Stressphysiologie, entwickelte Infrastruktur und eingearbeitetes Personal; die Protokolle sind artspezifisch und fehlen für viele Arten noch. Die Stickstoffversorgung muss lückenlos sein. Für rekalzitrante Arten ist die Kryokonservierung von Embryonen oder Embryoachsen möglich, aber weit weniger erprobt als bei klonalen Kulturen.

## 4. Vergleich

| Weg                 | Eignung                                    | Aufwand                 | Ausfallrisiko | Ausfallart                                |
|---------------------|--------------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------------|
| Samenbank           | orthodox                                   | gering                  | gering        | Technik, Regenerationsstau                |
| Feldgenbank         | rekalzitrant, klonal                       | hoch                    | hoch          | Standort, Krankheit, Wetter               |
| In-vitro-Kultur     | klonal, teils rekalzitrant                 | hoch                    | mittel        | Kontamination, genetische Drift, Personal |
| Kryokonservierung   | klonal, teils rekalzitrant und intermediär | mittel nach Einrichtung | gering        | Stickstoffversorgung, fehlende Protokolle |
| In situ und on farm | alle                                       | mittel                  | hoch          | Flächenverlust, Nutzungswandel, Klima     |
| Botanischer Garten  | Wildarten, Gehölze                         | mittel                  | hoch          | Standort, geringe genetische Breite       |

Aufwand und Risiko sind vergleichende Einordnungen zwischen den Wegen, keine Kostenangaben. Eine belastbare Kostenrechnung hängt von Art, Protokoll und Standort ab; die Literatur verweist dafür auf gesonderte Machbarkeitsstudien. Veröffentlichte Einzelangaben enthält Abschnitt 4.1.

### 4.1 Was die Wege kosten

Die folgenden Kostenangaben stammen aus einzelnen Einrichtungen und haben unterschiedliche Preisbasen. Sie zeigen Größenordnungen, keine übertragbaren Tarife.

| Weg                                               | Wert                                                                             | Basis                                         | Quelle                      |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Samenbank, Lagerung                               | unter 1,50 US-Dollar je Akzession und Jahr (Mais 2,16)                           | CGIAR-Genbanken, US-Dollar 2000, nur Lagerung | Koo, Pardey und Wright 2003 |
| Samenbank, dauerhaft mit Prüfung und Regeneration | Barwert rund 10 bis 141 US-Dollar je Akzession (Weizen 10, Mais 141)             | CGIAR, US-Dollar 1996, Barwert auf Dauer      | Smale 2019                  |
| In-vitro-Sammlung                                 | 11,98 US-Dollar je Akzession und Jahr                                            | Maniok am CIAT, US-Dollar 2000                | Koo, Pardey und Wright 2003 |
| Feldgenbank                                       | Arbeitskosten 38,26 Euro je Akzession und Jahr, rund 81 Prozent der Gesamtkosten | Knoblauch am IPK Gatersleben                  | Keller u. a. 2013           |

| Weg                                               | Wert                                                                                  | Basis                                                  | Quelle                         |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Kryokonservierung, Einlagerung                    | rund 320 bis 430 Euro je Akzession (Knoblauch); 480 US-Dollar (Kartoffel, CIP)        | IPK Gatersleben; CIP bei 500 Einlagerungen je Jahr     | Keller u. a. 2013; Major o. J. |
| Kryokonservierung, Unterhalt                      | 20,88 Euro je Akzession und Jahr (Knoblauch, 100 Akzessionen); rund 2 US-Dollar (CIP) | IPK Gatersleben; CIP                                   | Keller u. a. 2013; Major o. J. |
| Kryo statt Feld: Ausgleich der Einlagerungskosten | nach 8 bis 13 Jahren                                                                  | Knoblauch am IPK Gatersleben, je nach Ausgangsmaterial | Keller u. a. 2013              |

Der Barwert für die dauerhafte Samenbankhaltung ist in der Datenschicht als teilgeprüft geführt; er liegt in der Wiedergabe von Koo, Pardey und Wright (2004) bei Smale (2019) vor. Die übrigen Angaben sind geprüft. Der *Erhaltungsweg-Wegweiser* zeigt diese Kostentafel mit an.

Rund 400 000 Akzessionen werden weltweit in Feldgenbanken gehalten (Panis, Nagel und Van den houwe 2020, nach einer Erhebung von Alliance Bioversity-CIAT, CIP und Crop Trust; Stand vor 2020). Eine weltweite Zahl für In-vitro- und Kryosammlungen wurde nicht gefunden.

## 5. Der Grundsatz: zwei Wege

Aus dem Vergleich folgt ein einfacher Grundsatz: **Jeder Bestand braucht einen Hauptweg und einen davon unabhängigen Sicherungsweg.** Der Hauptweg dient der Nutzung oder der Anpassung, der Sicherungsweg der Langzeiterhaltung. Ein Bestand auf nur einem Weg teilt dessen gesamtes Ausfallrisiko.

Typische Kombinationen:

| Material              | Hauptweg                         | Sicherungsweg                                             |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Orthodoxes Saatgut    | Samenbank                        | Duplikat an zweitem Standort, Saatguttresor               |
| Klonale Kultur        | Feldgenbank                      | In-vitro-Kultur, Kryokonservierung                        |
| Rekalzitranzte Art    | Feldgenbank oder In-situ-Bestand | Kryokonservierung von Embryonen, wo ein Protokoll besteht |
| Intermediäres Saatgut | Feldgenbank                      | Kryokonservierung                                         |
| Unbekanntes Verhalten | vorsorglich wie rekalzitrant     | wie rekalzitrant, bis das Verhalten geklärt ist           |

Bei orthodoxem Saatgut kann Haupt- und Sicherungsweg dasselbe Verfahren sein; unabhängig ist dann der Ort. Bei allen anderen Typen braucht es ein zweites Verfahren, weil der einzige verfügbare Hauptweg — meist die Feldgenbank — das höchste Ausfallrisiko trägt.

Das Werkzeug *Erhaltungsweg-Wegweiser* leitet aus Saatverhalten, vorhandener Ausstattung und Ziel beide Wege ab und kennzeichnet, wo ein Sicherungsweg nur über eine Partnereinrichtung erreichbar ist.

## 6. Was das für kleine Träger bedeutet

Erhaltungsvereine, Netzwerke und Gemeinschaftsgerbanken haben selten ein Gewebekulturlabor und fast nie Zugang zu flüssigem Stickstoff. Für sie heißt der Grundsatz praktisch:

1. **Orthodoxes Saatgut** selbst lagern und ein Duplikat an eine Genbank geben.
2. **Klonale Sorten** an mindestens zwei weit auseinanderliegenden Standorten halten — zwei Obstgärten, zwei Betriebe — und für die gefährdetsten Sorten eine Einrichtung mit In-vitro- oder Kryokapazität als Partner suchen.
3. **Rekalzitrannte Arten** nicht einlagern, sondern als Bestand im Freiland führen, verteilt, mit dokumentierter Herkunft, und mit botanischen Gärten und Forstverwaltungen zusammenarbeiten.
4. **Unbekanntes Verhalten** nie am ganzen Posten erproben.

## Abbildungen

| <b>Erhaltungswege je Saatverhalten</b>                                          |                 |                    |                     |                             |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| Jeder Bestand braucht einen Hauptweg und einen davon unabhängigen Sicherungsweg |                 |                    |                     |                             |
|                                                                                 | <b>orthodox</b> | <b>intermediär</b> | <b>rekalzitrant</b> | <b>klonal oder samenlos</b> |
| Samenbank                                                                       | Hauptweg        | eingeschränkt      | nicht geeignet      | nicht geeignet              |
| Feldgenbank                                                                     | eingeschränkt   | Hauptweg           | Hauptweg            | Hauptweg                    |
| In-vitro-Kultur                                                                 | nicht geeignet  | eingeschränkt      | geeignet            | Hauptweg                    |
| Kryokonservierung                                                               | eingeschränkt   | geeignet           | geeignet            | Hauptweg                    |
| In situ und on farm                                                             | geeignet        | geeignet           | Hauptweg            | geeignet                    |
| Botanischer Garten und Arboretum                                                | eingeschränkt   | geeignet           | geeignet            | geeignet                    |

Rund 8 Prozent der Pflanzenarten bilden rekalzitranter Saatgut; bei den vom Aussterben bedrohten Arten 36 Prozent.

Quelle: Wyse, Dickie und Willis 2018; Panis u. a. 2020; CGIAR. Eignungsstufen sind vergleichende Einordnungen. Datenschicht erhaltungswege.json. SAMEN-PROV0001

Abbildung 1. Erhaltungswege je Saatverhalten. Quelle: Datenschicht des Strangs, siehe Fußzeile der Abbildung.

## Grenzen dieses Papiers

Das Papier ordnet die Erhaltungswege ein; es ist keine Verfahrensanleitung für Gewebekultur oder Kryokonservierung. Dafür sind die praktischen Leitfäden der FAO zu den Genbankstandards (Kryokonservierung; Arten mit nicht orthodoxem Saatgut, beide 2025) und die Protokolle der jeweiligen Einrichtungen heranzuziehen. Die Kostenangaben in Abschnitt 4.1 sind veröffentlichte Einzelwerte mit unterschiedlicher Preisbasis; eine eigene, übertragbare Kostenrechnung ersetzen sie nicht. Die Eignungsstufen der Datenschicht sind vergleichende Einordnungen. Für Feldgenbanken liegt eine weltweite Größenordnung aus der Zeit vor 2020 vor; für In-vitro- und Kryosammlungen wurde keine weltweite Zahl gefunden.

## Literatur

1. Wyse, S. V.; Dickie, J. B.; Willis, K. J. (2018): Seed banking not an option for many threatened plants. *Nature Plants* 4 (11). Zusammenfassung: <https://www.sciencedaily.com/releases/2018/11/181102132830.htm>
2. Wyse, S. V.; Dickie, J. B. (2017): Predicting the global incidence of seed desiccation sensitivity. *Journal of Ecology*. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.12725>
3. Panis, B.; Nagel, M.; Van den houwe, I. (2020): Challenges and prospects for the conservation of crop genetic resources in field genebanks, in in vitro collections and/or in liquid nitrogen. *Plants* 9 (12), 1634. <https://doi.org/10.3390/plants9121634>
4. CGIAR Genebanks: *Cryopreservation*, Conservation Module. <https://genebanks.cgiar.org/the-platform/conservation-module/cryopreservation/>
5. CIP Genebank: *Cryopreservation*. <https://cipotato.org/genebankcip/process/cryopreservation/>

6. FAO (2025): *Practical guides for the application of the Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture: Conservation through cryopreservation und Conservation of species producing non-orthodox seeds*. <https://www.fao.org/wiews/resources/en>
7. Royal Botanic Gardens Kew: *New techniques needed to conserve seeds of many threatened species*. <https://www.kew.org/about-us/press-media/new-techniques-needed-to-conserve-seeds>
8. FAO (2014): *Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Überarbeitete Ausgabe. Rom: FAO. <https://www.fao.org/4/i3704e/i3704e.pdf>
9. Royal Botanic Gardens Kew: *Seed Information Database (SID)*.
10. Koo, B.; Pardey, P. G.; Wright, B. D. (2003): The price of conserving agricultural biodiversity. *Nature Biotechnology* 21, 126–128 (US-Dollar zu Preisen von 2000). <https://are.berkeley.edu/~wright/Nature%20biotech%202003.pdf>
11. Keller, E. R. J. u. a. (2013): Comparing costs for different conservation strategies of garlic (*Allium sativum* L.) germplasm in genebanks. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60, 913–926. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9888-5>
12. Major, M. (o. J.): *Chilling out for conservation*. CGIAR Genebank Platform (Angaben des CIP zur Kryobank). <https://genebanks.cgiar.org/news-activities/news/cryopreservation/>
13. Smale, M. (2019): *A Sourcebook: Economics of conserving plant genetic resources in genebanks*. Genebank Impacts Working Paper 1. CGIAR Genebank Platform (Wiedergabe von Koo, Pardey und Wright 2004). <https://genebanks.cgiar.org/wp-content/uploads/2020/01/WP-1-Smale.pdf>